# การลดความแปรปรวนของ BULK DENSITY ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา

# A REDUCTION OF BULK DENSITY VARIATION IN A NON-SOAP DETERGENT MAKING PROCESS

พิทักษ์ เตี่ยมสว่างเลิศ
PITAK THEMSWANGLEART

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544
ISBN 974-648-349-8

# การลดความแปรปรวนของ BULK DENSITY ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา

# A REDUCTION OF BULK DENSITY VARIATION IN A NON-SOAP DETERGENT MAKING PROCESS

T040142

พิทักษ์ เต็มแสวงเลิศ

PITAK THEMSWANGLEART

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2544

ISBN 974-648-349-8

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน 40142
วัน, เดือน, ปี 16 ส.ค. 2544
.b.....
.i.....

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A REDUCTION OF BULK DENSITY VARIATION IN A NON-SOAP DETERGENT MAKING PROCESS

PITAK THEMSWANGLEART

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

ISBN 974-648-349-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บัณฑิตวิทยาลัย**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การลดความแปรปรวนของ Bulk density ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา

A REDUCTION OF BULK DENSITY VARIATION IN A NON-SOAP DETERGENT MAKING PROCESS

**ชื่อนักศึกษา** นายพิทักษ์ เต็มแสวงเลิศ

**รหัสประจำตัว** 42061208

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมปิโตรเคมี

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม** นายสงกรานต์ สืบวิสัย

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| ผศ.ดร.ประกอบ | กิจไชยา | |
| ผศ.ดร.ไพศาล | นาคพิพัฒน์ | |
| อาจารย์บุญชัย | โชติวิริยวาณิชย์ | |
| ผศ.ดร.อัญชลีพร | วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ | |

**วัน/เดือนปี ที่สอบ** 24 พฤษภาคม 2544 เวลา 12.00 – 13.00 น.

**สถานที่สอบ** ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

**บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว**

**(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)**

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** 25 **เดือน** มิถุนายน **พ.ศ.** 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การลดความแปรปรวนของ Bulk density ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา |
| **นักศึกษา** | นายพิทักษ์ เต็มแสวงเลิศ |
| **รหัสประจำตัว** | 42061208 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมปิโตรเคมี |
| **พ.ศ.** | 2544 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม** | คุณสงกรานต์ สืบวิสัย<br>ผู้จัดการฝ่ายผลิต (กลุ่มผลิตภัณฑ์ซักล้าง)<br>บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด |

## บทคัดย่อ


การเปลี่ยนแปลงของ Bulk density (BD) ของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบรรจุ ถ้าใช้การบรรจุโดยปริมาตรแต่การขายผลิตภัณฑ์อ้างอิงจากน้ำหนัก จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด พบว่า ถ้าค่า BD ของผงซักฟอกในกระบวนการผลิตไม่คงที่ โรงงานจะสูญเสียผลิตภัณฑ์ถึง 25 ตัน/ปี เนื่องจากการบรรจุผลิตภัณฑ์เกินกว่าน้ำหนักมาตรฐาน รวมทั้งสูญเสียกำลังการผลิตและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตในกรณีที่ผงซักฟอกมีปริมาตรไม่เหมาะสมที่จะทำการบรรจุทำให้ต้องนำกลับไปเข้ากระบวนการผลิตใหม่และนำกลับมาบรรจุอีกครั้ง

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง (Multiple linear regression) ในการวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD เช่น อัตราการฉีดสเลอรี่ ความชื้นของผงซักฟอก อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด ความดันภายในหอฉีด ความดันที่เครื่องสูบความดันสูง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD และสามารถปรับค่าได้โดยไม่มีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและคุณภาพผงซักฟอก คือ อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างความดันภายในหอฉีดและความดันที่เครื่องสูบความดันสูง จากการปรับค่าความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาดังกล่าว สามารถลดความแปรปรวนของ BD ลงได้ 33.33% เทียบกับความแปรปรวนของค่า BD จากกระบวนการผลิตแบบเดิม และได้สร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Standard Operating Procedures: SOPs) เพื่อควบคุมค่า BD ให้พนักงานปฏิบัติต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis Title | A Reduction of Bulk Density Variation in a Non-Soap Detergent Making Process |
| Student | Mr. Pitak Themswangleart |
| Student ID | 42061208 |
| Degree | Master of Engineering |
| Programme | Petrochemical Engineering |
| Year | 2001 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum |
| Thesis Co-advisor | Mr. Songkran Suebvisai<br>Manufacturing Manager (Detergents)<br>Unilever Thai Holdings Ltd. |


## ABSTRACT

The variation of bulk density (BD) of the product in powder form has a significant effect on its packing system if the packing system is packed product volume but sold by weight. In a non-soap detergent making plant of the Unilever Thai Holdings Ltd., due to BD variation the factory lost product of about 25 ton/year from over packing as well as production capacity and resources from re-process and re-packing.

This work applies the multiple linear regression to analyse the parameters, which significantly affect the variation of BD, e.g., the slurry injection rate, powder moisture content, hot air inlet temperature in the spray drying tower, pressure in the spray drying tower (tower pressure) and pressure at high pressure pump. It was found that the interaction between the pressure in the spray drying tower and the pressure at high pressure pump had an effect on BD variation and it could be adjusted with less effect on the production capacity and product quality. After adjusting this interaction, BD variation decreased 33.33% from that of the non-adjusted process, then the Standard Operating Procedures (SOPs) to control the variation of BD were written.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของโรงงานที่ให้โอกาสและสนับสนุนการทำวิจัยภายในโรงงาน พนักงานของโรงงานทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการทำงาน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ที่ให้การสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ ผศ.ดร.ปรเมศ ชุติมา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และคุณสงกรานต์ สืบวิสัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยนี้ตลอดมา

พิทักษ์ เต็มแสวงเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

คำนำ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ประวัติโรงงานโดยสังเขป.....1

1.2 ผงซักฟอก.....2

1.3 อุตสาหกรรมผงซักฟอก (Detergent industry).....3

1.4 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....5

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....6

1.6 ขอบเขตงานวิจัย.....7

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย.....7

บทที่ 2 กระบวนการผลิต.....8

2.1 การผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาโดยทั่วไป.....8

2.2 ปฏิกิริยาซัลโฟเนชั่น.....9

2.3 การผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ.....10

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ.....14

3.1 แนวคิดเทคโนโลยีสะอาด.....14

3.2 แผนภูมิก้างปลา (Fish bone diagram).....16

3.3 การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง.....17

3.4 ระเบียบวิธีการแยกแบบแอลยู.....20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดลอง.....24
4.1 การดำเนินการเพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่า BD.....24
4.2 การออกแบบและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....28

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....30
5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า BD ในเบื้องต้น.....30
5.2 ตัวแปรและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD.....30

บทที่ 6 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....33

เอกสารอ้างอิง.....36
ภาคผนวก ก.....38
ภาคผนวก ข.....44
ภาคผนวก ค.....61
ภาคผนวก ง.....62
ประวัติผู้เขียน.....66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ผู้ผลิตและกำลังการผลิตผงซักฟอก .....4

1.2 สัดส่วนต้นทุนการผลิตรวมของผู้ผลิตผงซักฟอก.....4

3.1 การบันทึกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง.....18

5.1 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD.....31

5.2 อันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD .....31

6.1 การเปลี่ยนแปลงของความดันที่เครื่องสูบความดันสูงจากสาเหตุต่างๆ.....35

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

1.1 Sodium Dodecyl Sulphate (SDS).....2

1.2 ภาพจำลองกลุ่มของ Micelles .....2

1.3 Measuring cup.....5

2.1 กระบวนการผลิตผงซักฟอกโดยทั่วไป.....9

2.2 กระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ.....11

2.3 สารเข้าและสารออกจากส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา.....12

2.4 พลังงานเข้าและพลังงานออกจากส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา.....13

2.5 การบรรจุผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ.....13

3.1 แผนภูมิก้างปลา.....16

4.1 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และ BD ของผงพื้นฐาน.....24

4.2 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และอุณหภูมิของสเลอรี่.....25

4.3 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่ Deaerator .....25

4.4 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่เครื่องสูบความดันสูง.....26

4.5 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่เครื่องสูบความดันต่ำ.....26

4.6 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และปริมาณความชื้นของผงซักฟอก.....27

4.7 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันภายในหอฉีด.....27

6.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่า BD.....33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

ในประเทศไทยปัจจุบันมีโรงงานผู้ผลิตผงซักฟอกทั้งสิ้น 6 ราย โดยมีผู้ผลิตรายใหญ่ 3 ราย ที่มีกำลังการผลิตรวมมากกว่า 95% ของกำลังการผลิตทั้งหมด ดังนั้นอุตสาหกรรม ผงซักฟอกจึงเป็นอุตสาหกรรมกึ่งแข่งขันกึ่งผูกขาด เนื่องจากเป็นตลาดขนาดใหญ่ผู้ผลิตแต่ละรายจึงต้องใช้กลยุทธ์ทางการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อรักษาหรือพยายามเพิ่มส่วนแบ่งการตลาดของตน การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้กำลังการผลิตสูงด้วยต้นทุนที่ต่ำ นั่นคือ สามารถใช้วัตถุดิบในการผลิตอย่างคุ้มค่ามากที่สุดโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการแข่งขัน งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการลดความแปรปรวนของค่า Bulk density (BD) เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างคุ้มค่า และลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา (Non-Soap Detergent making process, NSD making process) ของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้ง จำกัด BD ของผงซักฟอก คือ น้ำหนักของผงซักฟอกต่อปริมาตรผงซักฟอกรวมทั้งหมด ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุดสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงโดยปริมาตร ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของ BD ในกระบวนการผลิตที่ผ่านมาทำให้โรงงานสูญเสียกำลังการผลิตและผลิตภัณฑ์ปีละจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาตัวแปรต่างๆและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรเหล่านั้นที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD เพื่อหาวิธีแก้ไขต่อไป

กระบวนการผลิตในโรงงานค่อนข้างซับซ้อน จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD มีจำนวนมาก วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้วิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรมากกว่า 4 ตัวแปรขึ้นไป รวมทั้งตัวแปรนั้นๆ มีอันตรกิริยาต่อกัน คือ วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง (Multiple linear regression) จากวิธีการวิเคราะห์จะทราบตัวแปรหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD ที่จะต้องนำมาแก้ไขกระบวนการผลิตหรือวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดผลกระทบของตัวแปรนั้นๆ ต่อค่า BD และสร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Standard Operating Procedures, SOPs) สำหรับเป็นแนวทางให้พนักงานปฏิบัติต่อไป

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท เค้าโครงแต่ละบท มีดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงประวัติของบริษัทโดยสังเขป อุตสาหกรรมผงซักฟอกในประเทศไทย ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตงาน และประโยชน์ของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 กล่าวถึงกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาโดยทั่วๆ ไป กระบวนการผลิตและกระบวนการบรรจุผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ แนวคิดทางด้านเทคโนโลยีสะอาด การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง และวิธีการแก้สมการโดยวิธีแอลยู

บทที่ 4 กล่าวถึง การทดลอง การออกแบบการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล

บทที่ 5 แสดงผลการทดลอง และวิธีการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ

บทที่ 6 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ประวัติโรงงานโดยสังเขป

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เป็นบริษัทที่ประสบความสำเร็จในการผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภครายใหญ่แห่งหนึ่ง มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ และ กรุงลอตเตอร์แดมม์ ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยที่มีกิจการสาขาอยู่ใน 75 ประเทศทั่วโลก เดิมใช้ชื่อ บริษัท ลีเวอร์บราเธอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ภายหลังได้เปลี่ยนชื่ออย่างเป็นทางการเป็น บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ก่อตั้งขึ้นเป็นบริษัทในกลุ่มยูนิลีเวอร์ ในปี พ.ศ. 2475 โดยมีโรงงานแห่งแรกที่ถนนเจริญกรุง กรุงเทพ ฯ หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2525 จึงย้ายโรงงาน มาที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตสินค้าอุปโภคบริโภครายใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเป็นบริษัทผู้ผลิตชั้นนำพร้อมกับการพัฒนาประเทศ โดยอาศัยการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ สินค้าที่บริษัทฯ ผลิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. กลุ่มผลิตภัณฑ์ซักล้าง ได้แก่ ผงซักฟอกบรีส โอโม น้ำยาปรับผ้านุ่มคอมฟอร์ท น้ำยาล้างจานซันไลต์ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นวิม สบู่หอมลักส์ ไลฟ์บอย และฮาร์โมนี เป็นต้น
2. กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล ได้แก่ แชมพูและครีมนวดผมซันซิล ออร์แกนิกส์ ลักส์ซุปเปอร์ริช และคลีนิค ยาสีฟันใกล้ชิด ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวพอนด์ส ครีมถนอมผิวซิตร้า วาสลีน เฮสลีน น้ำหอมระงับกลิ่นกายเรโซนา และแอกซ์ เป็นต้น
3. กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม ได้แก่ ไอศครีมวอลล์ และชาลิปตัน

กระบวนการผลิตผงซักฟอกของบริษัทแบ่งออกเป็น 2 โรงงานย่อย คือ โรงงานผลิต *"ผงซักฟอกชนิดธรรมดา"* ซึ่งเป็นผงซักฟอกที่ผ่านกระบวนการผสมเป็นสเลอรี่และผ่านกระบวนการอบแห้งโดยการฉีดพ่นเป็นละออง และโรงงานผลิต *"ผงซักฟอกชนิดเข้มข้น"* ซึ่งนำวัตถุดิบมาผสมกันในรูปของของแข็งทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผสมเป็นสเลอรี่และกระบวนการอบแห้งโดยการฉีดพ่นเป็นละออง ในงานวิจัยนี้ศึกษาในส่วนของโรงงานผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา

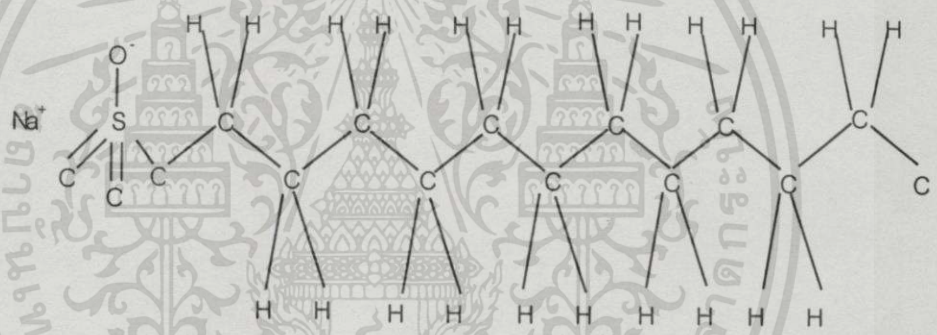
โรงงานผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ควบคุมกระบวนการผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำการผลิตสัปดาห์ละ 5 วัน ตลอด 24 ชั่วโมง โดยแบ่งการผลิตออกเป็น 3 กะ คือ กะเช้า 7.00 – 15.00 น. กะบ่าย 15.00 –23.00 น. และกะดึก 23.00 – 7.00 น. ใช้สาธารณูปโภครวมจากหน่วยสาธารณูปโภคกลางของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

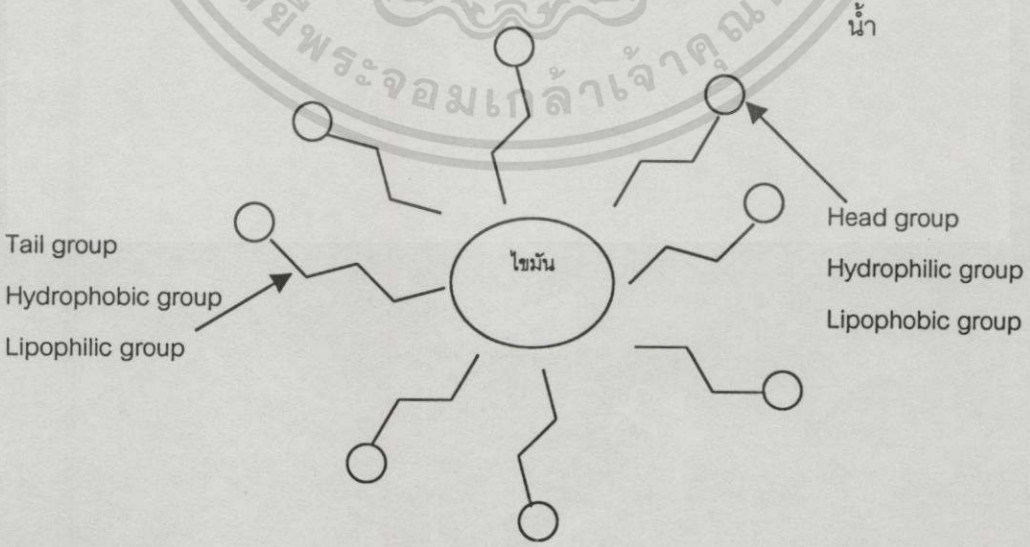
ในด้านการผลิต บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด มุ่งมั่นพัฒนากระบวนการผลิตของตนเองอยู่เสมอและตระหนักถึงปัญหาด้านการจัดการ ความสูญเสียที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้นำระบบ Total Productive Maintenance (TPM) มาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 และได้รับรางวัล TPM Excellence Awards จากประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี พ.ศ.2542

## 1.2 ผงซักฟอก [1]

ผงซักฟอกเป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ชนิดหนึ่ง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวดังกล่าวแสดงในรูปที่ 1.1 ที่ความเข้มข้นสูงๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวกันกลายเป็น Aggregates หรือเรียกว่ากลุ่มของ Micelles รูปที่ 1.2 จำลองภาพกลุ่มของ Micelles




**รูปที่** 1.1 Sodium Dodecyl Sulphate (SDS)




**รูปที่** 1.2 ภาพจำลองกลุ่มของ Micelles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของ Micelle ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่ไม่ชอบน้ำมัน (Lipophobic) และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ชอบน้ำมัน (Lipophilic) ส่วนที่ไม่มีขั้วประกอบด้วยโมเลกุลของสายโซ่คาร์บอนจึงเกิดแรงผลักเมื่อเข้าใกล้โมเลกุลของน้ำ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถขจัดคราบสกปรกและไขมันได้ ความเข้มข้นที่โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวรวมกันเป็นกลุ่มของ Micelles เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวแต่ละตัว ความเข้มข้นดังกล่าวเรียกว่า Critical Micelle Concentration (CMC) ซึ่งค่านี้จะได้จากการวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าแรงตึงผิว (Surface tension) และค่าความขุ่น (Turbidity) ของสารลดแรงตึงผิว ความสามารถของสารลดแรงตึงผิวในการนำมาทำผลิตภัณฑ์ซักล้างจะขึ้นกับค่าต่างๆ ที่กล่าวมานี้

องค์ประกอบอื่นๆ ของผงซักฟอกที่มีความสำคัญ คือ ส่วนที่ใช้กำจัดความกระด้างของน้ำ ค่าความกระด้างของน้ำที่สำคัญขึ้นกับปริมาณไอออนของแมกนีเซียม ($Mg^{2+}$) และแคลเซียม ($Ca^{2+}$) ที่อยู่ในน้ำนั้น สารที่นิยมนำมาผสมในผงซักฟอกเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ คือ ซีโอไลต์ ชนิด 4A องค์ประกอบสุดท้ายของผงซักฟอก คือ ส่วนที่ป้องกันสิ่งสกปรกกลับมาติดที่เนื้อผ้าอีก ดังนั้นสารที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติที่ทำให้เนื้อผ้าและสิ่งสกปรกมีขั้วชนิดเดียวกัน สารที่มีคุณสมบัติ ดังกล่าว คือ (Sodium Carboxymethylcellulose) กระบวนการผลิตผงซักฟอกทั่วไปจะต้องสามารถผลิตผงซักฟอกที่มีคุณสมบัติดังกล่าวให้ได้ มาตรฐานของผงซักฟอกกำหนดไว้ใน [2-3]

## 1.3 อุตสาหกรรมผงซักฟอก (Detergent industry) [4]

ผงซักฟอกเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวันเพื่อชำระล้างสิ่งสกปรกออกจากเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม ภาชนะ เครื่องจักร เครื่องมือ และอื่นๆ ผงซักฟอกผลิตขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศเยอรมัน ในระยะสงครามโลกครั้งที่ 1 เนื่องจากในขณะนั้นเกิดการขาดแคลนไขมันและน้ำมันพืช ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตสบู่ นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นผงซักฟอกขึ้นเพื่อใช้ทดแทนสบู่ ต่อมามีการพัฒนาสูตรผงซักฟอกอย่างกว้างขวาง

โรงงานผลิตผงซักฟอกตั้งในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2505 โดยบริษัท คอลเกต ปาล์มโอลีฟ (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

ในปี 2533 มีผู้ผลิตผงซักฟอกทั้งสิ้น 6 ราย โดยมีผู้ผลิตรายใหญ่ 3 ราย มีกำลังการผลิตรวม 95.72% ของกำลังการผลิตทั้งหมด ดังนั้นอุตสาหกรรมผงซักฟอกจึงเป็นอุตสาหกรรมกึ่งแข่งขันกึ่งผูกขาด เนื่องจากเป็นตลาดขนาดใหญ่ผู้ผลิตแต่ละรายจึงต้องมีกลยุทธ์การตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อรักษาส่วนแบ่งการตลาดของตนเอาไว้ ตารางที่ 1.1 แสดงรายชื่อผู้ผลิตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการผลิตผงซักฟอก ปี 2533 ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลสัดส่วนต้นทุนการผลิตรวมของผู้ผลิตผงซักฟอก

ตารางที่ 1.1 ผู้ผลิตและกำลังการผลิตผงซักฟอก

(ที่มาธนาคารแห่งประเทศไทย พ.ศ.2533)

| บริษัทผู้ผลิต | กำลังการผลิต (ตัน/ปี) | % | ชื่อผลิตภัณฑ์ |
|---|---|---|---|
| คอลเกตปาล์มโอลีฟ (ประเทศไทย) | 30,000 | 14.90 | แฟ้บ เพค โทรเจ้น ซีพีอุตสาหกรรม แฟ้มลิควิดคอนเซ็นเทรด |
| ลีเวอร์บราเธอร์ (ประเทศไทย) | 80,000 | 39.71 | บรีส โนบล้า รินโซ่ เซิฟ แคล็กซ์ บรีสเมตริกซ์ บรีสคอนเซ็นเทรด |
| ไลอ้อน (ประเทศไทย) | 82,800 | 41.11 | เปาบุ้นจิ้น โปร โปรเมตริก เปาเอ็มวอช์ ไวส์ |
| คาโออินดัสเตรียล | 4,800 | 2.38 | แอทแทค |
| ผงซักฟอกไทย | 1,440 | 0.71 | ดิน ทานตะวัน ชม |
| ซันซัน อินดัสเตรียล | 2,400 | 1.19 | ดิว |
| รวม | 201,440 | 100 | |

ตารางที่ 1.2 สัดส่วนต้นทุนการผลิตรวมของผู้ผลิตผงซักฟอก

(ที่มากระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2533)

(1000 กรัม)

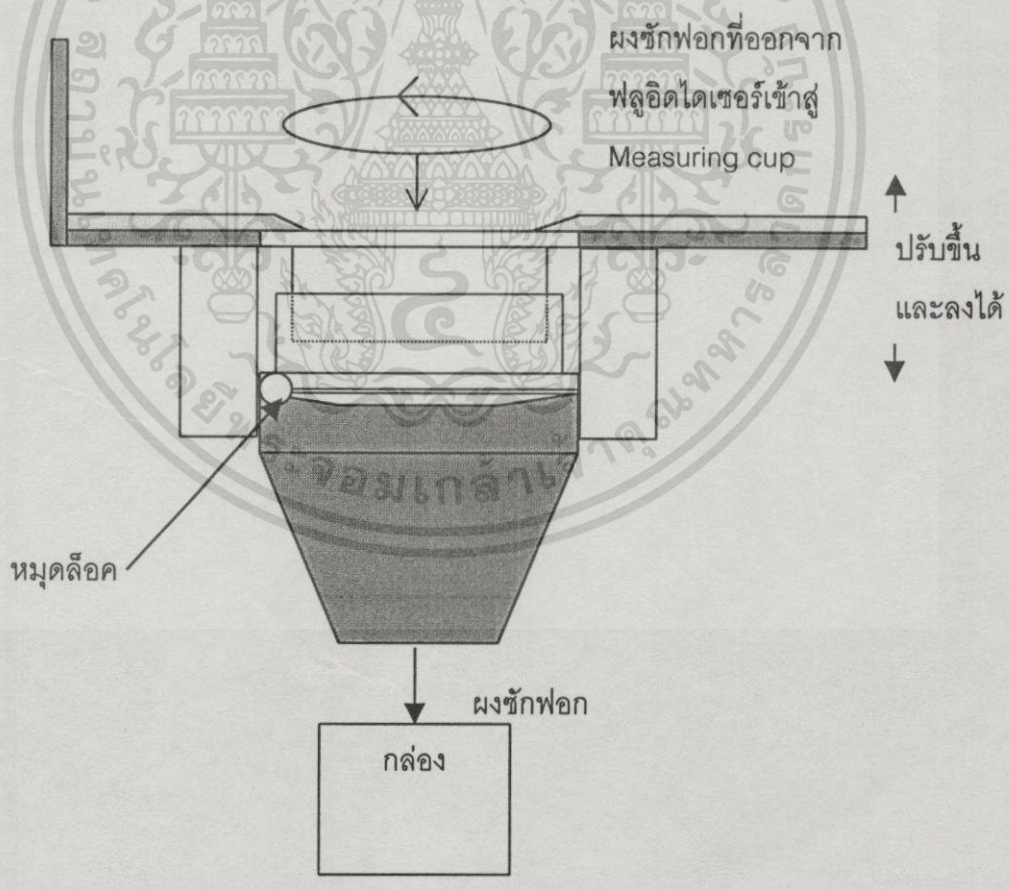
| | ผู้ผลิต | | | | | | ต้นทุนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | บาท | % | บาท | % | บาท | % | บาท | % |
| ค่าวัตถุดิบ | 17.62 | 82.75 | 15.6 | 82.53 | 16.07 | 93.48 | 15.59 | 83.86 |
| ค่าแรงงานทางตรง | 2.12 | 10.79 | 0.3 | 1.6 | 0.28 | 1.63 | 1.08 | 5.81 |
| ค่าโสหุ้ยการผลิต | 1.27 | 6.46 | 3.0 | 15.87 | 0.84 | 4.89 | 1.92 | 10.33 |
| รวม | 21.01 | 100 | 18.9 | 100 | 17.19 | 100 | 18.59 | 100 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาของโรงงานผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของ บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด คือ การบรรจุผงซักฟอกเกินน้ำหนักมาตรฐาน หรือไม่สามารถบรรจุผงซักฟอกได้ทำให้ต้องนำผงซักฟอกกลับเข้ากระบวนการผลิตใหม่และมาบรรจุอีกครั้ง เนื่องจากวิธีการบรรจุผงซักฟอกของบริษัทฯ ในปัจจุบันใช้การบรรจุโดยปริมาตรแต่การขายจะอ้างอิงโดยน้ำหนัก ดังนั้นค่า Bulk density (BD) จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบรรจุผลิตภัณฑ์ การแปรปรวนของค่า BD ของผงซักฟอกในกระบวนการผลิตที่ผ่านมา ทำให้โรงงานสูญเสียผงซักฟอกประมาณ 25 ตัน/ปี เนื่องจากการบรรจุผงซักฟอกเกินกว่าน้ำหนักมาตรฐาน นอกจากนี้ยังเกิดการสูญเสียกำลังการผลิตและการใช้ทรัพยากรการผลิตไม่คุ้มค่าเพราะต้องนำผงซักฟอกกลับมาบรรจุใหม่ รวมถึงเสียโอกาสของการขายผลิตภัณฑ์ในเวลาอันรวดเร็ว

ผงซักฟอกจะถูกบรรจุด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Measuring cup [1] ดังรูปที่ 1.3 อุปกรณ์นี้สามารถปรับขึ้นและลงได้ ปริมาตรของผงซักฟอกที่ถูกบรรจุจะเปลี่ยนไปตามระดับของการปรับ Measuring cup




**รูปที่** 1.3 Measuring cup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะทำการบรรจุ ปริมาตรของ Measuring cup จะถูกกำหนดโดยการปรับที่ความสูงคงที่ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ BD โอกาสที่จะเกิดความสูญเสียสรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อปรับ Measuring cup ขึ้นสูงจะทำให้ปริมาตรมาก ถ้าค่า BD ของผงซักฟอกมีค่าต่ำจะทำให้น้ำหนักผงซักฟอกที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packing line) ไม่ได้มาตรฐานจึงต้องนำผงซักฟอกที่บรรจุแล้วกลับไปบรรจุใหม่ กรณีนี้ผงคุณภาพดีแต่ต้องนำกลับไปผสมกับผงใหม่และบรรจุอีกครั้ง

กรณีที่ 2 เมื่อปรับ Measuring cup ขึ้นสูงจะทำให้ปริมาตรมาก ถ้าค่า BD ของผงซักฟอกมีค่าสูงจะทำให้น้ำหนักผงซักฟอกที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์เกินมาตรฐาน บริษัทฯ จึงสูญเสียผงซักฟอกให้ผู้บริโภคเพราะบรรจุเกิน

กรณีที่ 3 เมื่อปรับ Measuring cup ลงต่ำจะทำให้ปริมาตรน้อย ถ้าค่า BD ของผงซักฟอกมีค่าต่ำจะทำให้น้ำหนักผงซักฟอกที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน จึงต้องนำผงซักฟอกที่บรรจุแล้วกลับไปบรรจุใหม่

กรณีที่ 4 เมื่อปรับ Measuring cup ลงต่ำจะทำให้ปริมาตรน้อย ถ้าค่า BD ของผงซักฟอกมีค่าสูงแม้ว่าน้ำหนักผงซักฟอกที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์จะได้มาตรฐาน แต่ก็ต้องนำผงซักฟอกที่บรรจุแล้วกลับไปบรรจุใหม่ เพราะปริมาณผงซักฟอกในกล่องไม่เป็นที่พอใจของผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคจะรู้สึกว่าปริมาณของผงซักฟอกในกล่องมีปริมาณน้อย

ถ้าปริมาตรของ Measuring cup และค่า BD เหมาะสม จะได้น้ำหนักผงซักฟอกตรงตามมาตรฐานและผู้บริโภคพอใจปริมาณผงซักฟอกในกล่อง ซึ่งเป็นสิ่งที่ทางโรงงานต้องการ และจะต้องหาสภาวะการผลิต (Operating conditions) ต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ตามความต้องการนี้

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดความแปรปรวนของ BD ในกระบวนการผลิต โดยการหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปรนั้นๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า BD และหาวิธีการแก้ไขกระบวนการผลิตหรือวิธีการปฏิบัติงาน เพื่อลดความสูญเสียของบริษัทฯ

## 1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา
2. หาตัวแปรในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า BD
3. ลดความแปรปรวนของ BD ในกระบวนการผลิตผงซักฟอก
4. ลดความสูญเสียเนื่องจากการบรรจุผงซักฟอกเกินน้ำหนักมาตรฐานหรือเนื่องจากการนำผงซักฟอกกลับไปบรรจุใหม่
5. สร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติแก่พนักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา หาตัวแปรที่มีนัยสำคัญและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรนั้น ที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง เพื่อหาวิธีการปรับกระบวนการเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของ BD และสร้าง SOPs ให้กับพนักงานสำหรับใช้ควบคุมค่า BD ต่อไป

## 1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. ทราบตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อ BD
2. ได้แนวทางการปรับค่าของตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรต่างๆ ให้กับพนักงานเพื่อใช้ควบคุมค่า BD ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดจาก SOPs ที่สร้างขึ้น
3. ลดความสูญเสียผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ BD
4. สามารถพัฒนากระบวนการผลิตของโรงงานให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง และมีศักยภาพในการผลิตสูงขึ้นอันเป็นการพัฒนาเชิงรุก
5. ก่อให้เกิดแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตส่วนอื่นอย่างเป็นระบบ
6. ผู้วิจัยสามารถนำความรู้เกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม
7. ผู้วิจัยเกิดทักษะการวางแผนดำเนินงานและแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# กระบวนการผลิต

## 2.1 การผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาโดยทั่วไป [3]

กระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดามีขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการผลิตสารลดแรงตึงผิว โดยเริ่มจากปฏิกิริยาซัลโฟเนชั่น (Sulfonation) ระหว่างโอเลี่ยม (Oleum) ซึ่งคือ กรดซัลฟิวริกที่มีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ละลายอยู่ และอัลคิลเบนซินที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรง (Linear alkyl benzene) และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

สารลดแรงตึงผิวในสูตรที่ใช้ในการผลิตผงซักฟอกมี 2 ชนิด คือ [5]

- ABS (Alkyl Benzene Sulfonate) เป็นส่วนผสมที่เป็น Hard detergent เพราะบักเตรีย่อยสลาย ABS ได้ยากหรือเกือบไม่ได้เลยทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

- LABS (Linear Alkyl Benzene Sulfonate) เป็นส่วนผสมที่เป็น Soft detergent เพราะบักเตรีทำการย่อยสลายได้ง่ายและเร็วกว่า ABS จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันโรงงานผลิตผงซักฟอกทั้งหมดภายในประเทศ ใช้สารลดแรงตึงผิวแบบ LABS เพื่อให้ตรงตามมาตรฐานผงซักฟอกของกระทรวงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะทำการย่อยสลายได้ง่าย ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. นำวัตถุดิบในขั้นที่ 1 มาทำให้เป็นกลางด้วยโซดาไฟ (Caustic soda) เพื่อกำจัดกรดกำมะถันให้หมดไป เพราะกรดกำมะถันไม่มีประโยชน์ต่อการซักฟอก

3. นำวัตถุดิบในขั้นที่ 2 ผสมกับสารประกอบของไตรพอลิฟอสเฟต (Tripolyphosphate) ซิลิเกต (Silicate) และสารประกอบอื่นๆ ตามสูตรของแต่ละโรงงานสำหรับผงซักฟอกแต่ละชนิด เพื่อให้การซักฟอกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีน้ำเป็นตัวกลางในการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารผสมที่ได้เป็นของเหลวข้น (สเลอรี่) และยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน

4. นำสเลอรี่ในขั้นที่ 3 ไปฉีด (Spraying) ให้เป็นผงด้วยความดันสูง เมื่อสเลอรี่ปะทะกับลมร้อนจะตกลงมาเป็นผงซักฟอกเม็ดเล็กๆ

5. นำผงซักฟอกที่ได้มาไล่ความชื้นและแยกผงซักฟอกให้ได้ขนาดตามที่ต้องการโดยผ่านตะแกรง (Screen) ผงซักฟอกที่ได้ในขั้นนี้ เรียกว่า ผงพื้นฐาน

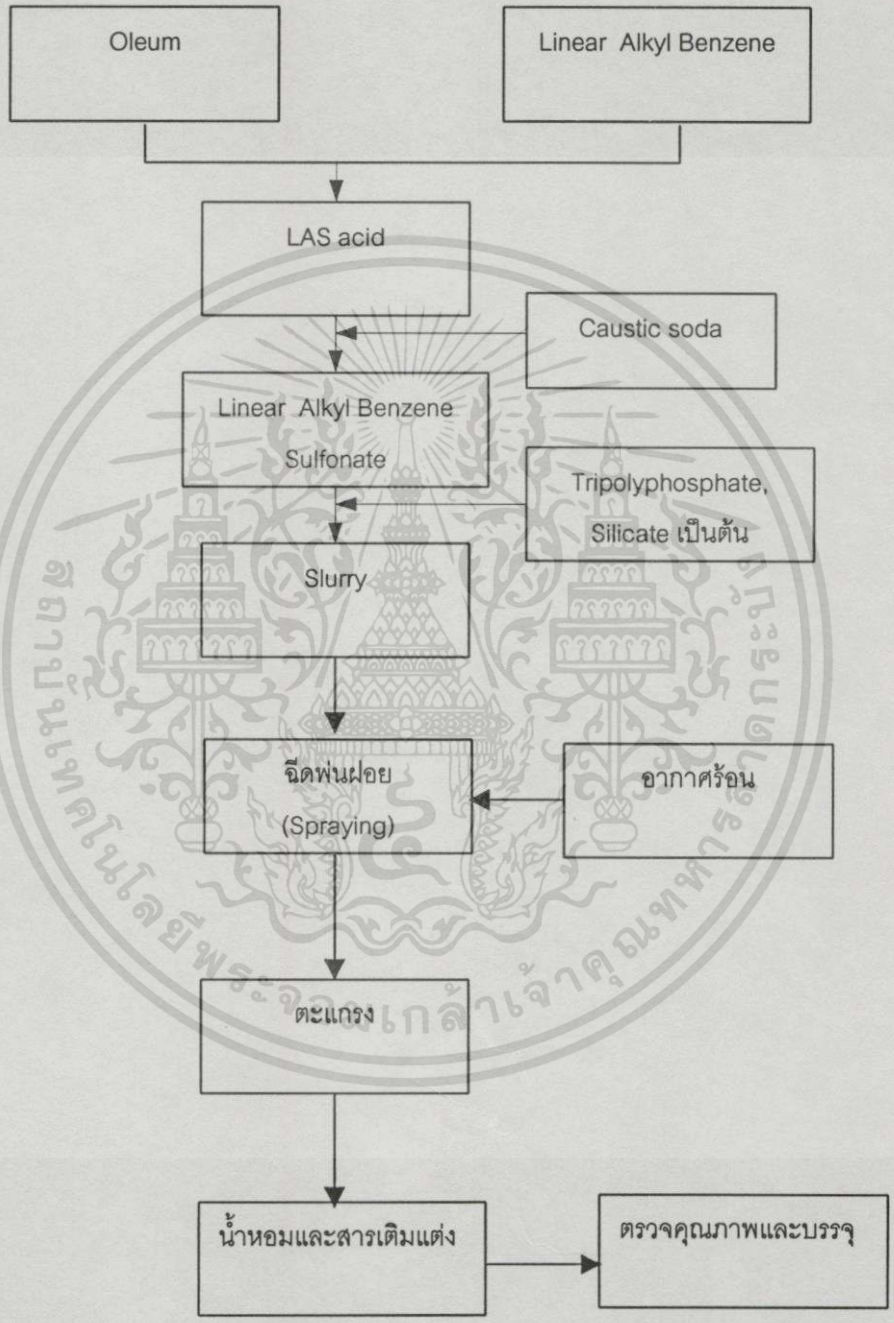
6. นำผงพื้นฐานที่ได้ขนาดไปผ่านการฉีดน้ำหอม และสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ เช่น สารเรืองแสง ซีโอไลต์ เป็นต้น

7. ตรวจสอบคุณภาพและนำไปบรรจุใส่กล่องหรือซองเพื่อรอจำหน่ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ปฏิกิริยาซัลโฟเนชั่น [6]

เป็นปฏิกิริยาระหว่างโอเลี่ยมและอัลคิลเบนซินที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรง ทำปฏิกิริยาในกรดซัลฟิวริก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ กรด Linear Alkylbenzene Sulfonic (LAS acid) รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตผงซักฟอกโดยทั่วไป




**รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตผงซักฟอกโดยทั่วไป**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ [1]

กระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา (NSD making plant) และส่วนการบรรจุผลิตภัณฑ์ (NSD packing plant)

ส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดารับ วัตถุดิบ คือ กรด LAS มาจาก Sulfonation plant แบ่งออกเป็นหน่วยย่อยได้ 5 หน่วย ดังนี้

1. หน่วยจัดเก็บวัตถุดิบ (Raw materials handling unit) เป็นหน่วยย่อยที่ทำหน้าที่จัดเก็บวัตถุดิบต่างๆ ทั้งของแข็งและของเหลวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตผงซักฟอก หน่วยนี้ประกอบด้วย ถังไซโล (Silo) ถังเก็บน้ำ ถังเก็บวัตถุดิบที่เป็นของเหลว Tipping unit และ Blower สำหรับลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่ถังกักเก็บ

2. หน่วยผลิตสเลอรี่ (Slurry making unit) เป็นหน่วยย่อยที่ทำหน้าที่ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบแต่ละชนิดก่อนเข้าผสมในถังผสมหลัก (Main mixer) และผลิตสเลอรี่ให้ได้ค่าความหนาแน่นตามสูตรที่กำหนดก่อนนำไปฉีดในหอฉีด (Spray drying tower) ต่อไป หน่วยนี้ประกอบด้วย ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ ถังผสมสเลอรี่หลัก ถังพักสเลอรี่ (Holding tank) ถังพัก (Drop tank) Deaerator เครื่องสูบความดันสูง (High pressure pump) เครื่องสูบความดันต่ำ (Low pressure pump) ตัวกรองแบบหมุน (Rotary filter) และ ตัวกรองแบบแม่เหล็ก (Magnetic filter)

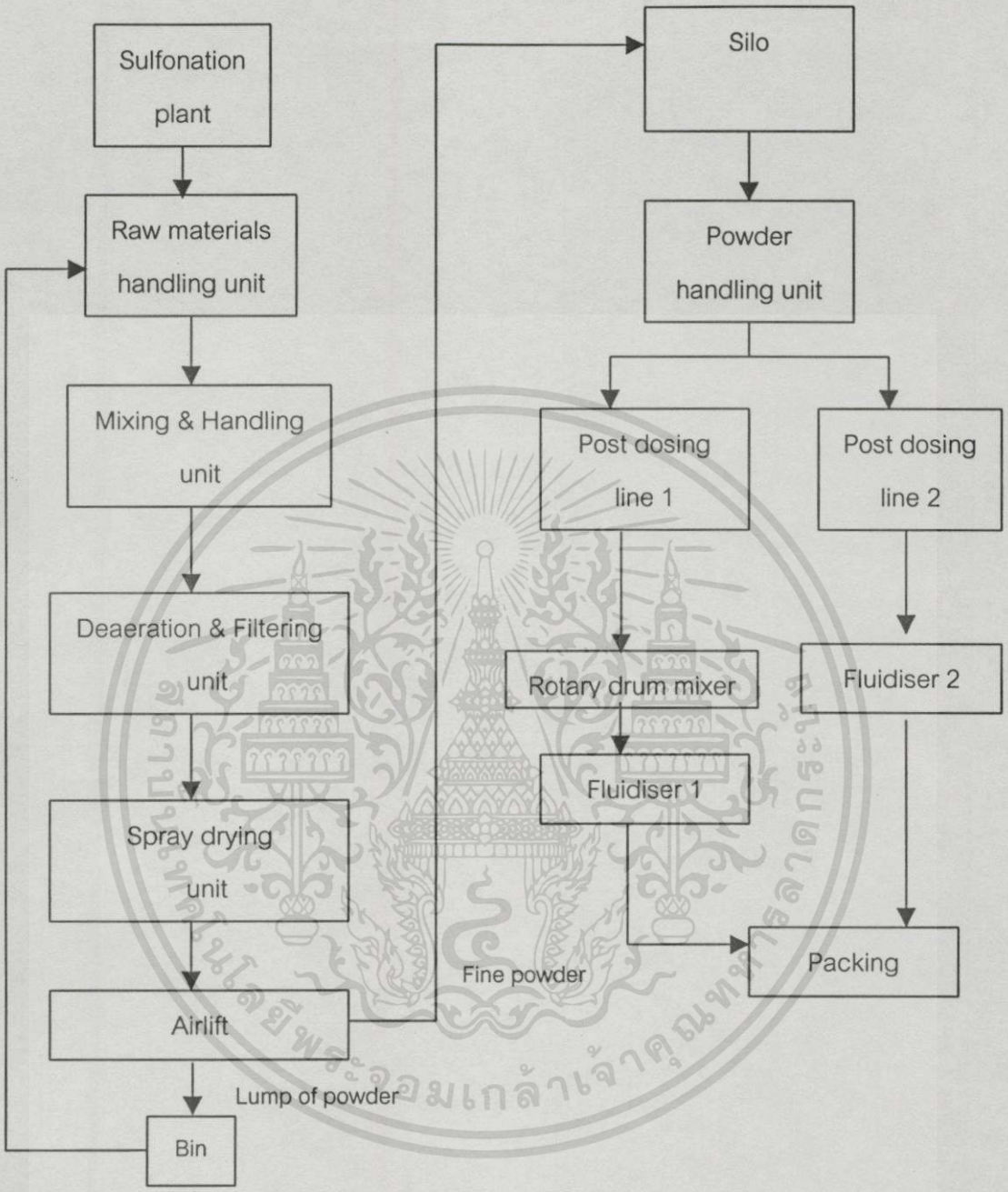
3. หน่วยอบแห้งโดยการฉีดเป็นละออง (Spray drying unit) เป็นหน่วยย่อยที่นำสเลอรี่จากกระบวนการผลิตสเลอรี่มาทำให้แห้งเป็นผงพื้นฐาน (Base powder) โดยฉีดสเลอรี่ผ่านสวนทางกับอากาศร้อนที่ได้จากการเผาน้ำมันเตา ทำให้สเลอรี่แห้งและได้ผงพื้นฐานที่ยังไม่ได้ขนาด หน่วยนี้ประกอบด้วย หอฉีด และหน่วยผลิตอากาศร้อน (Peabody unit)

4. Powder handling unit เป็นหน่วยที่ใช้แยกผงพื้นฐานตามความหนาแน่นซึ่งถูกกำหนดด้วยสูตรของผงซักฟอกแต่ละชนิด พร้อมทั้งจัดเก็บผงพื้นฐานที่ได้ในไซโลก่อนผ่านกระบวนการย่อยอื่นๆ ต่อไป หน่วยนี้ประกอบด้วย Airlift ถังเก็บผงพื้นฐาน และชุดสายพาน

5. Post dosing unit เป็นหน่วยย่อยที่ทำหน้าที่ผสมสารเติมแต่ง (Additives) ที่ใช้เสริมคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพของผงซักฟอกให้เหมาะสมตามสูตรที่ทางโรงงานกำหนดก่อนผ่านเข้าสู่กระบวนการบรรจุหีบห่อต่อไป หน่วยนี้ประกอบด้วย ถังผสมแบบหมุน (Rotary drum mixer) ฟลูอิดไดเซอร์ ชุดเครื่องชั่งวัตถุดิบ และชุดสายพาน

รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



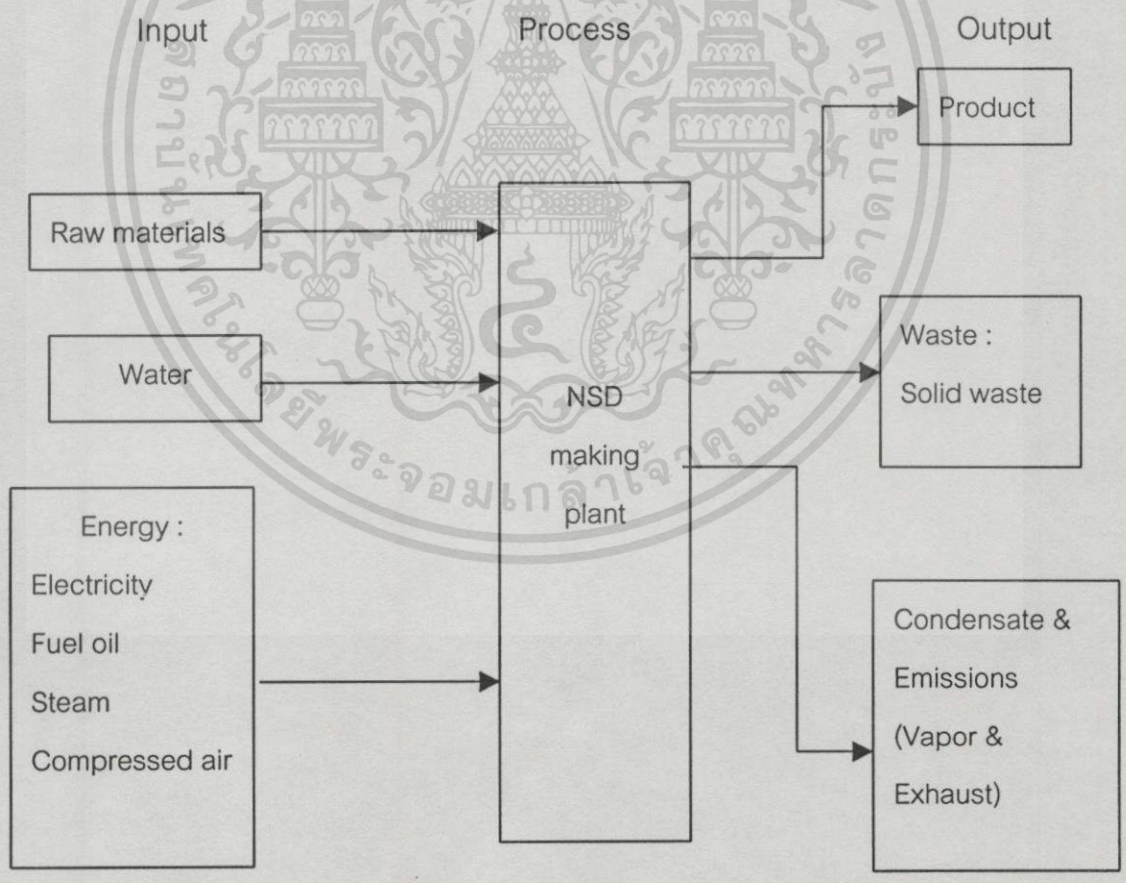

**รูปที่** 2.2 กระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ

จากรูปที่ 2.2 วัตถุดิบทั้งหมดซึ่งมีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวจะถูกส่งเข้าหน่วยจัดเก็บวัตถุดิบ และถูกชั่งด้วยระบบอัตโนมัติแล้วส่งไปผสมในหน่วย Mixing & Handling unit จนได้สเลอรี่ จากนั้นสเลอรี่ที่ได้จะถูกส่งไปยัง Deaeration & Filtering unit เพื่อดึงอากาศและกรองสิ่งเจือปนออก และเก็บไว้ใน Holdling tank หลังจากนั้นจะถูกส่งไปหน่วยอบแห้งโดยการฉีดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

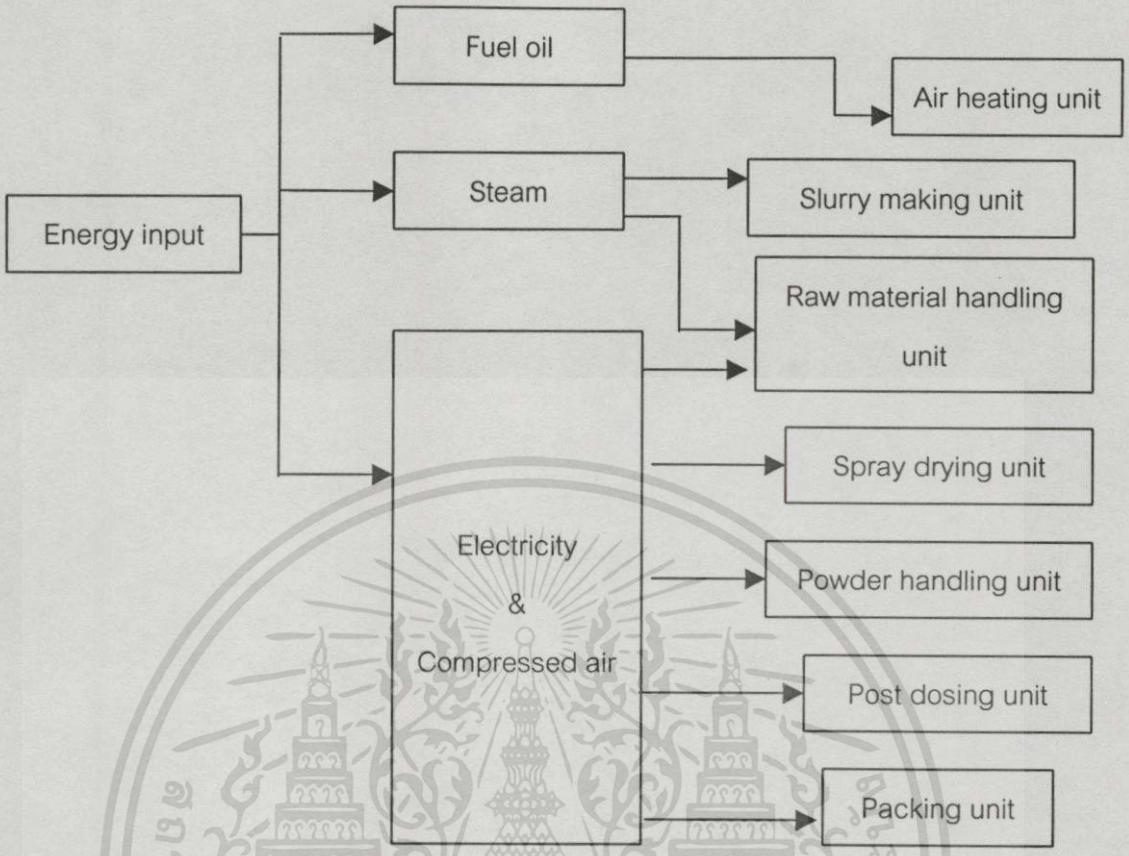
ละออง (Spray drying unit) สเลอรี่ที่อบแห้งแล้วจะมีลักษณะเป็นผงสีขาวและมีขนาดแตกต่างกันค่อนข้างมาก อีกทั้งมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง ผงที่ได้ดังกล่าวจะถูกส่งไปยัง Airlift ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สร้างลมดูด โดยจะดึงผงที่มีขนาดเล็กขึ้นไปเก็บใน ไซโล สำหรับผงที่มีขนาดใหญ่จะตกลงด้านล่างและมีภาชนะรองรับเพื่อนำกลับไปผสมกับสเลอรี่ใหม่ (Rework process) ผงที่อยู่ในไซโลจะถูกส่งไปยัง Powder handling unit เพื่อแยกขนาดอีกครั้งด้วยตะแกรงและส่งไปผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ ตามสูตรของแต่ละผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก ในหน่วย Post dosing ผลิตภัณฑ์ในสายการผลิตสายที่ 1 จะถูกส่งไปเครื่องผสมแบบหมุน และ ฟลูอิดไดเซอร์ ผลิตภัณฑ์ในสายการผลิตสายที่ 2 จะถูกส่งไปฟลูอิดไดเซอร์ เพื่อให้ส่วนผสมต่างๆ ถูกผสมเข้ากันอย่างดี ก่อนส่งไปยังหน่วยบรรจุผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสายการผลิตที่ 1 มีกำลังการผลิตสูงกว่าสายการผลิตที่ 2 ดังนั้นเพื่อเพิ่มเวลาในการผสมจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องผสมแบบหมุนช่วยในการผสมก่อนที่จะไปผสมในฟลูอิดไดเซอร์ ภาคผนวก ก แสดงสารที่เป็นส่วนประกอบของผงซักฟอก [2-3]

รูปที่ 2.3 แสดงสารเข้าและสารออกจากส่วนการผลิตของผงซักฟอกชนิดธรรมดา รูปที่ 2.4 แสดงพลังงานเข้าและพลังงานออกจากส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา



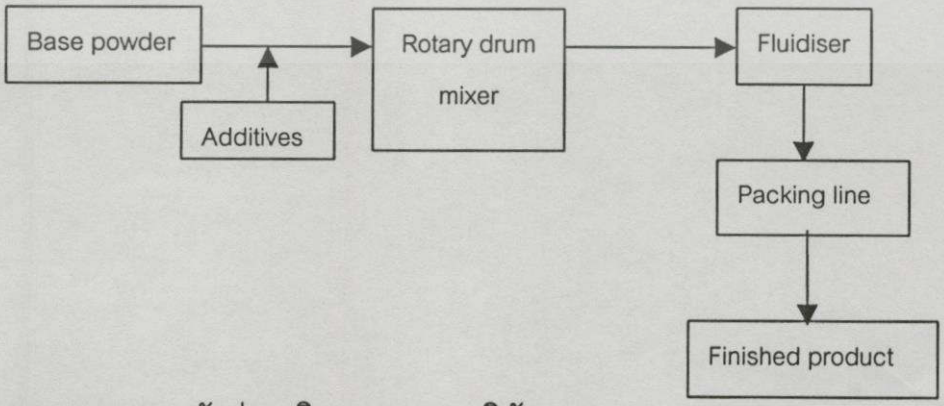

**รูปที่ 2.3 สารเข้าและสารออกจากส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 2.4 พลังงานเข้าและพลังงานออกจากส่วนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา

รูปที่ 2.5 แสดงการบรรจุผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ เริ่มจากนำผงพื้นฐานมาผ่านหน่วย Post dosing เพื่อเติมสารเติมแต่งต่างๆ ตามสูตร ผงที่ได้จะถูกชุดสายพานลำเลียงไปยังเครื่องผสมแบบหมุนและฟลูอิดไดเซอร์ แล้วจึงส่งไปยังหัวจ่ายเพื่อทำการบรรจุที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ต่อไป




**รูปที่** 2.5 การบรรจุผงซักฟอกชนิดธรรมดาของบริษัทฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# ทฤษฎีและหลักการ

## 3.1 แนวคิดเทคโนโลยีสะอาด [7-12]

เทคโนโลยีสะอาด คือ การพัฒนาเปลี่ยนแปลงปรับปรุงกระบวนการผลิต และการบริการอย่างต่อเนื่อง โดยก่อให้เกิดผลกระทบหรือความเสี่ยงที่จะเกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในขณะนั้น และต้องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งทำได้โดยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และการใช้ซ้ำและ/หรือการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยี เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยได้รับความร่วมมือจากบุคลากรภายในองค์กร

หลักการของเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการเปลี่ยนแปลงความคิดจากการแก้ไขที่ปลายเหตุ (End of pipe) เป็นการป้องกันที่แหล่งกำเนิดของเสียแทน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแนวคิดนี้จะแตกต่างจากหลักการเดิม คือ การจัดการกากของเสียจากอุตสาหกรรมที่แก้ไขที่ปลายเหตุ [9-12]

การวิเคราะห์สาเหตุและหาวิธีป้องกันแก้ไข นิยมพิจารณาจากปัจจัย 5 ประการ คือ

1. ปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ เช่น
   - 1.1 ลดหรือยกเลิกการใช้วัตถุดิบที่เป็นอันตราย
   - 1.2 ใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการมีสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในกระบวนการผลิต
   - 1.3 ใช้วัสดุที่นำมาใช้ใหม่ได้
2. ปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ เช่น
   - 2.1 ปรับเปลี่ยนสูตรของผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อผู้บริโภคนำไปใช้
   - 2.2 เพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์
   - 2.3 ยกเลิกการใช้ส่วนหรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
   - 2.4 ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถแยกส่วนได้ ติดตั้งง่าย ประกอบง่าย และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ง่าย
   - 2.5 ยกเลิกหีบห่อบรรจุที่ไม่จำเป็น
3. ปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี เช่น
   - 3.1 เปลี่ยนอุปกรณ์ ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ หรือระบบท่อ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่ายอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ใช้ระบบอัตโนมัติหรืออุปกรณ์ควบคุมที่ช่วยลดปริมาณผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน

3.3 ปรับปรุงสภาวะการผลิต เช่น อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน หรือระยะเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตหรือลดปริมาณของเสีย

3.4 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาให้เหมาะสมกับระบบ

4. ปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินการ เช่น

4.1 มีขั้นตอนการผลิตที่ชัดเจน

4.2 มีการบริหารการปฏิบัติงาน

4.3 มีการจัดการการไหลของงานให้มีประสิทธิภาพ

4.4 ปรับปรุงการขนถ่ายวัสดุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.5 มีกระบวนการทำงานและขั้นตอนการบำรุงรักษาที่ชัดเจน

4.6 มีการทำรายงานบันทึกการควบคุมสินค้าคงคลัง

4.7 มีการอบรมพนักงานอย่างสม่ำเสมอ

4.8 มีการแยกประเภทของมลพิษออกจากกันตามวิธีการกำจัด

5. การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ เช่น

5.1 ใช้ผลิตภัณฑ์หมุนเวียน

5.1.1 เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

5.1.2 นำไปใช้ในกระบวนการอื่น

5.2 ใช้เทคโนโลยีหมุนเวียน

5.2.1 ผ่านกระบวนการเพื่อนำทรัพยากรกลับมาใช้อีก

5.2.2 ผ่านกระบวนการเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดโดย (United Nation Environmental Program: UNEP) แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. การวางแผนและจัดองค์กร (Planning and organization)

1.1 ต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร

1.2 ตั้งเป้าหมายของปัญหาที่จะแก้ไขหรือปรับปรุงที่ชัดเจน

1.3 จัดตั้งทีมหรือกลุ่มดำเนินโครงการ

1.4 ระดมความเห็น ค้นหาอุปสรรค และวิธีแก้ไข

2. การประเมินเบื้องต้น (Pre-assessment) ประกอบด้วย

2.1 สร้างแผนภาพกระบวนการผลิต

2.2 เขียนสารเข้าและสารออกของกระบวนการผลิตทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เลือกเป้าหมายและข้อเน้นสำหรับการประเมินละเอียดตามลำดับของความสำคัญ

3. การประเมินละเอียด (Assessment) ทำโดย

3.1 ทำสมดุลมวลสารและพลังงานอย่างละเอียด

3.2 หาแหล่งและสาเหตุการเกิดของเสีย มลพิษ การสูญเสียพลังงาน และความเสี่ยง

3.3 สร้างทางเลือกหรือข้อเสนอทางเทคโนโลยีสะอาด

4. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Feasibility study) ประกอบด้วย

4.1 การประเมินเบื้องต้น

4.2 การประเมินทางเทคนิค

4.3 การประเมินทางการเงิน

4.4 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.5 จัดลำดับทางเลือกที่เป็นไปได้

5. การลงมือปฏิบัติและติดตามประเมินผล (Implementation)

5.1 เตรียมแผนปฏิบัติการ

5.2 นำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดไปปฏิบัติ

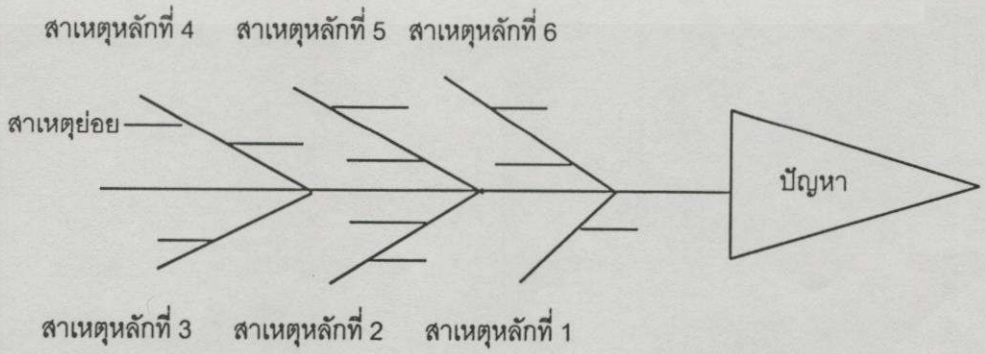
5.3 ตรวจวัดประเมินความก้าวหน้า

5.4 ทำกิจกรรมเทคโนโลยีสะอาดให้ต่อเนื่อง

5.5 ติดตามและประเมินผล

## 3.2 แผนภูมิก้างปลา (Fish bone diagram) [1,13]

แผนภูมิก้างปลาเป็นแนวทางหนึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาโดยแยกสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานั้นออกเป็นสาเหตุหลักๆ และสาเหตุย่อยๆ ดังรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** แผนภูมิก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาซึ่งมีหลายขั้นตอนย่อย ด้วยแนวคิดเทคโนโลยีสะอาดและแผนภูมิก้างปลาพบว่า มีตัวแปรและสาเหตุที่มีผลกระทบต่อค่า BD มีจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่จะวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD และปรับค่าตัวแปรนั้นเพื่อลดความเปลี่ยนแปลงของ BD วิธีที่นิยมนำมาวิเคราะห์ตัวแปรที่มากกว่า 4 ตัวขึ้นไป โดยที่ตัวแปรนั้นๆ มีอันตรกิริยาต่อกันด้วย คือ วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง

## 3.3 การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายเชิง [14]

โดยทั่วไปกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมค่อนข้างซับซ้อน แบบจำลองคณิตศาสตร์หรือความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นเพื่ออธิบายกระบวนการนั้นๆ

สมการที่ 3.1 อธิบายความสัมพันธ์ต่างๆ ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent variable) และ ตัวแปรตาม (Dependent variable)

$$y = \beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+ \ldots\ldots\ldots\ldots+\beta_k x_k+\varepsilon \qquad (3.1)$$

โดยที่ x คือ ตัวแปรอิสระ ที่มีทั้งสิ้น k ตัวและ y คือ ตัวแปรตาม ส่วน $\beta_j$ ที่ j = 0,1,2,...,k เรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficients) ค่านี้จะบอกถึงความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระ $\varepsilon$ คือ Error term เป็นพจน์ที่มีเพื่อแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.1 ในงานวิจัยนี้ค่า BD คือ ตัวแปรตาม และตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่า BD คือ ตัวแปรอิสระ จากเอกสารอ้างอิง [14] สมมติฐานเบื้องต้นของสมการที่ 3.1 คือ $E(\varepsilon) = 0$ และ $V(\varepsilon) = \sigma^2$ เมื่อ $E(\varepsilon)$ คือ ค่าที่คาดหมาย (Expected value) และ $V(\varepsilon)$ คือ ค่าความแปรปรวน (Variance) ตารางที่ 3.1 ใช้บันทึกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การบันทึกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง

| y | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ ..... $x_k$ |
|---|---|---|---|
| $y_1$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ ..... $x_{1k}$ |
| $y_2$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | $x_{23}$..... $x_{2k}$ |
| . | . | . | . . |
| . | . | . | . . |
| $y_n$ | $x_{n1}$ | $x_{n2}$ | $x_{n3}$ ..... $x_{nk}$ |

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 สามารถเขียนให้อยู่ตามรูปสมการที่ 3.1 ได้ดังนี้

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + ..... + \beta_j x_{ik} + \varepsilon_i$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \qquad (3.2)$$

$$i = 1, 2, ..., n$$

จากสมการที่ 3.2 กำจัดค่าของ $\varepsilon_i$ โดยกำหนดฟังก์ชัน L (Least square) ดังนี้

$$L = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 \qquad (3.3)$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \left( y_i + \beta_o - \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} \right)^2 \qquad (3.4)$$

จากนั้นหาอนุพันธ์ย่อยของฟังก์ชัน L เทียบกับ $\beta_0$ และ $\beta_j$ และเนื่องจากเป็นการหาจุดต่ำสุดจึงให้อนุพันธ์ย่อยดังกล่าวเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left.\frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}_0}\right|_{\hat{\beta}_1,\ \hat{\beta}_2,\ldots,\hat{\beta}_k} = -2\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^{k}\hat{\beta}_j x_{ij}\right) = 0 \qquad (3.5.1)$$

$j = 1, 2, \ldots, k$ และ $i = 1,2,\ldots,n$

$\hat{\beta}_k$ = สัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากการคำนวณ

และ

$$\left.\frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}}\right|_{\hat{\beta}_1,\ \hat{\beta}_2,\ldots,\hat{\beta}_k} = -2\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^{k}\hat{\beta}_j x_{ij}\right)x_{ij} = 0 \qquad (3.5.2)$$

และจัดได้ดังสมการที่ 3.6

$$\left.\begin{aligned}
n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1\sum_{i=1}^{n}x_{i1} + \hat{\beta}_2\sum_{i=1}^{n}x_{i2} + \ldots\ldots + \hat{\beta}_k\sum_{i=1}^{n}x_{ik} &= \sum_{i=1}^{n}y_i \\
\hat{\beta}_0\sum_{i=1}^{n}x_{i1} + \hat{\beta}_1\sum_{i=1}^{n}x^2{}_{i1} + \hat{\beta}_2\sum_{i=1}^{n}x_{i1}x_{i2} + \ldots + \hat{\beta}_k\sum_{i=1}^{n}x_{i1}x_{ik} &= \sum_{i=1}^{n}x_{i1}y_i \\
\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots & \\
\hat{\beta}_0\sum_{i=1}^{n}x_{ik} + \hat{\beta}_1\sum_{i=1}^{n}x_{ik}x_{i1} + \hat{\beta}_2\sum_{i=1}^{n}x_{ik}x_{i2} + \ldots + \hat{\beta}_k\sum_{i=1}^{n}x_{ik}{}^2 &= \sum_{i=1}^{n}x_{ik}y_i
\end{aligned}\right\} \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาเขียนใหม่ในรูปของเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{i2} \cdots\cdots & \sum_{i=1}^{n} x_{ik} \\ \sum_{i=1}^{n} x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{i1}^{2} & \sum_{i=1}^{n} x_{i1}x_{i2} \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_{i1}x_{ik} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sum_{i=1}^{n} x_{ik} & \sum_{i=1}^{n} x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^{n} x_{ik}x_{i2} \cdots & \sum_{i=1}^{n} x^{2}_{ik} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} y_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_{i1}y_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum_{i=1}^{n} x_{ik}y_i \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

การแก้สมการที่ 3.7 สามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทำเมตริกซ์ผกผัน (Matrix inversion) วิธีการแยกแบบโชเลซกี (Cholesky decomposition) และวิธีการแยกแบบแอลยู (LU decomposition) [15] แต่วิธีที่มีข้อจำกัดน้อยที่สุด คือ ระเบียบวิธีการแยกแบบแอลยู [16]

## 3.4 ระเบียบวิธีการแยกแบบแอลยู [15-16]

ระเบียบวิธีการแยกแบบแอลยูเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมในการแก้ระบบสมการเชิงเส้นสำหรับปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ หลักการของระเบียบวิธีการนี้ คือ จะต้องจัดระบบสมการให้อยู่ในรูป Upper triangular matrix ดังสมการที่ 3.8 โดยสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่อยู่ในแถบล่างซ้ายของเมตริกซ์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a'_{22} & a'_{23} \\ 0 & 0 & a''_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาผลลัพธ์โดยการแทนค่าย้อนกลับ (Backward substitution) ได้โดยง่าย การแก้ระบบสมการเชิงเส้นในสมการที่ 3.9 ประกอบด้วย 3 สมการย่อย ดังนี้

$$[A]\{X\} = \{B\} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนแรก คือ การแยกเมตริกซ์ [A] ออกเป็น 2 เมตริกซ์ ดังสมการที่ 3.10

$$[A] = [L][U] \tag{3.10}$$

รูปแบบโดยละเอียดแสดงดังสมการที่ 3.11

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & 0 & 0 \\ l_{21} & l_{22} & 0 \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & U_{12} & U_{13} \\ 0 & 1 & U_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

[A] = [L] [U]

กล่าวคือ เมตริกซ์ [L] เป็นเมตริกซ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวตลอดแถบบนขวาเป็นศูนย์ ในขณะที่เมตริกซ์ [U] เป็นเมตริกซ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวตลอดแถบล่างซ้ายเป็นศูนย์เช่นกัน หากแทนสมการที่ 3.10 ลงในสมการที่ 3.9 จะได้

$$[L][U]\{X\} = \{B\} \tag{3.12}$$

กำหนดให้

$$[U]\{X\} = \{Y\} \tag{3.13}$$

เราสามารถแก้ระบบสมการในรูปสมการที่ 3.13 ด้วยการแทนค่าแบบไปข้างหน้า (Forward substitution) เพื่อหา {Y}

$$[L]\{Y\} = \{B\} \tag{3.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงแก้ระบบสมการที่ 3.14 ด้วยการแทนค่าแบบย้อนกลับ (Backward substitution) เพื่อหาผลลัพธ์ {X} ที่ต้องการ

$$[U]\{X\} = \{Y\} \tag{3.15}$$

ลำดับขั้นตอนในการหาค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ในเมตริกซ์ [L] และ [U] จากเมตริกซ์ [A] สามารถแสดงในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$l_{i1} = a_{i1} \tag{3.16}$$

$$i = 1, 2, \ldots, n$$

$$U_{1j} = \frac{a_{1j}}{l_{11}} \tag{3.17}$$

$$j = 1, 2, \ldots, n$$

และสำหรับเมื่อ j = 2, 3, ....., n-1

$$l_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} U_{kj} \tag{3.18}$$

$$i = j, j+1, \ldots, n$$

$$U_{jk} = \frac{a_{jk} - \sum_{i=1}^{j-1} l_{ji} U_{ik}}{l_{jj}} \tag{3.19}$$

$$k = j+1, j+2, \ldots, n$$

และ

$$l_{nn} = a_{nn} - \sum_{k=1}^{n-1} l_{nk} U_{kn} \tag{3.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้เมตริกซ์ [L] และ [U] แล้ว สามารถคำนวณเวกเตอร์ {Y} และ {X} ได้ตามลำดับดังนี้

$$x_n = y_n$$

$$x_i = y_i - \sum_{j=i+1}^{n} U_{ij} x_j \qquad (3.21)$$

$$i = 1, 2, \ldots, n$$

และ

$$x_n = y_n$$

$$x_i = y_i - \sum_{j=i+1}^{n} U_{ij} x_j \qquad (3.22)$$

$$i = n-1, n-2, \ldots, 1$$

ขั้นตอนทั้งหมดนี้สามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ดังแสดงในภาคผนวก ข

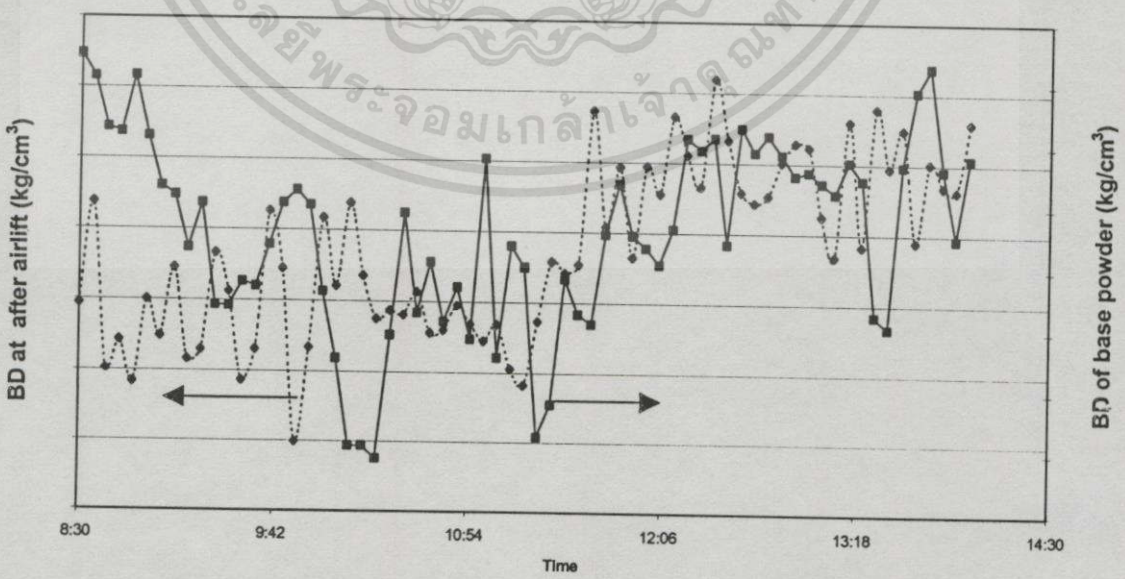
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การทดลอง

## 4.1 การดำเนินการเพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่า BD

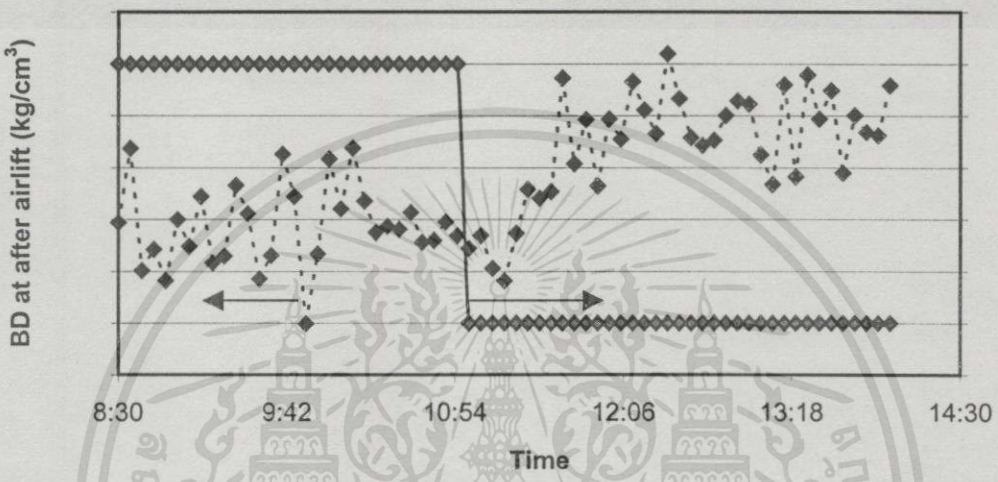
ผู้วิจัยใช้เวลาศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลที่โรงงานเป็นเวลา 2 ปี จากการศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาอย่างละเอียดพบว่า มีตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ ค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก เช่น ค่า BD ที่หลังจาก Airlift ค่า BD ของผงพื้นฐาน อุณหภูมิของสเลอรี่ ความดันที่ Deaerator ความดันที่เครื่องสูบความดันสูง ความดันที่เครื่องสูบความดันต่ำ อัตราการฉีดสเลอรี่ อัตราการใช้น้ำมันเตา อัตราการไหลของอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหอฉีด ความดันภายในหอฉีด ความชื้นของผงซักฟอก อุณหภูมิอากาศร้อนที่ยอดหอฉีด และอัตราการใช้ลมของ Airlift เป็นต้น รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และการเปลี่ยนแปลงของ BD ของผงพื้นฐานพบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และของ BD ของผงพื้นฐานมีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BD ที่หลังจาก Airlift เป็นตัวแทนที่ใช้อ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์และตัวแปรต่างๆ เพราะสะดวกในการเก็บตัวอย่างและประหยัดเวลาในการวิเคราะห์



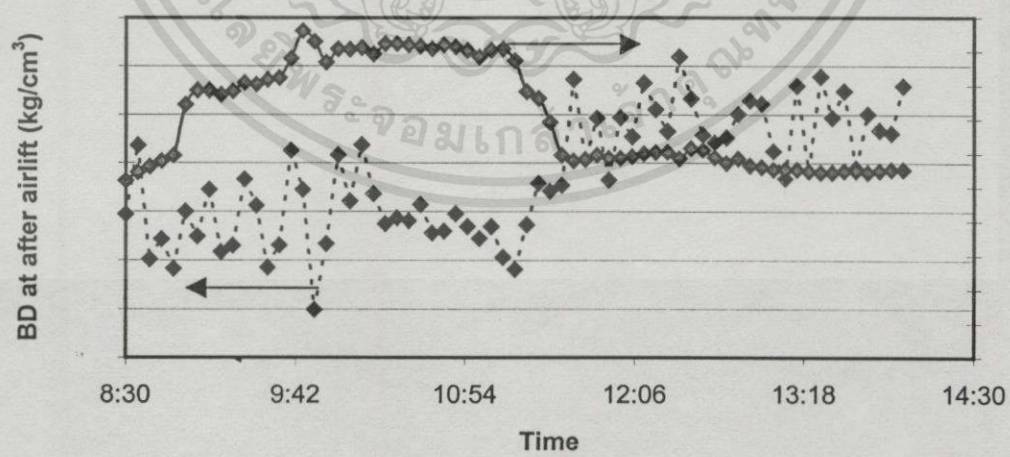

**รูปที่ 4.1** การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และ BD ของผงพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับตัวแปรเหล่านี้ในเบื้องต้นทำให้ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรเหล่านี้ต่อค่า BD ที่หลังจาก Airlift ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 – 4.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของการปรับตัวแปรต่างๆ กับการเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift (สเกลของรูปไม่สามารถเปิดเผยได้) ข้อมูลที่ทดลองทั้งหมดนอกจากนี้อยู่ในรายงานฉบับที่ส่งบริษัทฯ

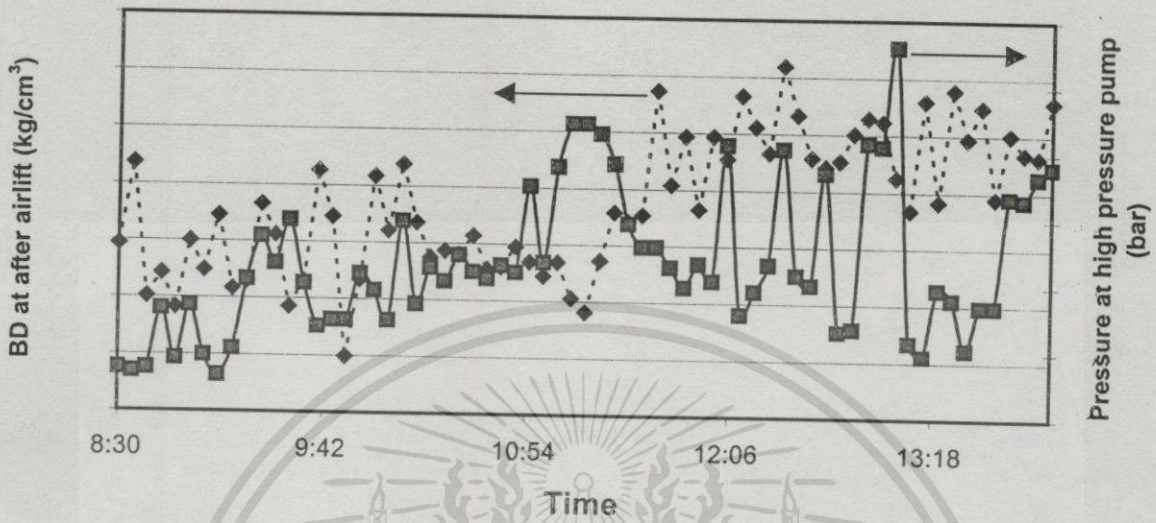



**รูปที่** 4.2 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และอุณหภูมิของสเลอรี่

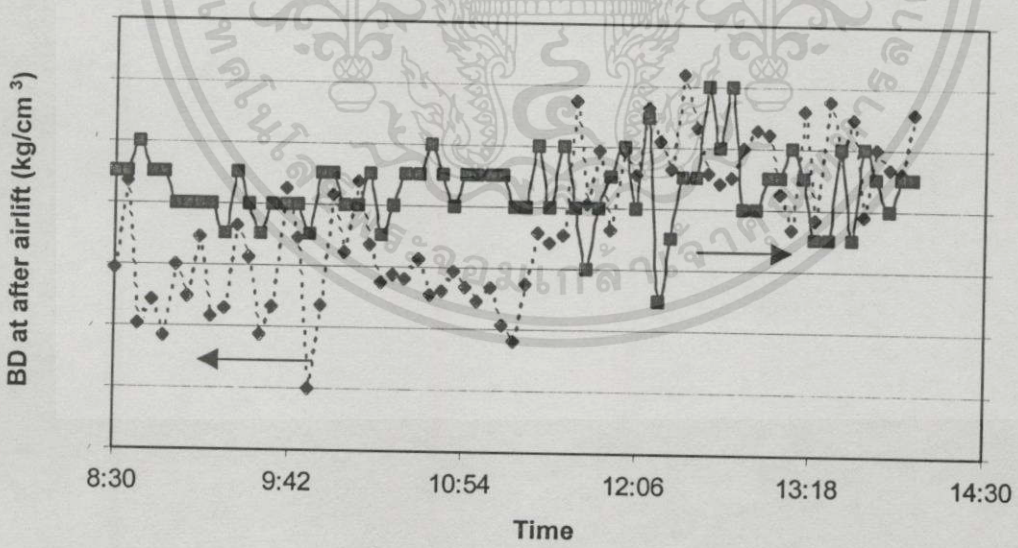



**รูปที่** 4.3 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่ Deaerator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

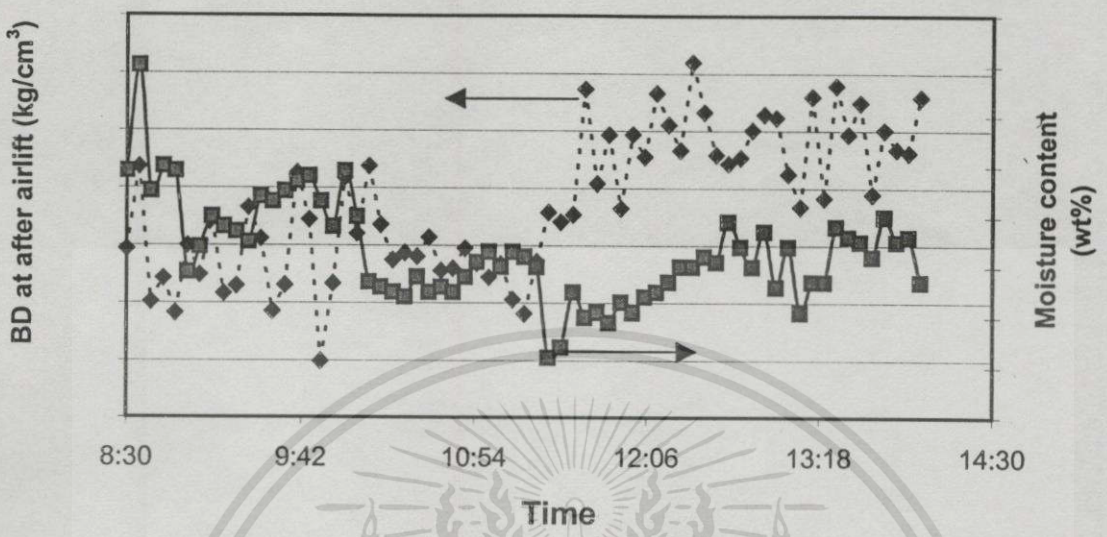



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่เครื่องสูบความดันสูง

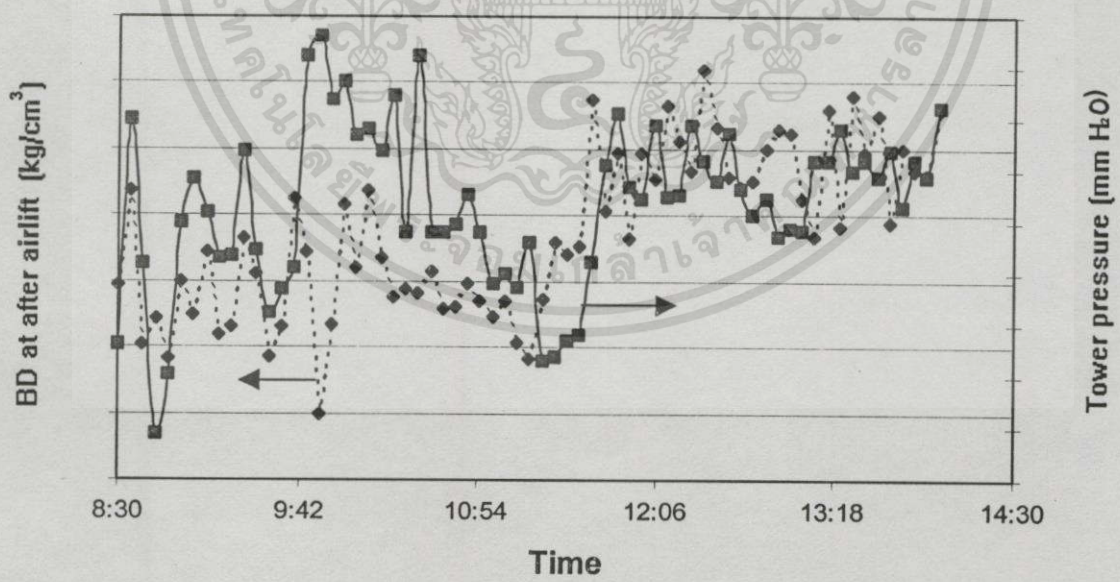



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันที่เครื่องสูบความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และปริมาณความชื้นของผงซักฟอก




รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของ BD ที่หลังจาก Airlift และความดันภายในหอฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดที่มีผลต่อค่า BD มาเขียนความสัมพันธ์กับค่า BD ที่เวลาเดียวกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ และเลือกตัวแปร 10 ตัวแปรรวมทั้งอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรเหล่านั้นที่มีผลกระทบสูงต่อค่า BD มาวิเคราะห์หานัยสำคัญโดยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง ด้วยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และทำการทดสอบทางสถิติแบบที (T-tests) [14] หลังจากนั้นศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับตัวแปรหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปรเหล่านั้นเพื่อลดความเปลี่ยนแปลงของ BD

ค่า BD ที่ทางโรงงานกำหนดไว้เป็นมาตรฐานที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ ต่างๆ คือ x g/cm$^3$ แต่ความสามารถที่สายการบรรจุผงซักฟอกชนิดต่าง ๆ สามารถบรรจุผงซักฟอกที่มีค่า BD ตั้งแต่ y g/cm$^3$ ขึ้นไป ดังนั้นจึงต้องพยายามทำให้ค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีค่า BD เท่ากับที่ x g/cm$^3$ โดยเก็บข้อมูลค่า BD ที่หลังจาก Airlift เทียบกับค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ต่างๆ ลงในผังการควบคุม (Control chart) [13] และใช้หลักการทางสถิติ เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นต้น ในการวิเคราะห์ [17-18] ซึ่งจะทำให้ทราบค่า BD ที่หลังจาก Airlift ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีค่า BD เท่ากับหรือใกล้เคียงกับ x g/cm$^3$ และเขียน SOPs จากตัวแปรหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญจากแบบจำลองการถดถอยแบบหลายเชิง ที่สามารถปรับค่าได้โดยไม่มีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้พนักงานปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม

สร้างผังความสัมพันธ์ (Relation chart) แสดงภาพรวมของตัวแปรทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อค่า BD สำหรับเป็นข้อพึงระวังในกรณีที่ต้องการปรับค่าตัวแปรในระหว่างการผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่า BD ที่สายการบรรจุผลิตภัณฑ์

## 4.2 การออกแบบและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ปฏิบัติตามหลักการ PDCA cycle (Plan-Do-Check-Act ) [13]

1. Plan วางแผนการเก็บข้อมูล [17-18] และสร้างแบบจำลองการถดถอยแบบหลายเชิง [6] จากตัวแปรซึ่งมีผลกระทบต่อค่า BD สูง จากการศึกษากระบวนการผลิตอย่างละเอียดในหัวข้อ 4.1 ในงานวิจัยนี้เลือกตัวแปรที่สำคัญ 10 ตัว และอันตรกิริยาอันดับ 2 ทั้งหมดระหว่างตัวแปรทั้ง 10 ตัวแปรในการคำนวณ ตัวแปรต่างๆ มีดังนี้ อัตราการฉีดสเลอรี่ (Slurry injection rate $x_1$, ton/h) ความชื้นของผงซักฟอก (Powder moisture content $x_2$, wt%) อุณหภูมิยอดหอฉีด (Tower top temperature $x_3$,°C) ความดันภายในหอฉีด (Tower pressure $x_4$, mm.$H_2O$) อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด (Hot air inlet temperature $x_5$,°C) อัตราการใช้ลมของ Airlift (Airlift flow rate $x_6$,m$^3$/h) อัตราการไหลอากาศที่เข้าหอฉีด (Quenched air flow rate $x_7$,m$^3$/h) อัตราการไหลอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด (Combustion air flow rate $x_8$,m$^3$/h) อัตราการใช้น้ำมันเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Oil flow rate $x_9$, kg/h) และความดันที่ปั๊มความดันสูง (Pressure at high pressure pump $x_{10}$, bar)

สามารถเขียนตัวแปรทั้งหมดได้ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วย 56 ตัวแปร ดังนั้นจึงต้องการอย่างน้อย 56 สมการสำหรับแก้หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่พิจารณา

$$BD = \beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\beta_3 x_3+\beta_4 x_4+\beta_5 x_5+\beta_6 x_6+\beta_7 x_7+\beta_8 x_8 + \beta_9 x_9+\beta_{10} x_{10}+ \beta_{12} x_1x_2+ \beta_{13} x_1x_3+\beta_{14} x_1x_4+ \beta_{15}x_1x_5+ \beta_{16} x_1x_6+ \beta_{17} x_1x_7+ \beta_{18}x_1x_8 +\beta_{19}x_1x_9+\beta_{110} x_1x_{10}+\beta_{23} x_2x_3+ \beta_{24} x_2x_4+\beta_{25} x_2x_5 +\beta_{26} x_2x_6+\beta_{27} x_2x_7+\beta_{28} x_2x_8+\beta_{29} x_2x_9+\beta_{210} x_2x_{10} +\beta_{34} x_3x_4+\beta_{35} x_3x_5+ \beta_{36} x_3x_6+ \beta_{37} x_3x_7+ \beta_{38} x_3x_8+\beta_{39} x_3x_9+\beta_{310}x_3x_{10}+\beta_{45}x_4x_5 +\beta_{46} x_4x_6+ \beta_{47} x_4x_7+\beta_{48} x_4x_8+\beta_{49} x_4x_9+\beta_{410} x_4x_{10}+\beta_{56} x_5x_6+\beta_{57} x_5x_7+\beta_{58} x_5x_8+\beta_{59} x_5x_9+\beta_{510} x_5x_{10}+\beta_{67} x_6x_7+\beta_{68} x_6x_8+\beta_{69}x_6x_9+\beta_{610}x_6x_{10}+\beta_{78}x_7x_8+\beta_{79} x_7x_9+ \beta_{710}x_7x_{10}+\beta_{89}x_8x_9+\beta_{810}x_8x_{10}+\beta_{910}x_9x_{10} \quad (4.1)$$

2. Do ทดลองเก็บข้อมูล ตารางที่ใช้บันทึกข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค (สำหรับข้อมูลโดยละเอียดของแต่ละตัวแปรในกระบวนการผลิตจะแสดงไว้ในรายงานที่ส่งให้กับบริษัทฯ) เขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ทั้งนี้ที่ต้องเขียนโปรแกรมเพราะโปรแกรมสำเร็จรูปมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถแก้สมการหาคำตอบของสมการที่มีจำนวนตัวแปรมากๆ ได้

3. Check ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากการคำนวณว่าค่าใดมีนัยสำคัญต่อค่า BD และสามารถปรับค่าได้โดยไม่มีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตัวเลขแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีนัยสำคัญจะมีค่าสูงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ไม่มีนัยสำคัญ

4. Act สร้าง SOPs เพื่อควบคุมค่า BD จากตัวแปรหรืออันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD ให้พนักงานปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

## 5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อค่า BD ในเบื้องต้น

จากรูปที่ 4.2-4.7 ซึ่งเป็นตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับค่า BD ที่หลังจาก Airlift ถ้าตัวแปรที่ศึกษานั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้ค่า BD ที่หลังจาก Airlift มีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลงอย่างชัดเจนแสดงว่าตัวแปรนั้นมีผลต่อค่า BD ซึ่งในเบื้องต้นเลือกได้ 10 ตัวแปร คือ อัตราการฉีดสเลอรี่ ความชื้นของผงซักฟอก อุณหภูมิยอดหอฉีด ความดันภายในหอฉีด อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด อัตราการใช้ลมของ Airlift อัตราการไหลอากาศที่เข้าหอฉีด อัตราการไหลอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด อัตราการใช้น้ำมันเตา และความดันที่เครื่องสูบความดันสูง

## 5.2 ตัวแปรและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD

ในทางทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีนัยสำคัญ หมายถึง มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูงเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยตัวอื่น ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่มีค่าน้อยอยู่ระหว่าง $10^{-1}$-$10^{-4}$ ถือว่าไม่มีนัยสำคัญ ในการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณ ผู้วิจัยเก็บข้อมูล 6 ครั้งต่อทุกหนึ่งตัวแปรและหนึ่งคู่อันตรกิริยา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรและแต่ละอันตรกิริยาที่คำนวณได้ในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างกันของสูตรของผงซักฟอก ความแตกต่างกันของวัตถุดิบในแต่ละวัน ความแตกต่างของการทำงานในแต่ละกะ เป็นต้น ในการทดลองแต่ละครั้งกลุ่มของตัวแปรหรือกลุ่มของอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญจะเป็นกลุ่มเดิม ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวจะต้องนำมาทดสอบแบบที เพื่อยืนยันการมีและไม่มีนัยสำคัญของตัวแปรและอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ง) ตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 สรุปตัวแปรและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD

| ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ | สัมประสิทธิ์การถดถอย (การทดลอง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
| Slurry injection rate ($\beta_1$) | 161.77 | -47.266 | -90.12 | 2756.42 | -194.23 | -303.54 |
| Powder moisture content ($\beta_2$) | -112.67 | -253.32 | -367.28 | -1417.62 | -667.38 | 354.12 |
| Tower top temperature ($\beta_3$) | -2.04 | -20.54 | -9.75 | 620.94 | 67.615 | 6.977 |
| Tower pressure ($\beta_4$) | 187.54 | -146.98 | -141.07 | -850.81 | 25.28 | 120.71 |
| Hot air inlet temperature ($\beta_5$) | -9.52 | -10.49 | -5.71 | -303.33 | 16.14 | 8.47 |
| Airlift flow rate ($\beta_6$) | -5.22 | 9.92 | 4.64 | 778.62 | -1.44 | 9.23 |
| Pressure at HP ($\beta_{10}$) | -165.81 | 55.52 | -54.83 | 1277.45 | -103.09 | 253.27 |

ตารางที่ 5.2 อันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD

| อันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ | สัมประสิทธิ์การถดถอย (การทดลอง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
| Slurry injection rate ($\beta_1$)&Moisture content ($\beta_2$) | -5.55 | 22.33 | 3.611 | 302.78 | 46.58 | -27.82 |
| Slurry injection rate ($\beta_1$)&Tower top temperature($\beta_3$) | 1.854 | -2.64 | 2.22 | 0.58 | -2.58 | 3.43 |
| Slurry injection rate ($\beta_1$)&Tower pressure ($\beta_4$) | 14.83 | 4.84 | -2.29 | -52.03 | 5.54 | -10.56 |
| Slurry injection rate ($\beta_1$)&Pressure at HP ($\beta_{10}$) | -4.89 | -3.414 | -1.88 | -113.63 | 5.09 | 2.14 |
| Moisture content ($\beta_2$)&Tower top temperature( $\beta_3$) | -4.74 | 0.78 | 1.87 | -179.04 | 2.33 | -4.47 |
| Moisture content ($\beta_2$)&Tower pressure ($\beta_4$) | -4.22 | 2.42 | 0.42 | 58.67 | 3.68 | -2.67 |
| Moisture content ($\beta_2$)& Pressure at HP($\beta_{10}$) | 7.39 | 6.73 | -0.44 | 56.04 | -3.21 | 4.422 |
| Tower top temperature( $\beta_3$)&Tower pressure ($\beta_4$) | 1.98 | 0.88 | 1.38 | 122.68 | 1.3 | -1.17 |
| Tower pressure ($\beta_4$)& Pressure at HP ($\beta_{10}$) | -6.81 | 6.13 | -2.34 | 18.1 | -10.35 | 1.3 |

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 อันตรกิริยาระหว่าง $\beta_4$ (ความดันภายในหอฉีด) และ $\beta_{10}$ (ความดันที่เครื่องสูบความดันสูง) เป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้เพื่อควบคุมค่า BD โดยไม่มีผลกระทบต่อการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับตัวแปรและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่า BD ตัวอื่นๆ ถ้าทำการปรับค่ามากๆ เพื่อจะคุมค่า BD ให้คงที่นั้น จะมีผลกระทบต่อการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากซึ่งจะเป็นปัญหาต่อไป เช่น การเพิ่มและลดความดันภายในหอฉีดจะเกิดปัญหาผงดำ (Black speckles) ปะปนในผงพื้นฐาน ทำให้ผงซักฟอกไม่ได้มาตรฐานและ

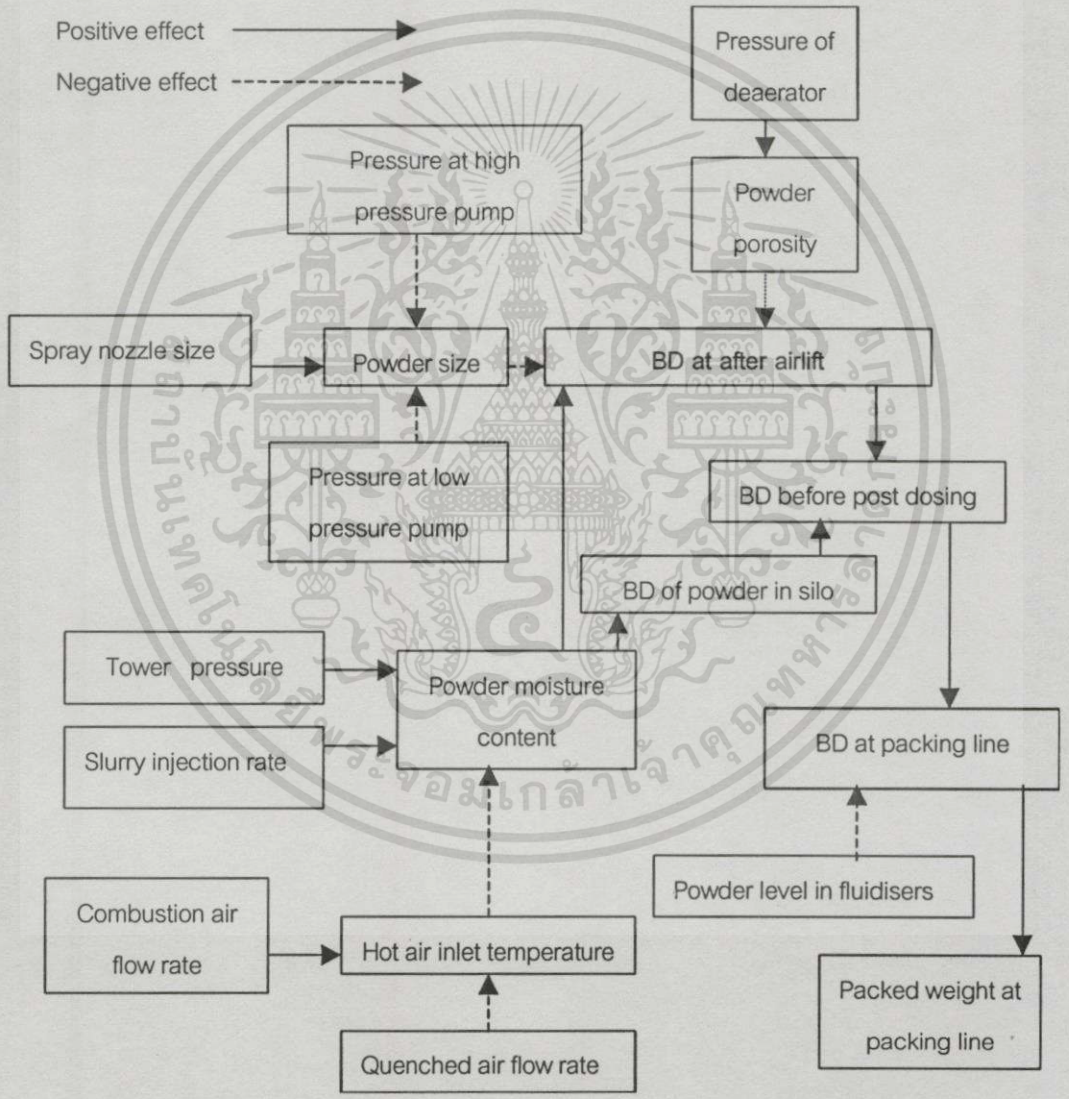
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องนำกลับเข้ากระบวนการผลิตใหม่ [19-20] การลดอัตราการฉีดสเลอรี่จะทำให้กำลังการผลิตลดลง การเพิ่มอัตราการฉีดสเลอรี่จะเกิดผงพื้นฐานจำนวนมากและไม่มีที่เก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดาและตัวแปรกระบวนการผลิตอย่างละเอียดสามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบกับค่า BD และสร้างผังความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 6.1




**รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่า BD**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิงพบว่า มีตัวแปรและอันตรกิริยาหลายตัวที่มีผลต่อค่า BD ของผงซักฟอก บางตัวแปรมีนัยสำคัญมากแต่ไม่สามารถปรับค่าได้ เพราะมีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและ/หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและมีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อย ซึ่งคือ อันตรกิริยาระหว่าง $\beta_4$ (ความดันภายในหอฉีด) และ $\beta_{10}$ (ความดันที่เครื่องสูบความดันสูง) และเขียนมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมค่า BD ดังนี้

พนักงานทำการตรวจสอบค่า BD ของผงซักฟอกแต่ละสูตร

1. ถ้าค่า BD อยู่ในช่วง $\pm$ 0.02 g/cm$^3$ จากค่ามาตรฐาน (x g/cm$^3$) พนักงานปฏิบัติงานต่อไปโดยไม่ต้องปรับค่าใดๆ ทั้งสิ้น

2. ถ้าค่า BD ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 0.02 g/cm$^3$ พนักงานต้องเพิ่มค่าความดันที่เครื่องสูบความดันสูงโดยทำการปิดหัวฉีดภายในหอฉีด และเพิ่มความดันภายในหอฉีดขึ้นครั้งละ 0.1 มิลลิเมตรน้ำ จนกว่าค่า BD จะอยู่ในช่วง $\pm$ 0.02 g/cm$^3$ จากค่ามาตรฐาน

3. ถ้าค่า BD สูงกว่าค่ามาตรฐาน 0.02 g/cm$^3$ พนักงานต้องลดค่าความดันที่เครื่องสูบความดันสูงโดยทำการเปิดหัวฉีดภายในหอ และลดความดันภายในหอฉีดลงครั้งละ 0.1 มิลลิเมตรน้ำ จนกว่าค่า BD จะอยู่ในช่วง $\pm$ 0.02 g/cm$^3$ จากค่ามาตรฐาน

ในการปรับความดันภายในหอฉีดและความดันที่เครื่องสูบความดันสูง พนักงานจะต้องควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้คงที่ คือ การกระจายตัวของสเลอรี่ที่ Deaerator และ ความดันที่ Deaerator เป็นต้น (รายละเอียดของระบบการควบคุม แสดงในรายงานที่ส่งบริษัท)

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่เครื่องสูบความดันสูงมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า BD มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในหอฉีด ค่าความดันที่เครื่องสูบความดันสูงมีการเปลี่ยนแปลงได้จากสาเหตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงของความดันที่เครื่องสูบความดันสูงจากสาเหตุต่างๆ

| สาเหตุ | ความดันที่เครื่องสูบความดันสูงที่เปลี่ยนแปลงโดยประมาณ (บาร์) |
|---|---|
| ปิดหัวฉีดภายในหอฉีด | ลดลง 4-6 |
| หัวฉีดตัน | ลดลง 4-6 |
| การพอกตัวของสเลอรี่ที่หัวฉีด | ลดลง 2-4 |
| ลดอัตราการฉีดสเลอรี่ 0.2 ตัน/ชั่งโมง | ลดลง 1 บาร์ |
| เปิดหัวฉีด | เพิ่มขึ้น 4-6 |
| หัวฉีดหลุด | เพิ่มขึ้น 4-6 |
| การหลุดออกของสเลอรี่ที่หัวฉีด | เพิ่มขึ้น 2-4 |
| เพิ่มอัตราการฉีดสเลอรี่ 0.2 ตัน/ชั่งโมง | เพิ่มขึ้น 1 บาร์ |

ความดันภายในหอฉีดเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่ใช้ปรับค่า BD การปรับค่าทำได้ดังนี้

1. พนักงานเรียกใช้งานระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic control)

2. ป้อนค่าเป้าหมาย (Set point) ซึ่งในที่นี้ คือ ความดันภายในหอฉีดเข้าระบบคอมพิวเตอร์ ระบบจะทำการปรับค่าอัตราการไหลของ Quenched air และ Combustion air เพื่อให้ความดันภายในหอฉีดได้ค่าตามค่าเป้าหมายที่ป้อนค่าไว้

ค่าความดันภายในหอฉีดจะมีการเปลี่ยนแปลงมากและตลอดเวลา ขึ้นกับจังหวะการทำงานของเครื่องสูบที่ทำหน้าที่ในการปรับปริมาณอากาศที่เข้าและออกจากหอฉีด

จากการทดลองพบว่าการปรับค่าความดันภายในหอฉีดและความดันที่เครื่องสูบความดันสูง มีข้อจำกัดดังนี้ คือ ไม่สามารถปรับค่าความดันภายในหอฉีดเกิน a มิลลิเมตรน้ำ และความดันที่เครื่องสูบความดันสูงเกิน b บาร์ ไม่เช่นนั้นจะมีผลกระทบต่อการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เมื่อใช้มาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อควบคุมค่า BD ที่สร้างขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงของ BD อยู่ในช่วงที่แคบลง และสามารถลดความแปรปรวนของ BD ลงได้ 33.33% เทียบกับความแปรปรวนของค่า BD จากกระบวนการผลิตแบบเดิม (การคำนวณแสดงในรายงานฉบับที่ส่งบริษัทฯ)

นอกจากการหาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่า BD และสร้าง SOPs ให้กับบริษัทฯ ผู้วิจัยยังศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆ ในสูตรของผงซักฟอกต่อค่า BD พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสาร c ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่า BD จะเพิ่มขึ้นประมาณ 8 เปอร์เซนต์ (ข้อมูลแสดงในรายงานฉบับที่ส่งบริษัทฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


1. The company operating manual และข้อมูลส่วนกลางของบริษัทยูนิลิเวอร์ ไทย โฮลดิ้ง จำกัด
2. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม **"ผงซักฟอก"**, มอก. 78-2541
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม **"วิธีวิเคราะห์และทดสอบผงซักฟอก"**, มอก. 578-2540
4. จันทนี จงนิตยกาล และสมพิศ นาคสุข พ.ศ.2528 **"รายงานภาวะเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมผงซักฟอกพ.ศ.2528"** กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม
5. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน ม.ป.ป ."ผงซักฟอก"
6. Stanley H. Pine, **Organic Chemistry**, 5th ed., New york, McGraw-Hill, 1987
7. สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, พ.ศ.2543 " **คู่มือเทคโนโลยีสะอาดสำหรับประชาชน** 2543"
8. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม, พ.ศ.2543 **"คู่มือตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด 2543"**
9. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2543 **"การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม"**
10. United States Enviromental Protection Agency "EPA Pollution Prevention Directive", May 13, 1990
11. กรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2543 **"เอกสารการประชุมเครือข่ายดำเนินงานด้านนิเวศน์เศรษฐกิจและการผลิตที่สะอาด"**
12. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2543 **"เอกสารการสัมมนาวิชาการการควบคุมมลพิษเชิงป้องกัน"**
13. Masaaki Imai, **Gemba Kaizen**, Tokyo, McGraw-Hill, 1997.
14. Douglas C. Montgomery, **Design and analysis of experiments**, New York, 4th ed., John Wiley & Sons, 1997
15. **ปราโมทย์ เดชอำไพ, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, **Numerical Methods for Engineers,** McGraw-Hill, 1998.

17. Shankar Narasimhan and Cornelius Jordache, **Data Reconciliation & Gross Error Detection,** Houston, Gulf Publishing Company, 2000.

18. Jay L. Devore, **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences,** Belmont, Duxbury Press, 1995.

19. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ เฉลิมพล เจริญสวัสดิ์ศิริ และดรุณี วัฒนาธนกุล **"กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของโรงงานผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา"** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่10 วันที่ 26-28 ตุลาคม 2543 , Bangkokok International Trade and Exhibition Center (BITEC) หน้า 1-9.

19. Anchaleeporn W. Lothongkum and Gobboon Lothongkum, "Cleaner Production in the Adornment Electroplating, the Detergent Powder and the Phthalic Anhydride Plants", Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Roundtable for Cleaner Production, Feb.28-March 2, 2001, Philippines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## 1. บทนิยาม [2-3]

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1.1 **ผงซักฟอก** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบหลักสำหรับใช้ซักผ้า

1.2 **สารลดแรงตึงผิว** (Surface-active agent or Surfactant) หมายถึง สารซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ

1.3 **สารลดความกระด้างของน้ำ** (Sequestering builder) หมายถึง สารที่ลดความกระด้างของน้ำ ช่วยให้สารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 **สารรักษาระดับความเป็นด่าง** (Alkaline builder) หมายถึง สารที่รักษาระดับความเป็นด่างให้คงที่ตลอดช่วงการใช้งาน

1.5 **สารเพิ่มความสดใส** (Optical brightening agent or Optical brightener) หมายถึง สารที่สามารถดูดแสงอัลตราไวโอเลต แล้วให้แสงที่ทำให้ผ้าดูสดใสยิ่งขึ้น

1.6 **สารเพิ่มฟอง** (Suds booster) หมายถึง สารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดฟองมากขึ้น

1.7 **สารลดฟอง** (Suds depressor) หมายถึง สารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้ฟองลดลง

1.8 **สารฟอก** (Oxygen bleach) หมายถึง สารที่อาศัยปฏิกิริยาของแนสเซนต์ออกซิเจน (Nascent oxygen) ในการฟอก

1.9 **สารฟอกต้นตอ** (Bleach precursor) หมายถึง สารซึ่งเมื่อละลายในน้ำจะเกิดสารฟอกขึ้น

1.10 **สารคงสภาพสำหรับสารฟอกต้นตอ** (Stabilizer for bleach precursor) หมายถึง สารซึ่งเมื่อผสมกับสารฟอกต้นตอแล้วทำให้สารฟอกต้นตอสลายตัวช้าลง

1.11 **สารช่วยการละลาย** (Hydrotrope) หมายถึง สารที่ทำให้ผงซักฟอกละลายในน้ำได้ดีขึ้น

1.12 **สารกันหมอง** (Anti-tarnishing agent) หมายถึง สารที่ช่วยให้สิ่งซักล้างส่วนที่เป็นโลหะไม่หมองคล้ำ

1.13 **สารแอนติออกซิแดนต์** (Anti-oxidant agent) หมายถึง สารที่ทำให้ส่วนประกอบบางอย่างของผงซักฟอกมีปฏิกิริยากับออกซิเจนช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.14 **เอนไซม์** (Enzyme) หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีสมบัติช่วยย่อยโมเลกุลของโปรตีน หรือแป้งหรือไขมันให้เป็นหน่วยย่อยๆ ได้

1.15 **สารช่วยขับสิ่งสกปรก** (Soil releasing agent) หมายถึง สารที่ช่วยให้สิ่งสกปรกที่ติดผ้าหลุดออกง่ายขึ้น

1.16 **สารต้านจุลินทรีย์** (Anti-microbial compound) หมายถึง สารที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

1.17 **สารละมุน** (Mildness additive) หมายถึง สารที่ช่วยให้ผงซักฟอกไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง

1.18 **สารคงสภาพการเก็บรักษา** (Storage stabilizer) หมายถึง สารที่ช่วยให้ผงซักฟอกเก็บไว้ได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ

1.19 **สารช่วยให้ผ้านุ่ม** (Fabric softening agent) หมายถึง สารที่ช่วยทำให้ผ้านุ่มหลังจากซักแล้ว

1.20 **สารกันไฟฟ้าสถิต** (Anti-static agent) หมายถึง สารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนผ้า

1.21 **สารกันการกัดกร่อน** (Anti-corrosion agent) หมายถึง สารที่ช่วยลดการกัดกร่อนส่วนที่เป็นโลหะของเสื้อผ้า

1.22 **สารกันคราบคืน** (Anti-soil redeposition agent) หมายถึง สารที่ช่วยไม่ให้คราบหรือสิ่งสกปรกที่หลุดออกไปแล้วกลับมาจับผ้าอีกขณะซัก เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose)

## 2. ชนิด

ผงซักฟอกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. ชนิดซักฟอกด้วยมือ
2. ชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
3. ชนิดซักฟอกด้วยมือหรือเครื่องซักผ้า

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีแสดงในตารางที่ ก.1

## 3. ส่วนประกอบ

### 3.1 ส่วนประกอบหลัก

3.1.1 สารลดแรงตึงผิวชนิดสังเคราะห์ เป็นสารเคมีประเภทแอนไอออนิก (Anionic) แคตไอออนิก (Cationic) หรือนอนไอออนิก (Nonionic) ประเภทใดประเภทหนึ่งหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมกัน ในกรณีที่เป็นสารเคมีประเภทแอนไอออนิก ต้องไม่เป็นแอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (Branched alkylbenzene sulphonate)

3.1.2 สารลดความกระด้างของน้ำ เช่น โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) เกลือของกรดไนทริโลไตรแอซีติก (Nitrilotriacetic acid, NTA) เกลือของกรดเอทิลีนไดแอมีนเททระแอซีติก (Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA) กรดซิทริกและอนุพันธ์ของกรดซิทริก (Citric acid and Derivatives) ซีโอไลต์ (Zeolite) สารใดสารหนึ่ง หรือผสมกัน

3.1.3 สารรักษาระดับความเป็นด่าง เช่น โซเดียมซิลิเคต (Sodium silicate) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) โซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium sesquicarbonate) สารใดสารหนึ่ง หรือผสมกัน

3.1.4 สารกันคราบคืน โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

3.1.5 สารเพิ่มความสดใส เช่น ไทโนพัล ดีเอ็มเอส (Tinopal DMS)

3.2 ส่วนประกอบที่อาจมีได้

3.2.1 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate)

3.2.2 สารเพิ่มฟอง หรือสารลดฟอง

3.2.3 สารฟอกและสารฟอกต้นตอ รวมทั้งสารคงสภาพสำหรับสารฟอกต้นตอ

3.2.4 สารช่วยการละลาย

3.2.5 สารกันหมอง

3.2.6 แอนติออกซิแดนต์

3.2.7 เอนไซม์

3.2.8 น้ำหอม

3.2.9 สี

3.2.10 สารกันการจับตัวเป็นก้อน

3.2.11 สารช่วยขับสิ่งสกปรก

3.2.12 สารต้านจุลินทรีย์

3.2.13 สารละมุน

3.2.14 สารคงสภาพการเก็บรักษา

3.2.15 สารช่วยให้ผ้านุ่ม

3.2.16 สารกันไฟฟ้าสถิต

3.2.17 สารกันการกัดกร่อน

3.2.18 สารกันคราบคืน

3.2.19 สารอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. คุณลักษณะที่ต้องการ

### 4.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นผงหรือเม็ดเล็กๆ ไม่มีสิ่งปนเปื้อน ถ้าจับกันเป็นก้อนระหว่างที่เก็บไว้ในสภาพปกติ ต้องทำให้กระจายออกจากกันได้ง่ายด้วยมือ การทดสอบให้ทำโดยตรวจพินิจ

### 4.2 กลิ่น

ต้องไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นน้ำมันก๊าด กลิ่นหืน กลิ่นคาว หรือกลิ่นกรด การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

### 4.3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

ต้องเป็นไปตามตารางที่ ก.1 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 578

### 4.4 คุณลักษณะทางชีวภาพ

ต้องมีการย่อยสลายทางชีวภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 578

### 4.5 คุณลักษณะอื่นๆ

ผงซักฟอกที่ผู้ทำระบุว่ามีลักษณะอื่นๆ เนื่องจากมีสารต่างๆ เช่น เอนไซม์ สารกันหมอง สารช่วยขับสิ่งสกปรก สารต้านจุลินทรีย์ สารช่วยละมุน สารช่วยให้ผ้านุ่ม สารกันไฟฟ้าสถิต สารกันการกัดกร่อน หรือสารกันคราบคืนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ผู้ทำต้องแสดงหลักฐานที่เชื่อถือได้พิสูจน์คุณลักษณะนั้นๆ

## 5. การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุผงซักฟอกในภาชนะบรรจุที่ปิดได้สนิท ไม่รั่ว ไม่แตก

5.2 น้ำหนักสุทธิของผงซักฟอกในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 578

## 6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุผงซักฟอกทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

1. คำว่า "ผงซักฟอก"
2. ชนิด
3. น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม
4. ส่วนประกอบหลัก
5. เดือน ปีที่ทำ และ/หรือรหัสรุ่นที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วิธีใช้

7. คำเตือน เช่น

- ภายหลังการใช้ ควรล้างมือให้สะอาด แล้วเช็ดให้แห้ง

- ผู้ที่มีอาการแพ้ผงซักฟอกหรือมีบาดแผลที่ผิวหนังไม่ควรสัมผัสน้ำที่ผสมผงซักฟอก หากไม่แน่ใจควรสวมถุงมือป้องกันไว้ก่อน

- ถ้ามีอาการแพ้ให้ปรึกษาแพทย์

8. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของผงซักฟอก

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | |
|---|---|---|---|
| | | ชนิดซักฟอกด้วยมือหรือชนิดซักฟอกด้วยมือหรือเครื่องซักผ้า | ชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า |
| 1 | ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เมื่อทำให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่เกิน | 10.5 | 11.0 |
| 2 | สารที่ละลายได้ในคลอโรฟอร์ม* ร้อยละไม่น้อยกว่า | 18.0 | 5.0 |
| 3 | สารลดความกระด้างของน้ำ (คำนวณเป็นแคลเซียมที่ทำปฏิกิริยา) มิลลิกรัมต่อกรัม | 27 ถึง 136 | 27 ถึง 198 |
| 4 | ฟอสเฟตทั้งหมด (คำนวณเป็น $P_2O_5$) ร้อยละไม่เกิน | 20.0 | 28.0 |
| 5 | ด่างทั้งหมด (คำนวณเป็น $Na_2O$) ร้อยละไม่น้อยกว่า | 1.1 | 1.1 |
| 6 | โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ร้อยละไม่น้อยกว่า | 0.2 | 0.2 |
| 7 | สารเพิ่มความสดใส | ต้องมี | ต้องมี |
| 8 | ความสามารถในการซักฟอกเทียบกับผงซักฟอกอ้างอิง ร้อยละไม่น้อยกว่า | 80 | 80 |
| 9 | ความสามารถในการรักษาความขาวเทียบกับผงซักฟอกอ้างอิง ร้อยละไม่น้อยกว่า | 80 | 80 |

หมายเหตุ * หมายถึง สารที่ละลายได้ในคลอโรฟอร์ม ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## โปรแกรมการคำนวณสัมประสิทธิ์การถดถอย $\beta$ (Regression coefficient)

### โปรแกรมย่อยการถดถอยแบบหลายเชิง

```
program multiple_linear_regression
  implicit none
  intrinsic log
  integer::er,i,l,j
  integer,parameter::tol=0.001,n=56,v=55
  real::sum,xx(v+1,n),o(v+1),s(v+1),x(v+1),a(v+1,v+1),b(v+1),y(n)

!start program multiple_linear_regression

  xx(0,1)  = 1.0
  xx(0,2)  = 1.0
  xx(0,3)  = 1.0
  xx(0,4)  = 1.0
  xx(0,5)  = 1.0
  xx(0,6)  = 1.0
  xx(0,7)  = 1.0
  xx(0,8)  = 1.0
  xx(0,9)  = 1.0
  xx(0,10) = 1.0
  xx(0,11)  = 1.0
  xx(0,12)  = 1.0
  xx(0,13)  = 1.0
  xx(0,14)  = 1.0
  xx(0,15)  = 1.0
  xx(0,16)  = 1.0
  xx(0,17)  = 1.0
  xx(0,18)  = 1.0
  xx(0,19)  = 1.0
  xx(0,20) = 1.0
  xx(0,21)  = 1.0
  xx(0,22)  = 1.0
  xx(0,23)  = 1.0
  xx(0,24)  = 1.0
  xx(0,25)  = 1.0
  xx(0,26)  = 1.0
  xx(0,27)  = 1.0
  xx(0,28)  = 1.0
  xx(0,29)  = 1.0
  xx(0,30) = 1.0
  xx(0,31)  = 1.0
  xx(0,32)  = 1.0
  xx(0,33)  = 1.0
  xx(0,34)  = 1.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(0,35) = 1.0
xx(0,36) = 1.0
xx(0,37) = 1.0
xx(0,38) = 1.0
xx(0,39) = 1.0
xx(0,40) = 1.0
xx(0,41) = 1.0
xx(0,42) = 1.0
xx(0,43) = 1.0
xx(0,44) = 1.0
xx(0,45) = 1.0
xx(0,46) = 1.0
xx(0,47) = 1.0
xx(0,48) = 1.0
xx(0,49) = 1.0
xx(0,50) = 1.0
xx(0,51) = 1.0
xx(0,52) = 1.0
xx(0,53) = 1.0
xx(0,54) = 1.0
xx(0,55) = 1.0
xx(0,56) = 1.0
! SR
xx(1,1) =
xx(1,2) =
xx(1,3) =
xx(1,4) =
xx(1,5) =
xx(1,6) =
xx(1,7) =
xx(1,8) =
xx(1,9) =
xx(1,10) =
xx(1,11) =
xx(1,12) =
xx(1,13) =
xx(1,14) =
xx(1,15) =
xx(1,16) =
xx(1,17) =
xx(1,18) =
xx(1,19) =
xx(1,20) =
xx(1,21) =
xx(1,22) =
xx(1,23) =
xx(1,24) =
xx(1,25) =
xx(1,26) =
xx(1,27) =
xx(1,28) =
xx(1,29) =
xx(1,30) =
xx(1,31) =
xx(1,32) =
xx(1,33) =
xx(1,34) =
xx(1,35) =
xx(1,36) =
xx(1,37) =
xx(1,38) =
xx(1,39) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(1,40) =
xx(1,41) =
xx(1,42) =
xx(1,43) =
xx(1,44) =
xx(1,45) =
xx(1,46) =
xx(1,47) =
xx(1,48) =
xx(1,49) =
xx(1,50) =
xx(1,51) =
xx(1,52) =
xx(1,53) =
xx(1,54) =
xx(1,55) =
xx(1,56) =

!MC
xx(2,1) =
xx(2,2) =
xx(2,3) =
xx(2,4) =
xx(2,5) =
xx(2,6) =
xx(2,7) =
xx(2,8) =
xx(2,9) =
xx(2,10) =
xx(2,11) =
xx(2,12) =
xx(2,13) =
xx(2,14) =
xx(2,15) =
xx(2,16) =
xx(2,17) =
xx(2,18) =
xx(2,19) =
xx(2,20) =
xx(2,21) =
xx(2,22) =
xx(2,23) =
xx(2,24) =
xx(2,25) =
xx(2,26) =
xx(2,27) =
xx(2,28) =
xx(2,29) =
xx(2,30) =
xx(2,31) =
xx(2,32) =
xx(2,33) =
xx(2,34) =
xx(2,35) =
xx(2,36) =
xx(2,37) =
xx(2,38) =
xx(2,39) =
xx(2,40) =
xx(2,41) =
xx(2,42) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(3,48) =

xx(3,49) =

xx(3,50) =

xx(3,51) =

xx(3,52) =

xx(3,53) =

xx(3,54) =

xx(3,55) =

xx(3,56) =

!TP

xx(4,1) =

xx(4,2) =

xx(4,3) =

xx(4,4) =

xx(4,5) =

xx(4,6) =

xx(4,7) =

xx(4,8) =

xx(4,9) =

xx(4,10) =

xx(4,11) =

xx(4,12) =

xx(4,13) =

xx(4,14) =

xx(4,15) =

xx(4,16) =

xx(4,17) =

xx(4,18) =

xx(4,19) =

xx(4,20) =

xx(4,21) =

xx(4,22) =

xx(4,23) =

xx(4,24) =

xx(4,25) =

xx(4,26) =

xx(4,27) =

xx(4,28) =

xx(4,29) =

xx(4,30) =

xx(4,31) =

xx(4,32) =

xx(4,33) =

xx(4,34) =

xx(4,35) =

xx(4,36) =

xx(4,37) =

xx(4,38) =

xx(4,39) =

xx(4,40) =

xx(4,41) =

xx(4,42) =

xx(4,43) =

xx(4,44) =

xx(4,45) =

xx(4,46) =

xx(4,47) =

xx(4,48) =

xx(4,49) =

xx(4,50) =

xx(4,51) =

xx(4,52) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(4,53) =
xx(4,54) =
xx(4,55) =
xx(4,56) =
!HIT
xx(5,1) =
xx(5,2) =
xx(5,3) =
xx(5,4) =
xx(5,5) =
xx(5,6) =
xx(5,7) =
xx(5,8) =
xx(5,9) =
xx(5,10) =
xx(5,11) =
xx(5,12) =
xx(5,13) =
xx(5,14) =
xx(5,15) =
xx(5,16) =
xx(5,17) =
xx(5,18) =
xx(5,19) =
xx(5,20) =
xx(5,21) =
xx(5,22) =
xx(5,23) =
xx(5,24) =
xx(5,25) =
xx(5,26) =
xx(5,27) =
xx(5,28) =
xx(5,29) =
xx(5,30) =
xx(5,31) =
xx(5,32) =
xx(5,33) =
xx(5,34) =
xx(5,35) =
xx(5,36) =
xx(5,37) =
xx(5,38) =
xx(5,39) =
xx(5,40) =
xx(5,41) =
xx(5,42) =
xx(5,43) =
xx(5,44) =
xx(5,45) =
xx(5,46) =
xx(5,47) =
xx(5,48) =
xx(5,49) =
xx(5,50) =
xx(5,51) =
xx(5,52) =
xx(5,53) =
xx(5,54) =
xx(5,55) =
xx(5,56) =
!FC 501 F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(7,6) =

xx(7,7) =

xx(7,8) =

xx(7,9) =

xx(7,10) =

xx(7,11) =

xx(7,12) =

xx(7,13) =

xx(7,14) =

xx(7,15) =

xx(7,16) =

xx(7,17) =

xx(7,18) =

xx(7,19) =

xx(7,20) =

xx(7,21) =

xx(7,22) =

xx(7,23) =

xx(7,24) =

xx(7,25) =

xx(7,26) =

xx(7,27) =

xx(7,28) =

xx(7,29) =

xx(7,30) =

xx(7,31) =

xx(7,32) =

xx(7,33) =

xx(7,34) =

xx(7,35) =

xx(7,36) =

xx(7,37) =

xx(7,38) =

xx(7,39) =

xx(7,40) =

xx(7,41) =

xx(7,42) =

xx(7,43) =

xx(7,44) =

xx(7,45) =

xx(7,46) =

xx(7,47) =

xx(7,48) =

xx(7,49) =

xx(7,50) =

xx(7,51) =

xx(7,52) =

xx(7,53) =

xx(7,54) =

xx(7,55) =

xx(7,56) =

!CA

xx(8,1) =

xx(8,2) =

xx(8,3) =

xx(8,4) =

xx(8,5) =

xx(8,6) =

xx(8,7) =

xx(8,8) =

xx(8,9) =

xx(8,10) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

xx(9,16) =
xx(9,17) =
xx(9,18) =
xx(9,19) =
xx(9,20) =
xx(9,21) =
xx(9,22) =
xx(9,23) =
xx(9,24) =
xx(9,25) =
xx(9,26) =
xx(9,27) =
xx(9,28) =
xx(9,29) =
xx(9,30) =
xx(9,31) =
xx(9,32) =
xx(9,33) =
xx(9,34) =
xx(9,35) =
xx(9,36) =
xx(9,37) =
xx(9,38) =
xx(9,39) =
xx(9,40) =
xx(9,41) =
xx(9,42) =
xx(9,43) =
xx(9,44) =
xx(9,45) =
xx(9,46) =
xx(9,47) =
xx(9,48) =
xx(9,49) =
xx(9,50) =
xx(9,51) =
xx(9,52) =
xx(9,53) =
xx(9,54) =
xx(9,55) =
xx(9,56) =

!HP

xx(10,1) =
xx(10,2) =
xx(10,3) =
xx(10,4) =
xx(10,5) =
xx(10,6) =
xx(10,7) =
xx(10,8) =
xx(10,9) =
xx(10,10) =
xx(10,11) =
xx(10,12) =
xx(10,13) =
xx(10,14) =
xx(10,15) =
xx(10,16) =
xx(10,17) =
xx(10,18) =
xx(10,19) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xx(10,20) =
xx(10,21) =
xx(10,22) =
xx(10,23) =
xx(10,24) =
xx(10,25) =
xx(10,26) =
xx(10,27) =
xx(10,28) =
xx(10,29) =
xx(10,30) =
xx(10,31) =
xx(10,32) =
xx(10,33) =
xx(10,34) =
xx(10,35) =
xx(10,36) =
xx(10,37) =
xx(10,38) =
xx(10,39) =
xx(10,40) =
xx(10,41) =
xx(10,42) =
xx(10,43) =
xx(10,44) =
xx(10,45) =
xx(10,46) =
xx(10,47) =
xx(10,48) =
xx(10,9) =
xx(10,50) =
xx(10,51) =
xx(10,52) =
xx(10,53) =
xx(10,54) =
xx(10,55) =
xx(10,56) =
do i=1,n
xx(11,i) = xx(1,i)*xx(2,i)
xx(12,i) = xx(1,i)*xx(3,i)
xx(13,i) = xx(1,i)*xx(4,i)
xx(14,i) = xx(1,i)*xx(5,i)
xx(15,i) = xx(1,i)*xx(6,i)
xx(16,i) = xx(1,i)*xx(7,i)
xx(17,i) = xx(1,i)*xx(8,i)
xx(18,i) = xx(1,i)*xx(9,i)
xx(19,i) = xx(1,i)*xx(10,i)
xx(20,i) = xx(2,i)*xx(3,i)
xx(21,i) = xx(2,i)*xx(4,i)
xx(22,i) = xx(2,i)*xx(5,i)
xx(23,i) = xx(2,i)*xx(6,i)
xx(24,i) = xx(2,i)*xx(7,i)
xx(25,i) = xx(2,i)*xx(8,i)
xx(26,i) = xx(2,i)*xx(9,i)
xx(27,i) = xx(2,i)*xx(10,i)
xx(28,i) = xx(3,i)*xx(4,i)
xx(29,i) = xx(3,i)*xx(5,i)
xx(30,i) = xx(3,i)*xx(6,i)
xx(31,i) = xx(3,i)*xx(7,i)
xx(32,i) = xx(3,i)*xx(8,i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xx(33,i) = xx(3,i)*xx(9,i)
xx(34,i) = xx(3,i)*xx(10,i)
xx(35,i) = xx(4,i)*xx(5,i)
xx(36,i) = xx(4,i)*xx(6,i)
xx(37,i) = xx(4,i)*xx(7,i)
xx(38,i) = xx(4,i)*xx(8,i)
xx(39,i) = xx(4,i)*xx(9,i)
xx(40,i) = xx(4,i)*xx(10,i)
xx(41,i) = xx(5,i)*xx(6,i)
xx(42,i) = xx(5,i)*xx(7,i)
xx(43,i) = xx(5,i)*xx(8,i)
xx(44,i) = xx(5,i)*xx(9,i)
xx(45,i) = xx(5,i)*xx(10,i)
xx(46,i) = xx(6,i)*xx(7,i)
xx(47,i) = xx(6,i)*xx(8,i)
xx(48,i) = xx(6,i)*xx(9,i)
xx(49,i) = xx(6,i)*xx(10,i)
xx(50,i) = xx(7,i)*xx(8,i)
xx(51,i) = xx(7,i)*xx(9,i)
xx(52,i) = xx(7,i)*xx(10,i)
xx(53,i) = xx(8,i)*xx(9,i)
xx(54,i) = xx(8,i)*xx(10,i)
xx(55,i) = xx(9,i)*xx(10,i)

end do
!BD

y(1)  =
y(2)  =
y(3)  =
y(4)  =
y(5)  =
y(6)  =
y(7)  =
y(8)  =
y(9)  =
y(10) =
y(11) =
y(12) =
y(13) =
y(14) =
y(15) =
y(16) =
y(17) =
y(18) =
y(19) =
y(20) =
y(21) =
y(22) =
y(23) =
y(24) =
y(25) =
y(26) =
y(27) =
y(28) =
y(29) =
y(30) =
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

y(31) =
y(32) =
y(33) =
y(34) =
y(35) =
y(36) =
y(37) =
y(38) =
y(39) =
y(40) =
y(41) =
y(42) =
y(43) =
y(44) =
y(45) =
y(46) =
y(47) =
y(48) =
y(49) =
y(50) =
y(51) =
y(52) =
y(53) =
y(54) =
y(55) =
y(56) =

```
do i=1,v+1
 do j=1,i
      sum=0
       do l=1,n
        sum=sum+(xx((i-1),l)*xx((j-1),l))
       end do
       a(i,j)=sum
       a(j,i)=sum
     end do
     sum=0
     do l=1,n
      sum=sum+(y(l)*xx((i-1),l))
     end do
     b(i)=sum
end do
call Ludecomp (a,b,x,er,tol,o,s,v)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end program multiple_linear_regression
```

**โปรแกรมย่อการแยกแบบ LU**

```
subroutine decomp (a,b,v,o,s,x,er,tol)
 implicit none
 integer::v,k,i,j,er,tol
 real::o(v+1),s(v+1),x(v+1),a(v+1,v+1),b(v+1),factor(v+1)

do i = 1,v+1
  o(i) = i
  s(i) = abs(a(i,1))
  do j = 2,v+1
    if (abs(a(i,j)) > s(i)) then
        s(i) = abs(a(i,j))
        end if

  end do
end do
do k = 1 ,v

  call  Pivot (a,o,s,v,k)

  if (abs(a(o(k),k)/s(o(k)))<tol) then
    er = -1
        print*,a(o(k),k)/s(o(k))
        exit
  end if

          do i = k+1,v+1
    factor(i) =  a(o(i),k)/ a(o(k),k)
    a(o(i),k) = factor(i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    do j = k+1,v+1
                    a(o(i),j) = a(o(i),j) - factor(i) * a(o(k),j)
                    end do
            end do

end do

call Substitute (a,o,v,b,x)

    end subroutine decomp
```

**โปรแกรมย่อย LU**

```
subroutine Ludecomp (a,b,x,er,tol,o,s,v)
 implicit none
 integer::er,tol,v
 real::o(v+1),s(v+1),a(v+1,v+1),b(v+1),x(v+1)

 er=0
 Call decomp (a,b,v,o,s,x,er,tol)

end subroutine Ludecomp
```

**โปรแกรมย่อย Pivot**

```
subroutine Pivot (a,o,s,v,k)
 implicit none
 integer::v,k,ii,p
 real::o(v+1),s(v+1),a(v+1,v+1),big(v+1),dummy(v+1)

 p = k
 big(k) = abs (a(o(k),k)/s(o(k)))
 do ii = k+1,v+1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    dummy(ii) = abs(a(o(ii),k)/s(o(ii)))
    if (dummy(ii) > big(k)) then
    big(k) = dummy(ii)
    p = ii
    end if
  end do

  dummy(k) = o(p)
  o(p) = o(k)
  o(k) = dummy(k)

end subroutine Pivot
```

**โปรแกรมย่อยการแทนค่าย้อนกลับ (Substitution)**

```
subroutine Substitute (a,o,v,b,x)
  implicit none
  integer::v,i,j
  intrinsic exp
  real::o(v+1),a(v+1,v+1),x(v+1),b(v+1),T(v+1)

do i = 2,v+1
T(i) = b(o(i))
    do j = 1 ,i-1
     T(i) = T(i) - (a(o(i),j)*b(o(j)))
    end do

b(o(i)) = T(i)
end do

x(v+1) = b(o(v+1))/a(o(v+1),v+1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
do i = v,1,-1

T(i) = 0

  do j = i+1,v+1
   T(i) = T(i)+ (a(o(i),j)*x(j))
  end do

  x(i) = (b(o(i))-T(i))/a(o(i),i)
end do

print*,"beta0,1,2...,55 are"
print*,x(1),x(2),x(3),x(4),x(5),x(6),x(7),x(8),x(9),x(10),&
     x(11),x(12),x(13),x(14),x(15),x(16),x(17),x(18),x(19),x(20),&
     x(21),x(22),x(23),x(24),x(25),x(26),x(27),x(28),x(29),x(30),&
     x(31),x(32),x(33),x(34),x(35),x(36),x(37),x(38),x(39),x(40),&
     x(41),x(42),x(43),x(44),x(45),x(46),x(47),x(48),x(49),x(50),&
     x(51),x(52),x(53),x(54),x(55),x(56)

end   subroutine Substitute
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

| เวลา | อัตราการฉีดสเลอรี่ ($x_1$, ton/h) | ความชื้นของผงซักฟอก ($x_2$, wt%) | อุณหภูมิขอดหอฉีด ($x_3$, °C) | ความดันภายในหอฉีด ($x_4$, mm $H_2O$) | อุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด ($x_5$, °C) | อัตราการใช้ลมของ Airlift ($x_6$, $m^3$/h) | อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหอฉีด ($x_7$, $m^3$/h) | อัตราการไหลอากาศร้อนที่เข้าหอฉีด ($x_8$, $m^3$/h) | อัตราการใช้น้ำมันเตา ($x_9$, kg/h) | ความดันที่เครื่องสูบความดันสูง ($x_{10}$, bar) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_{11}$ | $x_{21}$ | $x_{31}$ | $x_{41}$ | $x_{51}$ | $x_{61}$ | $x_{71}$ | $x_{81}$ | $x_{91}$ | $x_{101}$ |
| | $x_{12}$ | $x_{22}$ | $x_{32}$ | $x_{42}$ | $x_{52}$ | $x_{62}$ | $x_{72}$ | $x_{82}$ | $x_{92}$ | $x_{102}$ |
| | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | $x_{1n}$ | $x_{2n}$ | $x_{3n}$ | $x_{4n}$ | $x_{5n}$ | $x_{6n}$ | $x_{7n}$ | $x_{8n}$ | $x_{9n}$ | $x_{10n}$ |

ไม่ว่าการศึกษาครั้งนี้จะได้ข้อสรุปอย่างไร ก็ถือเป็นความลับทางการทหาร ห้ามเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกทราบ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาในหลักสูตรของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# ภาคผนวก ง

**การทดสอบแบบ T (T-tests) [14]**

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากการคำนวณ

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

ถ้าสมมุติฐาน $H_0 = 0$ ไม่สามารถปฏิเสธแสดงว่าค่า $x_j$ สามารถตัดออกจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ วิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานนี้ คือ

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}} \qquad (ง.1)$$

$\hat{\sigma}^2$ = Variance of the sample

$C_{jj}$ = ค่าของเส้นทแยงมุมเมตริกซ์ผกผันของ $(X^T X)$ ในตำแหน่งเดียวกับ $\hat{\beta}_j$

โดยที่สมมติฐานจะปฏิเสธเมื่อ $H_0 = 0$

$$| t_0 | > t_{\frac{\alpha}{2}, n-k-1} \qquad (ง.2)$$

n = จำนวนข้อมูล โดยที่ $n \geq k+2$

k = จำนวนสัมประสิทธิ์การถดถอย

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (Confidential coefficient)

จากการทดสอบพบว่าสมมติฐาน $H_0 = 0$ จะถูกปฏิเสธจึงไม่สามารถตัดพจน์ของอันตรกิริยาของความดันที่เครื่องสูบความดันสูงและความดันภายในหอฉีดได้ แสดงว่าพจน์นี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD อย่างมีนัยสำคัญ ผลคำนวณแสดงในตารางที่ ง.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของ Regression ที่ 1

| | |
|---|---|
| Sum Square Error (SSE) | 902336 |
| n-p | 1 |
| Variance of the sample | 902336 |
| $C_{jj}$ | 1.32E-08 |
| Regressor | -6.81 |
| $t_o$ | -6.24E+01 |
| $\|t_o\|$ | 62.4 |
| At 95% confidence ($t_{0.025,1}$) | 12.706 |
| $\|t_o\|$ > at 95% confidence ($t_{0.025,1}$) | Reject |

การปฏิเสธ (Reject) แสดงว่าสมมติฐาน $H_0 = 0$ ไม่เป็นจริง จึงไม่สามารถตัดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยนั้นทิ้งได้ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของพจน์อันตรกิริยาระหว่างความดันภายในหอฉีดและความดันที่เครื่องสูบความดันสูงจะยังคงอยู่ในสมการที่ 4.1 แสดงว่าพจน์นี้มีนัยสำคัญต่อค่า BD ซึ่งการปรับค่าความดันภายในหอฉีดและความดันที่เครื่องสูบความดันสูงจะมีผลกระทบต่อกำลังการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อย ดังนั้นจึงเลือกปรับอันตรกิริยาคู่นี้ในการควบคุมค่า BD ต่อไป

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณในตารางที่ ง.1

| $X_{ij}$ | Diagonal matrix | $C_{jj}$ | Diagonal matrix |
|---|---|---|---|
| $X_{11}$ | 56 | $C_{11}$ | 5331.679 |
| $X_{22}$ | 31978.38 | $C_{22}$ | 16.32404 |
| $X_{33}$ | 5074.71 | $C_{33}$ | 654.8021 |
| $X_{44}$ | 453666.5 | $C_{44}$ | -1.37E-01 |
| $X_{55}$ | 5319.194 | $C_{55}$ | -160.74 |
| $X_{66}$ | 8592096 | $C_{66}$ | 4.27E-02 |
| $X_{77}$ | 3483563 | $C_{77}$ | -1.42E-01 |
| $X_{88}$ | 1.45E+11 | $C_{88}$ | 1.83E-05 |
| $X_{99}$ | 1.42E+10 | $C_{99}$ | 9.38E-05 |
| $X_{1010}$ | 1.81E+07 | $C_{110}$ | 2.34E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

| $X_{ij}$ | Diagonal matrix | $C_{ij}$ | Diagonal matrix |
|---|---|---|---|
| $X_{1111}$ | 9.55E+04 | $C_{1111}$ | 13.24322 |
| $X_{1212}$ | 2.96E+06 | $C_{1212}$ | -1.11E-01 |
| $X_{1313}$ | 2.57E+08 | $C_{1313}$ | 1.92E-03 |
| $X_{1414}$ | 3084311 | $C_{1414}$ | 5.49E-02 |
| $X_{1515}$ | 4.94E+09 | $C_{1515}$ | 1.72E-04 |
| $X_{1616}$ | 1.98E+09 | $C_{1616}$ | 3.43E-04 |
| $X_{1717}$ | 8.32E+13 | $C_{1717}$ | 2.03E-08 |
| $X_{1818}$ | 8.25E+12 | $C_{1818}$ | 4.61E-07 |
| $X_{1919}$ | 1.05E+10 | $C_{1919}$ | 2.06E-04 |
| $X_{2020}$ | 5.46E+07 | $C_{2020}$ | 1.61E-03 |
| $X_{2121}$ | 4.08E+07 | $C_{2121}$ | 1.26E-02 |
| $X_{2222}$ | 480471.2 | $C_{2222}$ | 1.34E-01 |
| $X_{2323}$ | 7.82E+08 | $C_{2323}$ | 1.66E-03 |
| $X_{2424}$ | 3.15E+08 | $C_{2424}$ | 7.02E-04 |
| $X_{2525}$ | 1.32E+13 | $C_{2525}$ | 2.85E-07 |
| $X_{2626}$ | 1.31E+12 | $C_{2626}$ | 9.54E-07 |
| $X_{2727}$ | 1.67E+09 | $C_{2727}$ | -1.56E-04 |
| $X_{2828}$ | 8.68E+06 | $C_{2828}$ | 2.14E-01 |
| $X_{2929}$ | 4.32E+07 | $C_{2929}$ | 1.97E-02 |
| $X_{3030}$ | 6.94E+10 | $C_{3030}$ | 2.05E-05 |
| $X_{3131}$ | 2.82E+10 | $C_{3131}$ | 6.91E-06 |
| $X_{3232}$ | 1.17E+15 | $C_{3232}$ | 2.22E-09 |
| $X_{3333}$ | 1.14E+14 | $C_{3333}$ | -4.23E-09 |
| $X_{3434}$ | 1.46E+11 | $C_{3434}$ | 1.23E-06 |
| $X_{3535}$ | 7.73E+08 | $C_{3535}$ | 2.30E-03 |
| $X_{3636}$ | 8.15E+08 | $C_{3636}$ | 3.71E-03 |
| $X_{3737}$ | 3.32E+08 | $C_{3737}$ | 4.94E-04 |
| $X_{3838}$ | 1.37E+13 | $C_{3838}$ | 1.76E-07 |
| $X_{3939}$ | 1.34E+12 | $C_{3939}$ | 5.95E-07 |
| $X_{4040}$ | 1.71E+09 | $C_{4040}$ | -5.96E-05 |
| $X_{4141}$ | 902336 | $C_{4141}$ | 1.32E-08 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

| $X_{jj}$ | Diagonal matrix | $C_{jj}$ | Diagonal matrix |
|---|---|---|---|
| $X_{4242}$ | 5.35E+11 | $C_{4242}$ | 8.70E-02 |
| $X_{4343}$ | 2.23E+16 | $C_{4343}$ | 1.80E-10 |
| $X_{4444}$ | 2.19E+15 | $C_{4444}$ | 5.52E-10 |
| $X_{4545}$ | 2.80E+12 | $C_{4545}$ | 8.02E-07 |
| $X_{4646}$ | 1.47E+10 | $C_{4646}$ | 4.33E-05 |
| $X_{4747}$ | 9.01E+15 | $C_{4747}$ | 9.24E-10 |
| $X_{4848}$ | 8.84E+14 | $C_{4848}$ | 8.04E-10 |
| $X_{4949}$ | 1.13E+12 | $C_{4949}$ | 2.69E-06 |
| $X_{5050}$ | 5.94E+09 | $C_{5050}$ | 1.14E-04 |
| $X_{5151}$ | 3.70E+19 | $C_{5151}$ | -1.57E-14 |
| $X_{5252}$ | 4.73E+16 | $C_{5252}$ | 6.97E-12 |
| $X_{5353}$ | 2.47E+14 | $C_{5353}$ | 2.72E-10 |
| $X_{5454}$ | 4.69E+15 | $C_{5454}$ | 4.24E-10 |
| $X_{5555}$ | 2.43E+13 | $C_{5555}$ | 7.15E-08 |
| $X_{5656}$ | 3.10E+10 | $C_{5656}$ | 5.35E-05 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

นายพิทักษ์ เต็มแสวงเลิศ เกิดเมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ.2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2541 ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ คือ การวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่า Bulk Density ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกด้วยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Engineering Journal Volume 9 Number 1 March 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้