



# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## โครงการ

การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่  
สำหรับโรงงานฟอกย้อม

The feasibility of acceptably reused water in  
treatment process

โดย

ผศ. ขนิษฐา เจริญลาภ

นายพริยะ แก่นทับทิม

นายพรชัย วินิจเขตคำณวน

BTC-Library



3 2000 00070943 8

กันยายน พ.ศ.2548

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

628.162

ว.1534

ด. 2

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 1023

วัน เดือน ปี..... 22 ก.พ. 2554

## โครงการ

### การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับโรงงานฟอกย้อม

The feasibility of acceptably reused water in  
treatment process

#### คณะผู้วิจัย

#### สังกัด

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. ผศ. ขนิษฐา เจริญลาภ    | สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ |
| 2. นายพริยะ แก่นทับทิม    | สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ |
| 3. นายพรชัย วินิจเขตคำณวน | สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ |

BTC-Library



3 2000 00070943 8

สนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับโรงงานฟอกย้อม ได้สำเร็จ  
ลุล่วงด้วยดีจนสมบูรณ์ ด้วยความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือด้านตัวอย่างน้ำเสียจาก  
คุณมานะ นิธิธนากุล บริษัท ธนากุลพิมพ์ย้อม จำกัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพให้  
ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ให้ความอนุเคราะห์  
อุปกรณ์ และสถานที่ทำการทดลอง ตลอดจนนางสาววันวิสาข์ เทศสิงห์ นางสาววารินทร์ ฤชาชาญ  
และนางสาววารีย์ ภูนาคำ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้  
มีส่วนร่วมเป็นผู้ช่วยในการดำเนินการทดลอง

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำ ทดลองโดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามด้วยการกรอง เปรียบเทียบกับน้ำใช้ตามมาตรฐานของโรงงาน ในกระบวนการฟอกและการย้อม ผลการทดลองพบว่า คุณภาพของน้ำในด้านความกระด้าง ความขุ่น และค่าความนำไฟฟ้า มีคุณภาพต่ำกว่า น้ำใช้ตามมาตรฐานของโรงงาน และให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ในด้านความขาวที่ลดลง และสีย้อมที่ได้ มีความแตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการฟอกและย้อมด้วยน้ำใช้ตามมาตรฐานของโรงงาน แต่คุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านความขาวจะเพิ่มขึ้น และความแตกต่างของสีมีค่าลดลง เมื่อนำน้ำใช้ตามมาตรฐานของโรงงานมาใช้ในการขึ้นตอนการล้างของกระบวนการฟอกและการย้อม

คำสำคัญ: การใช้น้ำซ้ำ, กระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอ



### Abstract

The purpose of this experiment was to study the feasibility of acceptably reused water in treatment process. Water in treatment process and water in treatment process with filtration were compared to industrial standard water by bleaching and dyeing process. The results indicated that hardness, turbidity, and conductivity of water in both treatment processes became lower quality than industrial standard water. Furthermore, the whiteness and the color change after using the water treatment processes also stood lower quality than industrial standard water. In addition, the use of industrial standard water in washing process improved the quality of product in whiteness and color change.

Keyword: reused water, bleaching and dyeing textile process

## สารบัญเรื่อง

## หน้า

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| กิตติกรรมประกาศ                                | I   |
| บทคัดย่อ                                       | II  |
| สารบัญเรื่อง                                   | III |
| สารบัญรูป                                      | IV  |
| สารบัญตาราง                                    | V   |
| บทที่ 1 บทนำ                                   | 1   |
| บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน                       | 27  |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน                         | 35  |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ                      | 57  |
| เอกสารอ้างอิง                                  | 58  |
| ภาคผนวก ก                                      | 60  |
| ภาคผนวก ข                                      | 96  |
| ประวัตินักวิจัย                                | 110 |

## สารบัญภาพ

|                                                                            | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม                                     | 8    |
| 2.4.1 ระบบการสร้างรวมตะกอนเคมี                                             | 18   |
| 2.6.1 ขั้นตอนการเตรียมผ้าและการใช้น้ำล้างซ้ำ                               | 21   |
| 2.6.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่                  | 23   |
| 2.6.3 กระบวนการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่                                        | 24   |
| 2.6.4 ระบบการกรองแบบ ultrafiltration เพื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่ | 25   |
| 3.2.1 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมแอคทีฟ                                | 32   |
| 4.1.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสีย                                     | 35   |
| 4.1.2 ประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับเฟอร์ริซัลเฟต                | 38   |
| 4.1.3 ประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับปูนขาว                       | 39   |
| 4.1.4 ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละสัปดาห์                      | 40   |
| 4.2.1 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานทอผ้าฝ้าย                             | 43   |
| 4.2.2 บ่อรวบรวมน้ำเสีย                                                     | 44   |
| 4.2.3 ถังกวนเร็ว                                                           | 44   |
| 4.2.4 บ่อกวนช้า                                                            | 44   |
| 4.2.5 บ่อตกตะกอน                                                           | 45   |
| 4.2.6 บ่อเติมอากาศ                                                         | 45   |
| 4.2.7 สระน้ำของโรงงาน                                                      | 45   |
| 4.5.1 ค่า % white retention ระหว่างการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment  | 51   |

## สารบัญตาราง

หน้า

|       |                                                                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.1 | ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์ผ้าฝ้าย                                                                       | 4  |
| 2.1.2 | ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์ผ้าใยสังเคราะห์                                                               | 5  |
| 2.1.3 | คุณภาพน้ำใช้ในกระบวนการทางสิ่งทอ                                                                                 | 5  |
| 2.2.1 | ความเข้มข้นของสีย้อมแต่ละประเภทในน้ำเสีย                                                                         | 12 |
| 2.4.1 | ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอแต่ละประเภท                                                        | 14 |
| 2.4.2 | เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสี                                                                                      | 15 |
| 3.2.1 | วิธีวิเคราะห์หาค่าต่างๆของตัวอย่างน้ำ                                                                            | 32 |
| 3.2.2 | วิเคราะห์หาเงื่อนไขเมื่อมีจำนวนค่าสังเกตเท่ากัน                                                                  | 33 |
| 4.1.1 | ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) เข้มข้นร้อยละ 10 ในการกำจัดสี | 36 |
| 4.1.2 | ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ในการกำจัดสี                                                                | 37 |
| 4.1.3 | ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 ในการทำงานร่วมกับ<br>เฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร | 36 |
| 4.1.4 | ปริมาณปูนขาวเข้มข้นร้อยละ 10 ในการทำงานร่วมกับ<br>อลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 8.5 มิลลิลิตร          | 39 |
| 4.1.5 | ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารตกตะกอนแต่ละประเภท                                                                  | 41 |
| 4.1.6 | ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละสปีดาร์                                                                  | 33 |
| 4.1.7 | ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารตกตะกอนแต่ละประเภท                                                                  | 34 |
| 4.3.1 | ลักษณะของน้ำเสียในแต่ละหน่วยบำบัดของโรงงาน                                                                       | 47 |
| 4.4.1 | ความกระด้างของน้ำจากบ่อบำบัดที่ 3, บ่อที่ 4, น้ำกรอง และน้ำฝนของโรงงาน<br>ธนากุล                                 | 48 |
| 4.4.2 | สมบัติของน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการฟอกและย้อม                                                                      | 48 |
| 4.4.3 | ค่าเฉลี่ยความขาวของผ้าที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment                                              | 50 |
| 4.4.4 | ค่า% white retention ระหว่างการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment                                               | 51 |

## สารบัญตาราง

## หน้า

|       |                                                                                                                 |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.5 | ขั้นตอนทดสอบที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment                                                       | 52 |
| 4.5.1 | ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 1) | 54 |
| 4.5.2 | ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 2) | 54 |
| 4.5.3 | ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 3) | 55 |
| 4.5.4 | ขั้นตอนทดสอบที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment                                                      | 56 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารเคมี และสีย้อมชนิดต่างๆ ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละชนิดมีความเป็นพิษต่อภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน สีย้อมและสารเคมีเหล่านี้ บางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใย หรือถูกใช้ในระหว่างกระบวนการผลิต แต่จะมีบางส่วนที่ยังคงเหลืออยู่ ซึ่งถูกปล่อยปะปนออกมาในน้ำทิ้ง มีลักษณะที่สำคัญคือ เป็นน้ำที่มีสี มีค่าบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย ค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิสูง รวมทั้งยังอาจมีสารที่เป็นพิษปะปนออกมาด้วย น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ ต้องบำบัดให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำสาธารณะได้ การบำบัดน้ำทิ้งจึงเป็นภาระหนึ่งของโรงงาน และนับเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต ประกอบกับจากร่างพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2546 และนโยบายการปิดบ่อน้ำบาดาลของรัฐในเขตพื้นที่ 7 จังหวัดรอบปริมณฑลที่การประปาภูมิภาคจัดส่งน้ำไปให้ได้อย่างทั่วถึง (กรมทรัพยากรธรณี, 2542) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำบาดาลเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิต โดยจะมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในทุกกระบวนการผลิต ตั้งแต่กระบวนการเตรียมผ้า การให้สี และการตกแต่งสำเร็จ และโดยเฉพาะในขั้นตอนของการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละกระบวนการ ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการใช้ทรัพยากรน้ำให้ได้ประโยชน์สูงสุด คือ การลดปริมาณการใช้น้ำ และสารเคมี ตลอดจนการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการที่เหมาะสม

การศึกษารั้วนี้เป็นหัวข้อปัญหาจากบริษัทธนากุลพิมพ์ย้อม จำกัดซึ่งเป็นโรงงานฟอกย้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม และสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมกับคุณภาพน้ำ

#### 1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

- (1) บำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม
- (2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการฟอกและกระบวนการย้อม

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

(1) ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากการฟอกย้อมของโรงงานอุตสาหกรรม พิมพ์ย้อม จำกัด

(2) การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ฟอกหรือย้อม ทดลองในห้องปฏิบัติการ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) โรงงานลดต้นทุนการใช้น้ำบาดาล

(2) โรงงานมีระบบบำบัดน้ำเสียบำบัดที่เหมาะสม



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

น้ำมีความสำคัญอย่างมากในการอุปโภคบริโภค และอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมการฟอกย้อมผ้าหรือเส้นใย ซึ่งมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก เช่นใช้เป็นตัวทำละลายในการย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ ดังนั้นการมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของน้ำใน แต่ละขั้นตอนการผลิตจะทำให้ปัญหาต่าง ๆ ในการผลิตลดลง ตลอดจนการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ จึงควรวหาแนวทางในการใช้น้ำอย่างประหยัดและให้ได้ประโยชน์มากที่สุด

##### 2.1.1 ประเภทของแหล่งน้ำ

###### 2.1.1.1 น้ำฝน

น้ำฝนเกิดจากการกลั่นโดยธรรมชาติ เป็นน้ำที่สะอาด มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน เนื่องจากฝนที่ตกลงมาจะเกิดปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นกรดคาร์บอนิก (carbonic acid,  $H_2CO_3$ ) เป็นแหล่งน้ำที่มีความบริสุทธิ์มาก เมื่อเก็บไว้ในถัง อาจทำให้น้ำฝนมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกบางชนิดจากภาชนะที่กักเก็บน้ำฝนตามธรรมชาติ

###### 2.1.1.2 น้ำผิวดิน (surface water)

ได้แก่น้ำในแม่น้ำ ลำคลอง มีแหล่งกำเนิดจากฝน หรือการละลายของหิม ไหลไปตามพื้นผิวดินก่อนที่จะไหลลงสู่ลำธาร หรือเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมารวมกันตามแม่น้ำ ลำคลอง และทะเลสาบ แหล่งน้ำผิวดินสัมผัสกับอากาศตลอดเวลา จึงมีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่จนอิ่มตัว และมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide,  $CO_2$ ) ละลายอยู่บ้าง ชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่ละลายน้ำจะบ่งบอกถึงสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ที่น้ำไหลผ่าน เช่น น้ำกระด้างมาจากบริเวณที่มีหินปูนหรือยิบซัมมาก คุณภาพน้ำผิวดินแปรผันตามฤดูกาล โดยทั่วไปมีสารแขวนลอย (suspended solid,SS) สูง และสารละลาย (dissolved solids,DS) ต่ำ

###### 2.1.1.3 น้ำใต้ดิน (ground water)

น้ำใต้ดินแยกเป็นน้ำที่เกิดจากที่ตื้น ความลึกไม่เกิน 50 ฟุต ปกติน้ำเหล่านี้จะไม่มีสารอินทรีย์เจือปน หรือ แขนวลอยอยู่ แต่อาจมีเกลือแร่ผสมอยู่ เกิดจากการซึมผ่านพื้นผิวของดินต่าง ๆ มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของพืช เช่น การหายใจที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และเนื่องจากมีแคลเซียม อยู่ในชั้นของหินปูน น้ำที่ละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะละลายหินปูน ทำให้น้ำกระด้าง ชั้นน้ำบาดาลมีอยู่ไม่น้อยกว่า 8 ชั้น ที่ระดับ

ความลึกตั้งแต่ 50 เมตร ลงไปถึง 600 เมตร ชั้นน้ำที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมากจะอยู่ที่ความลึก 150 เมตร และ 200 เมตร

น้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ ที่กล่าวมานี้ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ได้โดยตรง เนื่องจากยังมีสิ่งเจือปนอยู่มาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีในการทำให้น้ำเหล่านี้มีสมบัติตามต้องการ

### 2.1.2 สมบัติของน้ำใช้ในการฟอกย้อม

น้ำใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ แต่ละประเภทมีความต้องการที่แตกต่างกัน ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ ขึ้นกับกระบวนการผลิตและกำลังการผลิต โดยทั่วไปน้ำใช้ในกระบวนการผลิตควรเป็นน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาแล้ว เช่น ทิ้งให้ตกตะกอน ใช้สารเคมีช่วยให้ตกตะกอน หรือกรองด้วยเรซิน ขึ้นกับชนิดของแหล่งน้ำและคุณภาพของน้ำที่ต้องการ ดังนั้นจึงควรมีการวิเคราะห์คุณภาพก่อนที่จะนำมาใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นน้ำจากแหล่งใด

#### 2.1.2.1 ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการ

กระบวนการทางสิ่งทอประกอบด้วยกระบวนการย่อยๆ หลายกระบวนการ บางกระบวนการใช้น้ำในปริมาณน้อย เช่น การลงแป้งเส้นด้าย และบางกระบวนการใช้น้ำในปริมาณมาก เช่น การกำจัดแป้ง และไขมัน ซึ่งต้องการน้ำในการซักล้างมากด้วย

ตารางที่ 2.1.1 ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์ผ้าฝ้าย

| ขั้นตอนการผลิต            | ปริมาณน้ำใช้ (ลิตร/1000 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์) |
|---------------------------|-----------------------------------------------|
| การลงแป้ง (sizing)        | 500-8200                                      |
| การลอกแป้ง (desizing)     | 2500-21000                                    |
| การทำความสะอาด (scouring) | 20000-45000                                   |
| การฟอกขาว (bleaching)     | 2500-25000                                    |
| การชุบมัน (mercerizing)   | 17000-32000                                   |
| การย้อม (dyeing)          | 10000-300000                                  |
| การพิมพ์ (printing)       | 8000-16000                                    |

ที่มา : N.Manivasakarn., 1995.

หมายเหตุ: ปริมาณน้ำใช้แต่ละโรงงานแตกต่างกันขึ้นกับกระบวนการและกำลังการผลิต

## ตารางที่ 2.1.2 ปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์ผ้าใยสังเคราะห์

| ขั้นตอนการผลิต                 | ปริมาณน้ำใช้ (ลิตร/1000 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์) |             |             |             |              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|                                | रणอน                                          | แอซีเทต     | ไนลอน       | อะคริลิก    | พอลิเอสเตอร์ |
| การทำความสะอาด<br>(scouring)   | 17000-34000                                   | 25000-84000 | 50000-67000 | 50000-67000 | 25000-42000  |
| การฟอกขาว<br>(bleaching)       | -                                             | 33000-50000 | -           | -           | -            |
| การย้อม<br>(dyeing)            | 17000-34000                                   | 34000-50000 | 17000-34000 | 17000-34000 | 17000-34000  |
| การตกแต่งสำเร็จ<br>(finishing) | 4000-12000                                    | 24000-40000 | 32000-48000 | 40000-56000 | 8000-12000   |

ที่มา : N.Manivasakarn., 1995.

หมายเหตุ: ปริมาณน้ำใช้แต่ละโรงงานแตกต่างกันขึ้นกับกระบวนการและกำลังการผลิต

### 2.1.2.2 คุณภาพของน้ำใช้ในกระบวนการสิ่งทอ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญระบบหนึ่งของอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมฟอกย้อมซึ่งมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตของโรงงาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ในด้านของระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการเตรียมน้ำให้ตรงกับมาตรฐานการใช้งานในกระบวนการ โดยคุณภาพน้ำใช้แสดงในตารางที่ 2.1.3

### ตารางที่ 2.1.3 คุณภาพน้ำใช้ในกระบวนการทางสิ่งทอ

| พารามิเตอร์ของน้ำ              | ค่าที่ยอมรับได้               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| ความขุ่น                       | < 5 NTU                       |
| ของแข็งแขวนลอย                 | < 5 mg/L                      |
| ของแข็งทั้งหมด                 | < 500 mg/L                    |
| สี                             | < 10 units                    |
| พีเอช                          | 7 - 9                         |
| ค่าความเป็นกรด ค่าความเป็นด่าง | < 100 mg/L as $\text{CaCO}_3$ |
| ค่าความกระด้าง                 | < 70 mg/L as $\text{CaCO}_3$  |
| ปริมาณเหล็ก                    | < 0.1 mg/L                    |

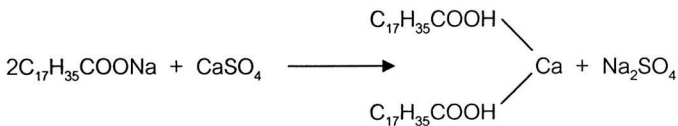
ที่มา : N.Manivasakarn., 1995.

หากคุณภาพน้ำใช้ไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

(1) การใช้น้ำในการผลิตหม้อไอน้ำ (boiler) ถ้าน้ำมีความกระด้าง ซึ่งมีสาเหตุจากเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียม เกลือเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการตกตะกอนเป็นตะกรันแข็งจับอยู่บริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อน ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อผลิตไอน้ำลดลง สิ้นเปลืองพลังงาน

(2) ในกระบวนการพิมพ์ ถ้าน้ำมีโลหะหนักปนเปื้อน จะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสี ทำให้สีไม่ละลาย และถ้าสารโลหะหนักเหล่านี้ไปอยู่กับสารข้น (thickener) โดยเฉพาะประเภทโซเดียมอัลจีเนต (sodium alginate) จะทำให้สีตกตะกอน

(3) ในกระบวนการซักล้างโดยใช้สบู่ (soap) เป็นสารช่วยซัก (washing agent) ถ้าน้ำมีความกระด้างสูง ผลของการเป็นสารช่วยซักจะลดลง เนื่องจากสบู่จะทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะหนักในน้ำกระด้าง ทำให้เกิดสบู่ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble soap) เกิดเป็นตะกอนติดบนผ้า ดังปฏิกิริยา



ซึ่งจะมีผลในการนำไปย้อม โดยทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมแล้วมีความไม่สม่ำเสมอ ตลอดจนผิวสัมผัสของผ้าไม่ดี

(4) ในกระบวนการย้อม ถ้าน้ำมีปริมาณความกระด้าง เหล็ก และแมงกานีสเกินมาตรฐานจะมีผลต่อการย้อมสี คือไอออนของโลหะหนักจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (form complex) กับโมเลกุลสี ก่อนที่สีจะทำปฏิกิริยากับเส้นใย (color change) ทำให้สีกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เกิดเป็นเม็ดสี หรือตะกอนสี ติดบนผ้าทำให้ผ้าเกิดรอยต่างเป็นจุดหรือคราบสี

สมบัติของน้ำที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ของสิ่งทอ ได้แก่

#### (1) ความขุ่น (turbidity)

ความขุ่นของน้ำเกิดจากมีสิ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น ดิน ตะกอนเลน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงตอน และ ไมโครอแกนิซึมอื่นๆ ความขุ่นอาจทำให้เกิดสีได้ เนื่องจากเป็นของแข็งที่มีสี หรือเกิดจากการทึบแสงของน้ำที่เกิดจากสารแขวนลอย ที่อาจจะมึ้นหนักที่ไม่เท่ากัน สำหรับในกระบวนการทาสีสิ่งทอ วัสดุที่เป็นสารแขวนลอยนี้ยอมให้มีอยู่ได้ในปริมาณที่ต่ำ และหากสารแขวนลอยมีสีต่ำจะทำให้วัสดุสิ่งทอเปราะเปื้อนอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ

ก่อนที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งอาจกำจัดได้โดยการกรอง น้ำที่มีความขุ่นส่วนใหญ่เป็นน้ำที่ได้จากน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำลำธาร ส่วนน้ำที่ได้จากน้ำบาดาลจะมีความใสมาก นอกจากนี้ความขุ่นอาจมีสาเหตุจากในน้ำมีแร่ธาตุ เช่น เหล็ก หรือแมงกานีส เมื่อสัมผัสกับบรรยากาศ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ได้ตะกอนของไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุแห่งความขุ่นอีกประการหนึ่ง การวัดความขุ่นในปัจจุบันใช้วิธีการวัดความทึบ และการกระจายของแสงที่ผ่านน้ำ มีหน่วยเป็น NTU (Nephelo-metric turbidity units)

## (2) โลหะ (metal) (N.,Manivasakarn., 1995)

โลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำควรมีในปริมาณที่ต่ำมาก เช่น เหล็ก (Fe) 0.1 –1.0 ppm แมงกานีส (Mn) 0.05 – 1.0 ppm แมกนีเซียม (Mg) 5.0 ppm แคลเซียม (Ca) 10.0 ppm รวมถึงโลหะหนักชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดรอยเปื้อนบนวัสดุ หรือทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการ โดยเหล็กและทองแดงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการฟอกขาวเกินปกติ เกิดการทำลายเส้นใย และไฮดรอกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส เมื่อรวมตัวกับกรดไขมันจะทำให้เกิดเป็นสบู่ที่ติดแน่นกับผ้ายากแก่การกำจัดออก ส่วนในกระบวนการย้อม เหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง หรือสีอาจเปลี่ยนเป็นสีสนิม ในการย้อมสีเบสิก จะทำให้สีมืดได้ ในน้ำส่วนใหญ่จะมีเหล็กมากกว่าแมงกานีส แต่เหล็กสามารถกำจัดออกไปได้ง่ายกว่า ด้วยการให้อากาศ (aeration) , การตกตะกอน (precipitation) , การกรอง (filtration) หรือโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

## (3) ความเป็นกรดและความเป็นด่าง (acidity and alkalinity)

น้ำใช้ในกระบวนการผลิตต้องไม่มีความเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ค่าพีเอชควรอยู่ในช่วง  $7 \pm 2$  หากค่าพีเอชแตกต่างกันนี้มาก ต้องปรับสภาพน้ำให้เป็นกลาง หรือปรับให้เหมาะสมกับความต้องการของกระบวนการเสียก่อนมิฉะนั้นอาจเป็นปัญหาในขั้นตอนการย้อมสีได้

## (4) ความกระด้างของน้ำ (water hardness) (N.Manivasakarn., 1995)

ความกระด้างของน้ำเกิดจากการที่มีไอออนของ แคลเซียม , แมกนีเซียม และอาจมีไอออนของพวกเหล็ก,แมงกานีส, สตรอนเตียม (Sr) และ อลูมิเนียม (Al) ละลายอยู่ในน้ำ แต่ไอออนที่มีความสำคัญคือ แคลเซียม และ แมกนีเซียม

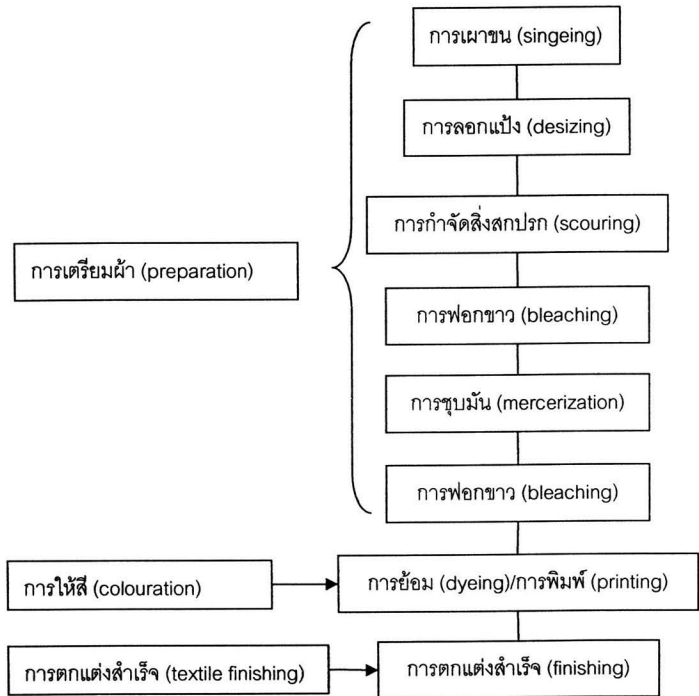
ความกระด้างจากแคลเซียม และ แมกนีเซียม จะทำปฏิกิริยากับสบู่ เกิดสบู่ของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เกาะติดผ้าและเครื่อง ทำให้วัสดุสิ่งทอต่างเมื่อทำการย้อม การกำจัดความกระด้างโดยปกติมักจะทำในรูปของการแลกเปลี่ยนไอออน หรือใช้สารอิตีที่เอจับแคลเซียมและแมกนีเซียมไว้

(5) **สภาพนำไฟฟ้า (conductivity)** (N.,Manivasakarn., 1995)

สภาพนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ขึ้นกับความเข้มข้นและชนิดของไอออนในน้ำ และอุณหภูมิขณะวัด น้ำที่มีไอออนมากจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำที่มีไอออนน้อย น้ำกลั่นจะมีค่าสภาพนำไฟฟ้าใกล้ค่าศูนย์ ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งละลายน้ำ (dissolved solid, DS) ความสัมพันธ์นี้ไม่มีค่าตายตัวหรือคงที่ อัตราส่วนระหว่างสภาพนำไฟฟ้าต่อค่าDS จะมีค่าสูงสำหรับน้ำที่มีพีเอชสูงมาก หรือพีเอชต่ำมาก และมีค่า DS ต่ำสำหรับน้ำที่มีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลาง (6-8) สารละลายอินทรีย์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ส่วนสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่แตกตัวในน้ำ จึงไม่นำไฟฟ้า

2.2 **กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม**

การฟอกย้อม เป็นกระบวนการทางเคมีที่อาศัยการปรับเปลี่ยนสมบัติของเส้นใย โดยใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสม ซึ่งอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การเตรียมผ้า การย้อมผ้า และการตกแต่งสำเร็จ



ภาพที่ 2.1.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542.

### 2.2.1 การเตรียมผ้า (preparation process) (เกษม,2537)

กระบวนการเตรียมผ้า เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็นการนำด้ายหรือผ้าดิบที่ออกจากโรงงานหรือโรงทอ มาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมด้ายหรือผ้าให้อยู่ในสภาพที่นำไปให้สีหรือตกแต่งสำเร็จได้เป็นอย่างดี การเตรียมผ้าประกอบด้วย การทำให้ผ้าเรียบ (singeing) โดยการเผาขน การลอกแป้ง (desizing) การล้างผ้า (scour) การฟอกขาว (bleach) และการชุบมัน (mercerize)

#### 2.2.1.1 การเผาขน (singeing)

เส้นด้ายที่ปั่นจากใยสั้นที่เรียกว่าเส้นด้ายสับ มักจะมีปลายใยโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิวของเส้นด้ายเป็นจำนวนมาก และเมื่อเส้นด้ายถูกนำไปทอเป็นผืนผ้า ปลายเส้นใยที่โผล่ขึ้นมาเหนือผิวเส้นด้ายก็จะมามากขึ้น เนื่องจากการเสียดสีระหว่างการทอ ปลายเส้นใยที่โผล่มาผิวด้านนี้ มีผลทำให้พื้นผิวด้านไม่เรียบ จึงมีการกำจัดปลายเส้นใยดังกล่าวด้วยการเผาขน เพื่อเป็นการทำให้ผ้าเรียบและมีความเงามันดีขึ้น โดยให้ผ้าเคลื่อนที่ผ่านเปลวไฟเพื่อเผาขนบนผิวผ้า

#### 2.2.1.2 การลอกแป้ง (desizing)

ในการทอผ้า เส้นด้ายยีนต้องถูกดึงและเสียดสีอยู่ตลอดเวลา ทำให้เส้นด้ายมีโอกาสที่จะขาดได้ง่าย เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าว และทำให้การทอสามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ก่อนการทอผ้าจึงนำเส้นด้ายยีนไปลงแป้ง โดยแป้งจะเคลือบอยู่โดยรอบของพื้นผิวเส้นด้าย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและต้านทานแรงเสียดสีให้กับเส้นด้าย ป้องกันการขาดของด้ายในระหว่างการทอ สารลงแป้งนอกจากจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก โดยอาจเป็นแป้งธรรมชาติ หรือแป้งสังเคราะห์ แล้วยังมีส่วนผสมของสารซีมี้งและน้ำมันหล่อลื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารลงแป้ง ปริมาณสารลงแป้งที่ใช้ อาจสูงถึงร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักเส้นด้ายยีน ในการลงแป้ง สารลงแป้งจะซึมเข้าไปตามช่องว่างระหว่างเส้นใยภายในเส้นด้าย และเคลือบอยู่บนพื้นผิวโดยรอบเส้นด้ายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ทำให้เส้นด้ายไม่ดูดซึมน้ำ ทำให้ผ้าไม่ดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการตกแต่งผ้า ผ้ามีสัมผัสที่แข็งกระด้าง นอกจากนี้ ในบางกรณีการย้อมด้วยสีรีแอคทีฟ พบว่ากรรมมีแป้งหลงเหลืออยู่บนผ้า ทำให้ผ้ามีการดูดติดสีย้อมเพิ่มขึ้น โดยที่สีบางส่วนจะติดอยู่ที่แป้ง เนื่องจากสีรีแอคทีฟสามารถทำปฏิกิริยาเคมีผนึกติดกับแป้งได้ ผ้าที่ได้จะมีความคงทนของสีอยู่ในระดับต่ำ โดยเฉพาะความคงทนต่อการซัก และต่อการซัก ดังนั้นก่อนการฟอกย้อม จำเป็นต้องมีการกำจัดแป้งออกจากเส้นด้ายยีนก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อให้เส้นด้ายมีการดูดซึมน้ำดี มีสัมผัสนุ่ม สามารถดูดซึมสีย้อม และสารเคมีต่างๆ ได้ดีและสม่ำเสมอ

### 2.2.1.3 การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring)

การกำจัดสิ่งสกปรกเป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่องค์ประกอบของเส้นใย ได้แก่ ไขมัน ชี้น้ำมัน และสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกจากวัสดุสิ่งทอ โดยไม่ทำให้สมบัติของเส้นใยเปลี่ยนแปลง แต่จะทำให้เส้นใยสามารถดูดซึมสีย้อม หรือสารตกแต่งได้ดีขึ้น และมีความสม่ำเสมอ โดยทำปฏิกิริยากับตัวทำลายอินทรีย์ หรือสารละลายต่าง ซึ่งปกติจะใช้โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารลดแรงตึงผิว ขึ้นกับชนิดของเส้นใยที่ต้องการทำความสะอาด

### 2.2.1.4 การฟอกขาว (bleach)

การฟอกขาวหมายถึง การกำจัดสีที่มีอยู่ในเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยประดิษฐ์ เพื่อให้เส้นใยดูขาวขึ้น ถ้าเป็นการฟอกฝ้าย กระบวนการนั้นนอกจากจะทำให้ผ้าขาวขึ้นแล้ว ยังช่วยกำจัดสิ่งสกปรกที่เป็นจุดด่างบนผ้าด้วย สารเคมีที่ใช้เป็นสารฟอกมี 2 ชนิดคือ สารออกซิไดส์ และสารรีดิวซ์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สารออกซิไดส์มากกว่า เพราะได้ผ้าที่มีความขาวดีกว่าการฟอกด้วยสารรีดิวซ์ สารออกซิไดส์ที่ใช้ประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) สารประกอบไฮโปคลอไรต์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ( $NaClO$ ) และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ( $Ca(OCl)_2$ ) เป็นต้น สารประกอบคลอไรต์ เช่นโซเดียมคลอไรต์ ( $NaClO_2$ ) เป็นต้น สารรีดิวซ์ ได้แก่ โซเดียม ไฮโดรซัลไฟต์ ( $Na_2S_2O_4$ ) โซเดียมฟอर्मัลดีไฮด์ซัลฟอกซิลเลต ( $HCHOHSO_2Na \cdot 2H_2O$ ) โซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ ( $Na_2S_2O_3$ ) โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอกขาวที่นิยมใช้กันมากที่สุดกับเส้นใยเซลลูโลส รวมทั้งเส้นใยขนสัตว์ ไหม ไนลอน และอะคริลิก เนื่องจากเป็นสารฟอกที่อ่อนที่สุดเมื่อเทียบกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์และโซเดียมคลอไรต์ จึงสามารถใช้ได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ และใช้ได้กับทุกกระบวนการ (ต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง) และยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียหลังการใช้งาน เนื่องจากสลายตัวให้แก๊สออกซิเจน ( $O_2$ ) กับน้ำ การฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มักมีสารหลงเหลือบนผ้าฟอกเสมอ ซึ่งกำจัดออกด้วยการล้างผ้าด้วยน้ำมากๆ หรืออาจใช้เอนไซม์แคทาเลส (catalase) ช่วยสลายเปอร์ไฮดรอกซีไฮออนให้เป็นน้ำ และออกซิเจน

การฟอกขาวสิ่งทออาจใช้เอนไซม์ช่วยการฟอกได้ เช่นใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส กลูโคส และออกซิเจนผสมกันทำให้เกิดสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วจึงเริ่มการฟอกผ้า ผ้าฟอกที่ได้มีความขาวต่ำกว่าการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่ความแข็งแรงของผ้าลดลงน้อยกว่า

### 2.2.1.5 การชุบมัน (mercerize)

การชุบมัน ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการสำหรับผ้าฝ้าย ทำให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำและสีย้อมได้ดีขึ้น มีความเงาขึ้น และมีความแข็งแรงมากขึ้น ประเภทของการชุบมันแบ่งตามสารเคมีที่ใช้ออกเป็น 2 ประเภทคือ การชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการชุบมันด้วยแอมโมเนียเหลว



## 2.2.2 การย้อมผ้า (dyeing process) และการพิมพ์ผ้า (printing process)

การให้สีวัสดุสิ่งทอในระบบอุตสาหกรรม สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การย้อมและการพิมพ์ หลักการย้อมคือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลาย หรือกระจายอยู่ในสารละลาย (dispersion) ไปทำให้เกิดสีบนวัสดุ (substrates) ที่จะย้อม เช่น เส้นใย เส้นด้าย ผ้า และเส้นผ้า การเกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมไม่เพียงแต่เกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่จะสามารถแทรกซึมเข้าไปภายในอย่างสม่ำเสมอ จุดประสงค์หลักของการย้อมคือ ได้สีสม่ำเสมอ และมีความคงทนทั้งการใช้งาน และกระบวนการผลิตขั้นต่อมา ส่วนการพิมพ์คือ การทำให้เกิดสีเป็นลวดลายตามที่ต้องการ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการย้อมเฉพาะแห่ง

## 2.2.3 การตกแต่งสำเร็จ (finishing process)

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการสุดท้ายในกระบวนการฟอกย้อม และพิมพ์ผ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อ เพิ่มเติมสมบัติอื่นๆ ให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เช่น สมบัติการทนต่อการยับ ความนุ่ม และความสามารถในการทนไฟ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่วัสดุสิ่งทอที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วจะไม่นำกลับมาล้างทำความสะอาดอีก

## 2.3 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม (กรมโรงงาน, 2542)

สมบัติของน้ำเสียขึ้นกับ วัตถุดิบ กระบวนการ และสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำเสียในแต่ละโรงงานยังขึ้นอยู่กับ เวลาและฤดูกาล ลักษณะสมบัติของน้ำเสียมีดังนี้

### 2.3.1 บีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดีเป็นค่าที่บอกปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบกับรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ บีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากการเอาแป้งออกจากเนื้อผ้าหรือขั้นตอนการลอกแป้ง (desizing) ซึ่งหากเป็นแป้งธรรมชาติ (starch) จะมีความสกปรกในรูปบีโอดีสูงมากเมื่อเทียบกับแป้งสังเคราะห์ (PVA, CMC) นอกจากนี้ความสกปรกในรูปบีโอดียังเกิดจากการใช้สารจำพวกโปรตีน กรดอินทรีย์ ฯลฯ ในกระบวนการผลิต

### 2.3.2 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บอกปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบกับรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปแตสเทียมไดโครเมตในสารละลายที่เป็นกรด ในกระบวนการพิมพ์ค่าซีโอดีเกิดจากการใช้ สารช่วย สี สารตกแต่งและ

สารชักฟอก รวมทั้งสารต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปบีโอดี และสารอื่น ๆ ที่เป็นตัวรับออกซิเจน (reducing agent) เกือบทั้งหมด

### 2.3.3 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่กรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) แล้วอบให้แห้ง ของแข็งแขวนลอยในน้ำมีผลทำให้ค่าบีโอดี และค่าซีโอดีสูงขึ้นด้วย

### 2.3.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ จะขึ้นอยู่กับสภาวะในการทำความสะดวกผ้า การฟอกขาว การย้อมและการพิมพ์สี ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทั้งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำ

### 2.3.5 สีในน้ำทิ้ง

ในกระบวนการย้อมสีจะมีการดูดสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลาย และถูกปล่อยออกมากับน้ำเสีย ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.2.1 การพิมพ์ที่เช่นเดียวกันจะมีสีที่ไม่ติด หรือเกาะกันอย่างหลวมๆ หลุดออกมาในกระบวนการซักล้าง หรือพิมพ์

ตารางที่ 2.2.1 ความเข้มข้นของสีย้อมแต่ละประเภทในน้ำเสีย

| ประเภทของสี                | ปริมาณสีที่เหลือในน้ำหลังการย้อม (%) |
|----------------------------|--------------------------------------|
| สีไดเรกต์ (direct dye)     | 10                                   |
| สีดิสเพอร์ส (disperse dye) | 5                                    |
| สีเบสิก (basic dye)        | 2                                    |
| สีแอซิด (acid dye)         | 5                                    |
| สีรีแอคทีฟ (reactive dye)  | 30                                   |

ที่มา : Hao, O.J., Kim, H. and Chiang, P.C. 2000.

จากตารางที่ 2.2.1 เห็นได้ว่าสีรีแอคทีฟจะยังคงเหลืออยู่ในน้ำย้อมมากที่สุดเนื่องจากสีรีแอคทีฟที่อยู่ในรูปของ reactive vinyl sulfone group ( $-\text{SO}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) นอกจากจะทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลสแล้ว ยังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ อยู่ในรูปของสีรีแอคทีฟที่ถูกไฮโดรไลส์ (hydrolyzed byproduct) ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เกิดพันธะกับเส้นใย โดยประมาณ ร้อยละ 30 ของ สีรีแอคทีฟทั้งหมดจะกลายเป็นสี

รีแอกทีฟที่ถูกไฮโดรไลส์ และกลายเป็นสีในน้ำเสีย ซึ่งเป็นสีที่ถูกกำจัดได้ยาก และถ้าไม่มีการกำจัดสีรีแอกทีฟออกจากน้ำเสีย สีย้อมเหล่านี้จะคงทนและปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน สีในน้ำทิ้งเป็นสิ่งที่ให้ผลกระทบต่อความรู้สึกของผู้คนที่พบเห็น แม้ว่าค่า BOD ของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ยังคงถูกจัดว่าเป็นน้ำเสีย

## 2.4 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

### 2.4.1 ลักษณะของน้ำเสีย

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสีย เริ่มจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียในกระบอกระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

#### (1) น้ำในกระบวนการผลิต

ได้แก่น้ำที่ใช้ในการฟอกย้อม/พิมพ์ น้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม/พิมพ์ น้ำส่วนนี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง
- น้ำใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม/พิมพ์ น้ำส่วนนี้มีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วน้อยกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

#### (2) น้ำในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อม ใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้กระบวนการ และเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรก

#### (3) น้ำหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

#### (4) น้ำล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น ดังนั้นน้ำที่ใช้ทำความสะอาดโรงงานคุณภาพที่ไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพดีเหมือนกับน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอก ย้อม พิมพ์

#### (5) น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น แต่ในปัจจุบันพบว่ามีการเก็บน้ำฝนมาใช้ในโรงงานมากขึ้น

ตารางที่ 2.4.1 ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอแต่ละประเภท

| Subcategory             | Water Usage<br>(L/kg) |       |       | Water Usage<br>(gal/lb production) |      |       | Discharge<br>(median mill) |       | No. of<br>Mills |
|-------------------------|-----------------------|-------|-------|------------------------------------|------|-------|----------------------------|-------|-----------------|
|                         | Min.                  | Med.  | Max.  | Min.                               | Med. | Max.  | M <sup>3</sup> /day        | MGD   |                 |
| Wool scouring           | 4.2                   | 11.7  | 77.6  | 0.5                                | 1.4  | 9.3   | 103                        | 0.051 | 12              |
| Wool finishing          | 110.9                 | 283.6 | 657.2 | 13.3                               | 34.1 | 78.9  | 1,892                      | 0.500 | 15              |
| Low water use           | 0.8                   | 9.2   | 140.1 | 0.1                                | 1.1  | 16.8  | 231                        | 0.061 | 13              |
| processing              |                       |       |       |                                    |      |       |                            |       |                 |
| Woven fabric finishing  |                       |       |       |                                    |      |       |                            |       |                 |
| a.Simple processing     |                       |       |       |                                    |      |       |                            |       |                 |
| b.Complex processing    | 12.5                  | 78.4  | 275.2 | 1.5                                | 9.4  | 33.1  | 636                        | 0.168 | 48              |
| c.Hosiery processing    | 10.8                  | 86.7  | 276.9 | 1.3                                | 10.4 | 33.2  | 1,533                      | 0.405 | 39              |
|                         | 5.0                   | 113.4 | 507.9 | 0.6                                | 13.6 | 60.9  | 636                        | 0.168 | 50              |
| Knit fabric finishing   |                       |       |       |                                    |      |       |                            |       |                 |
| a.Simple processing     | 8.3                   | 135.9 | 392.8 | 0.9                                | 16.3 | 47.2  | 1,514                      | 0.400 | 71              |
| b.Complex processing    | 20.0                  | 83.4  | 377.8 | 2.4                                | 10.0 | 45.2  | 1,998                      | 0.528 | 35              |
| c.Hosiery processing    | 5.8                   | 69.2  | 289.4 | 0.7                                | 8.3  | 34.8  | 178                        | 0.047 | 57              |
| Carpet finishing        | 8.3                   | 46.7  | 162.6 | 1.0                                | 5.6  | 19.5  | 1,590                      | 0.420 | 37              |
| Stock and yarn          | 3.3                   | 100.1 | 557.1 | 0.4                                | 12.0 | 66.9  | 961                        | 0.254 | 116             |
| finishing               |                       |       |       |                                    |      |       |                            |       |                 |
| Nonwoven finishing      | 2.5                   | 40.0  | 82.6  | 0.3                                | 4.8  | 9.9   | 389                        | 0.100 | 11              |
| Felted fabric finishing | 33.4                  | 212.7 | 930.7 | 4.0                                | 25.5 | 111.8 | 564                        | 0.149 | 11              |

ที่มา : U.S. EPA.,1996.

## 2.4.2 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า

สีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้าสามารถถูกกำจัดไปบางส่วน จากการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ ไม่ว่าจะเป็นการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี หรือ ชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือให้มีเหลืออยู่น้อยที่สุดได้ถูกคิดค้นมาเป็นเวลานาน วิธีการกำจัดสีย้อมในปัจจุบัน รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.4.2

ตารางที่ 2.4.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสีย้อม

| ชนิด                           | กระบวนการ                                    | ตัวอย่าง                                                                   |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| กายภาพ(physical)               | เมมเบรน                                      | นาโนฟิลเทรชัน (nanofiltration)                                             |
|                                | การลอยตัว                                    | การลอยตัวด้วยไฟฟ้า(electroflotation)                                       |
| ไฟฟ้าเคมี<br>(electrochemical) | ออกซิเดชัน/รีดักชัน                          | โคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (electro-coagulation)                                |
|                                |                                              | ออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า (electro-oxidation)                                    |
|                                |                                              | การลอยตัวด้วยไฟฟ้า (electro-flotation)                                     |
| เคมี (chemical)                | โคแอกกูเลชัน/ตกตะกอน                         | เกลือของเหล็ก/เกลือของอะลูมิเนียม                                          |
|                                | ออกซิเดชันด้วยคลอรีน<br>(chlorination)       | Cl <sub>2</sub> , NaOCl,                                                   |
|                                | ออกซิเดชันด้วยโอโซน<br>(ozonation)           | ozone                                                                      |
|                                | ออกซิเดชันด้วยสาร<br>เฟนตอน (Fenton reagent) | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe(II)                                      |
|                                | การดูดซับ (adsorption)                       | ถ่านกัมมันต์                                                               |
|                                | การรีดักชัน                                  | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                              |
|                                | การแลกเปลี่ยนไอออน                           | Anion Exchange Resin                                                       |
|                                |                                              |                                                                            |
| ใช้แสง                         | UV ; H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>           | UV/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,UV/O <sub>3</sub> , UV/TiO <sub>2</sub> |
| ชีววิทยา                       | ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ<br>(aerobic)            | ระบบตะกอนเร่ง                                                              |

วิธีการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียโรงฟอกย้อมอาจใช้วิธีหนึ่งวิธีใดหรือ อาจจะใช้ร่วมกันได้ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัด ขึ้นกับสารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิตสีย้อม บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีย้อมได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องมีวิธีอื่นร่วมด้วย เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมมีการใช้สีย้อมหลายประเภทด้วยกัน

### 2.4.2.1 การกำจัดสีขุ่นโดยโคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี

สารเคมีตกตะกอนที่นิยมในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ โดยอลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต อลูมิเนียมคลอไรด์ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ และโซเดียมอลูมิเนต ส่วนไอร์ออนโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ เพอร์ริสซัลเฟต เพอร์ริกซัลเฟต เพอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น อลูมิเนียม และไอร์ออนจะเป็นโคแอกกูแลนต์ ที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน ราคาไม่แพง อยู่ในน้ำจะมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และถูกควบคุมปฏิกิริยาโดยพีเอชในระบบ หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมทำให้กระบวนการตกตะกอนมีประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีประสิทธิภาพเลย

#### (1) สารสร้างตะกอนในกลุ่มไอร์ออนโคแอกกูแลนต์

##### (1.1) เพอร์ริกคลอไรด์

มีสมบัติเฉพาะตัวดังนี้

(1.1.1) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  หรือ  $\text{FeCl}_3 \cdot \text{anhydrous}$  น้ำหนักโมเลกุล 162.2 มีลักษณะเป็นผลึกน้ำตาลหรือเหลือง ละลายน้ำได้ดี มีขายในท้องตลาด 3 รูปแบบคือ ของแข็งที่ไม่มีน้ำ เป็นผลึกน้ำ และในรูปของเหลว เติมน้ำดิบในรูปของสารละลาย มีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน

(1.1.2) ปฏิกิริยาจะคล้ายคลึงกับอลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) โดยเมื่อใส่ลงในน้ำที่มีสภาพต่างจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



(1.1.3) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 5-8.5

##### (1.2) เพอร์ริสซัลเฟต

มีสมบัติเฉพาะตัวดังนี้

(1.2.1) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  มีน้ำหนักโมเลกุล มีลักษณะเป็นทั้งผง, เม็ด, หรือผลึก มีสีเขียวถึงน้ำตาลปนเหลือง ละลายน้ำได้ดี เมื่อเป็นสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรด และกัดกร่อน ในการเติมน้ำเสียจะเติมในรูปของแข็งหรือสารละลายก็ได้

(1.2.2) เพอร์ริสซัลเฟตเมื่อใส่ลงไปในน้ำจะเกิดเป็นเพอร์ริสไฮดรอกไซด์ ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ )

(1.2.3) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 12

## (2) สารสร้างตะกอนในกลุ่มอลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์

### (2.1) อลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม

มีสมบัติเฉพาะตัวดังนี้

(2.1.1) มีสูตรทางเคมี  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$  มีน้ำหนักโมเลกุล 666.7 มีขายทั้งในรูปสารละลาย และของแข็ง

(2.1.2) สารส้มเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวดังนี้



$\text{Al}^{3+}$  สามารถรวมตัวกับคอลลอยด์ที่มีประจุลบเป็นคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่

(2.1.3) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 5.5-8.0

### (2.2) พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์

(2.2.1) เป็นสารพอลิเมอร์ เตรียมจากอลูมิเนียมที่เป็น  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ทำปฏิกิริยากับ  $\text{HCl}$  ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็น  $\text{AlCl}_3$  หลังจากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับด่างที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็น อลูมิเนียมพอลิเมอร์ มีสูตรทั่วไปคือ  $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m}$  ละลายน้ำได้ดี

(2.2.2) มีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตะกอนสูง และการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม

(2.2.3) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 4.0-10.0

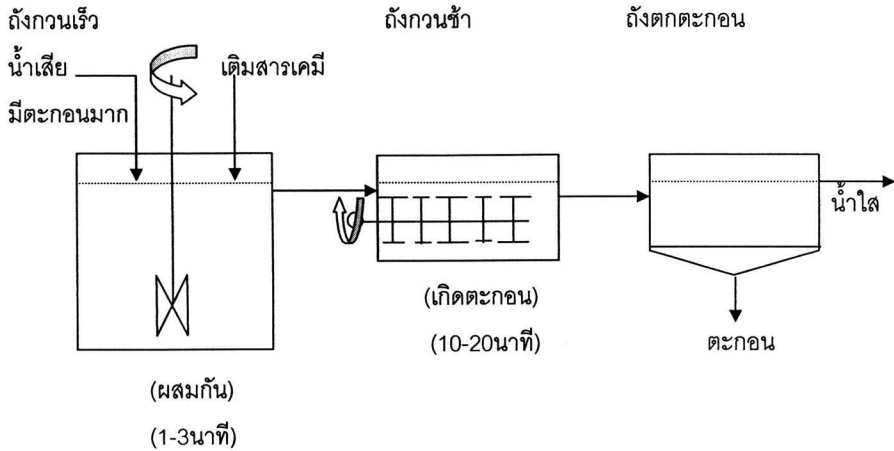
#### การใช้สารช่วยตกตะกอน (coagulant aids)

สารช่วยตกตะกอน หมายถึงสารที่ช่วยทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ทำให้ตะกอนแข็งแรงยิ่งขึ้น มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยออกจากน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนมีหลายชนิดเช่นปูนขาว และสารโพลิเมอร์ประเภทต่างๆ

#### การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ (jar test)

ค่าใช้จ่ายหลักในการตกตะกอนมี 2 ส่วนคือ ค่าก่อสร้างและค่าสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ซึ่งปกติจะต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ทั้งนี้หน้าที่หลักของสารเคมีที่ใช้สร้างตะกอน (มักจะเรียกทับศัพท์ว่าโคแอกกูแลนต์) คือการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ และการทำให้ตะกอนยึดเหนี่ยวกันแข็งแรงขึ้น การเลือกชนิดและความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ ขึ้นกับสมบัติของโคแอกกูแลนต์ และสมบัติของน้ำ จึงต้องมี

ทดสอบเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยวิธีจาร์เทสต์ โดยปกติของการทำจาร์เทสต์จะมีช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งให้ความเร็วรอบในการกวนสูง และเวลาในการกวนน้อย เพื่อให้สารเคมีที่ใช้มีการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วจะเป็นช่วงของการกวนช้า เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำ



ภาพที่ 2.4.1 ระบบการสร้างรวมตะกอนเคมี

#### 2.4.2.2 กระบวนการทางชีวภาพ

##### (1) กระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process)

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ยิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่น แต่อย่างไรก็ตามระบบตะกอนเร่งไม่สามารถกำจัดสีที่เกิดขึ้นให้ลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย (Carliell และคณะ, 1996) รายงานว่า สีย้อมเป็นตัวขัดขวางการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากในตัวสีย้อมได้มีการเติมสารเคมี ที่ช่วยเพิ่มสมบัติการย้อมสี เช่น ป้องกันไม่ให้สีตก, ไม่ติดไฟง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ระบบตะกอนเร่งจะมีปัญหาในเรื่องของการปรับตัวของจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ย้อมบ่อย และจากงานวิจัยของ Porter และ Snider, 1976 สรุปว่าที่การทดสอบค่าบีโอดี 30 วัน โมเลกุลของสีจะถูกย่อยสลายได้มากกว่าที่การทดสอบค่าบีโอดี 5 วัน เนื่องจากมีสารเคมีจำนวนมากที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมถูกย่อยสลายได้เข้ามา โดยพบว่าสีส่วนมากที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวขัดขวางการย่อยสลาย และหลังจากเวลาผ่านไป 30 วัน สีจะถูกกำจัดอย่างช้าๆ และจากงานวิจัยของ Shriver และ Dague, 1978 สรุปว่าน้ำเสียที่มีสีจากโรงงานฟอกย้อมมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าน้ำเสียชุมชน โดยพบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 10 วัน อัตราการย่อยสลาย



ของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมคิดเป็นร้อยละ 31 ในขณะที่อัตราการย่อยสลายของน้ำเสียชุมชนคิดเป็นร้อยละ 92

## (2) กระบวนการแอนแอโรบิก (anaerobic process)

Ecological and Toxiological Association of the Dyestuff Manufacturely (ETAD) โดย Green และคณะ(1985) ได้ทำวิจัยการย่อยสลายของโมเลกุลสี โดยศึกษาสีชนิดเอโซ 14 ชนิด ซึ่งละลายในน้ำกลั่นโดยใช้ระบบถังย่อยแอนแอโรบิก พบว่าสีเกือบทุกชนิดที่ได้นำมาศึกษา รวมทั้งสีแอลิดสีไคเร็กท์ และสีเมอร์แดนท์ ถูกย่อยสลายได้มากกว่าร้อยละ 90 และศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบที่เกิดจากการย่อยสลายโมเลกุลสีชนิดเอโซพบว่าเกิดเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีน ตัวอย่างเช่น สี Direct Yellow 12 และ Acid Yellow 36 ซึ่งถูกย่อยสลายในส่วนที่มีโครงสร้างของพันธะเอโซ

## 2.6 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขแหล่งน้ำในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ปัญหาอันเกิดจากความจำกัดในการใช้น้ำของกระบวนการฟอกย้อมนั้น ควรมีการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ดังนั้นจึงได้ศึกษาการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำทั้งในกระบวนการฟอกและย้อม ซึ่งจะส่งผลให้การใช้น้ำดิบมีปริมาณลดลง และ ลดขั้นตอนของการเตรียมน้ำดิบโดยผ่านการกรองเรซิน อีกด้วย

### 2.6.1 แนวความคิดในการป้องกันมลพิษและลดของเสีย

ในอดีตการรักษาและป้องกันแก้ไขปัญหาสีสิ่งแวดล้อมจะเป็นการควบคุมที่ปลายเหตุ (end-of-pipe ; EOP) คือใช้การบำบัด โดยรัฐมีกฎหมายควบคุมการทิ้งของเสียหรือมลพิษทางน้ำ ทางอากาศ ของโรงงานให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งโรงงานจะพยายามปฏิบัติให้มลพิษหรือของเสียที่จะปล่อยออกนอกโรงงานอยู่ในเกณฑ์เท่านั้น ไม่ได้มุ่งเน้นที่การลดปริมาณของเสียตั้งแต่อยู่ในกระบวนการผลิต แต่ปัจจุบันเมื่อวิวัฒนาการของการวิจัยพัฒนาสูงขึ้น และให้ความสำคัญกับปัญหาสีสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้พบว่าในอดีตการป้องกันและแก้ไขปัญหาสีสิ่งแวดล้อมเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ การป้องกันและแก้ไขปัญหาสีสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุดก็คือการแก้ไขปัญหาคือต้นเหตุ ทำอย่างไรจะทำให้เกิดของเสียในการผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น และนำมาบำบัดในระบบที่มีประสิทธิภาพประกอบกับความรู้ความเข้าใจในการควบคุมดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นไปตามกำหนดมาตรฐานที่รัฐกำหนด และเมื่อนำไปทิ้งทำลายก็สามารถทำได้ อย่างถูกวิธีไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินและอากาศ แนวความคิดทั้งหมดนี้คือหลักการป้องกันมลพิษ เมื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิดของเสียจะลดลง ถ้าสามารถนำของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ของเสียที่จะถูกนำไปบำบัดก็จะลดน้อยลง ของเสียหลังจากที่ถูกส่งไปยังระบบบำบัดแล้วจะมีของเสียปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่น้อยลง

วิธีการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด และการนำกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบันมีการคิดค้นและวิจัยพัฒนามากขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นเทคโนโลยีสะอาด (clean technology) ทำให้โรงงานได้ผลประโยชน์ดังนี้

- (1) ลดต้นทุนการผลิต ได้แก่
  - ลดการสูญเสียวัตถุดิบและสารเคมี
  - ลดปริมาณการใช้น้ำ
  - ลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัด
- (2) ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น
- (3) คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น
- (4) มีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดี
- (5) ภาพพจน์องค์กรดีขึ้น ทำให้เป็นเพื่อนบ้านที่ดีกับชุมชน

## 2.6.2 แนวทางการป้องกันมลพิษ

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น ประกอบด้วยปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์ที่ใช้ น้ำเป็นตัวกลาง จึงมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการพัฒนาระบวนการที่ไม่ใช้น้ำหรือใช้น้ำในปริมาณน้อยจึงมีความจำเป็น เนื่องจากการลดปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่ต้นกระบวนการ ทำให้ใช้สารเคมีและพลังงานลดลง นอกจากนี้ยังมีผลทำให้น้ำทิ้งลดลง เป็นการช่วยลดขนาดของระบบบำบัดต่าง ๆ ซึ่งสามารถจะดำเนินการได้ดังนี้

### 2.6.2.1 ควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (automatically controlled)

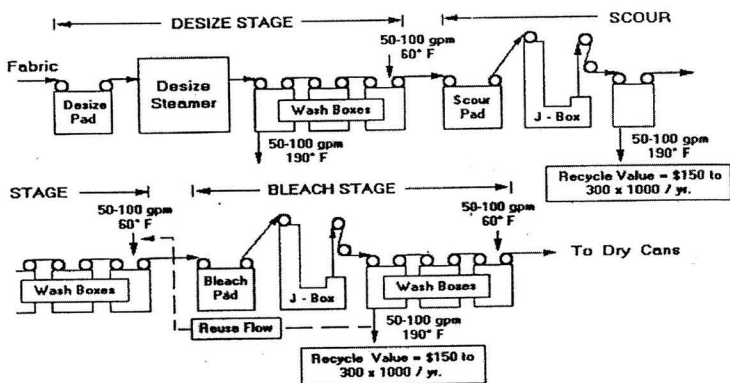
ในกระบวนการเตรียมผ้าสิ่งที่สำคัญคือ คุณภาพของผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมแล้วควรมีคุณภาพคงที่ มีความสม่ำเสมอของการลอกแบ่ง การกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาว หากผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมที่เหมือนกันแต่มีคุณภาพไม่คงที่ ทำให้ต้องมีการปรับค่าสารต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนของกระบวนการย้อม และการตกแต่งสำเร็จเพื่อให้เหมาะสมกับการดูดซับสีย้อม (dye absorption) และการดูดซึมสารเคมีต่างๆ (wet pick up of finishing chemicals) ซึ่งปัจจุบันในขั้นตอนของการย้อมมีการนำเครื่องวัดสีมาช่วยในการคำนวณสูตรสีผสมกันมากขึ้น แต่การที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากสูตรที่เครื่องคำนวณออกมาได้อย่างสูงสุดคือ สามารถนำสูตรที่เครื่องคำนวณได้มาย้อมโดยไม่ต้องมีการแก้ไขสูตรนั้น จึงมีความจำเป็นที่ผ้าจะต้องมีสมบัติที่แน่นอน และเหมือนเดิมทุกครั้ง การควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะปรับการจ่ายน้ำ, ไอน้ำและสารเคมีให้สอดคล้อง

กับความต้องการของการใช้จริง ทำให้ผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมแต่ละครั้งมีคุณภาพคงที่ นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดน้ำในกระบวนการชะล้างทำความสะอาดเนื่องจากมีการใช้น้ำในอัตราที่สูง โดยการควบคุมปริมาณน้ำที่จ่ายให้กับเครื่องซักล้างและทำความสะอาด ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามปริมาณของสิ่งเจือปนโดยติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมจากส่วนกลางโดยระบบอัตโนมัติ

### 2.6.2.2 การใช้น้ำล้างซ้ำ (process water reuse and recycle)

ในการซักล้างจะมีการใช้น้ำในปริมาณมาก เพื่อเป็นการประหยัดน้ำ รูปแบบที่นิยมในการล้าง คือ การล้างแบบต่อเนื่อง โดยให้น้ำไหลสวนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นใยหรือสิ่งทอที่จะล้าง (counter current washing) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับกระบวนการล้างหลายขั้นตอน อาศัยหลักการทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอนไม่จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีความสะอาดเท่าเทียมกัน โดยเฉพาะการล้างในขั้นตอนแรกที่มีความสกปรกมากที่สุด และน้ำในขั้นตอนสุดท้ายจะถูกนำไปใช้ในการล้างในขั้นตอนที่มีความสกปรกมากกว่า พบว่าสามารถประหยัดน้ำในกระบวนการล้างได้ถึง 50-80% ขึ้นกับปริมาณสิ่งทอที่จะล้างและจำนวนขั้นตอนในการล้าง

นอกจากนี้ผ้าที่ใช้ในการซักล้างในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมผ้ามักถูกปล่อยลงรางระบาย เพราะคิดว่าน้ำได้ผ่านการใช้งานแล้ว หากได้มีการศึกษาคุณภาพและปริมาณของน้ำล้าง ตลอดจนศึกษาว่าน้ำยังมีความจำเป็นจะต้องใช้ในส่วนอื่นๆของกระบวนการ น้ำล้างที่ใช้แล้วในขั้นตอนของการฟอกขาว (bleaching) สามารถนำกลับมาใช้เป็นน้ำล้างได้อีกในขั้นตอนการล้างสิ่งสกปรก (desizing) โดยผ่านกระบวนการกรอง ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 2.6.1



ภาพที่ 2.6.1 ขั้นตอนของการเตรียมผ้าและการใช้น้ำล้างซ้ำ

ที่มา : A. Reife, H. S. Freeman. , 1996.

จากภาพที่ 2.6.1 เป็นขั้นตอนต่างๆ ของการเตรียมผ้าประกอบด้วยการลอกแป้ง (desizing) การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) และการฟอกขาว (bleaching) น้ำที่ใช้ในการล้างเปอร์ออกไซด์จากการฟอกขาวสามารถนำกลับมาใช้เป็นน้ำล้างซ้ำในขั้นตอนการล้างสิ่งสกปรก (scouring wash boxes) ได้อีกแต่ต้องมีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนพวกของแข็งแขวนลอยออกก่อน โดยผ่านกระบวนการกรองแบบง่าย ๆ โดยให้น้ำไหลผ่านชั้นวัสดุกรอง (conventional filtration) เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะไปอุดตันหัว หรือหัวฉีดที่จะจ่ายน้ำให้กับน้ำที่อ่างล้างสิ่งสกปรก จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำล้างจากกระบวนการฟอกขาวโดย (J.J.Porter ,1977) พบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณของแข็งในน้ำน้อยกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งเป็นระดับที่น้อยมากไม่มีผลต่อการนำไปใช้ซ้ำในอ่างล้างสิ่งสกปรก (scour rinsing process) โดยต้องระมัดระวังในการเลือกใช้สารปรับเสถียรเปอร์ออกไซด์ และพบว่าการใช้ organic peroxide stabilizer เป็นสารปรับเสถียร จะมีความเหมาะสม และไม่มีผลต่อคุณภาพของผ้าในการนำกลับมาใช้ซ้ำ

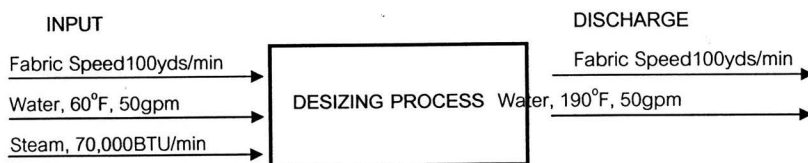
การนำน้ำล้างกลับมาใช้ซ้ำจะต้องมีการลงทุนในส่วนของเครื่องสูบน้ำ วัสดุกรองที่เหมาะสม ระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถเปิด-ปิดน้ำจาก bleaching wash water ไปยัง scouring rinsing วิธีการดังกล่าวจะทำให้ประหยัดน้ำได้ 50-100 gal/min หรือ 125,000-250,000 \$ต่อปี

### 2.6.2.3 การนำสารเคมีในกระบวนการกลับมาใช้ใหม่

#### (1) การนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol,PVA) กลับมาใช้ใหม่

ในกระบวนการทอผ้าเส้นด้ายยืนจะถูกดึงและถูกเสียดสีตลอดเวลา ทำให้เส้นด้ายมีโอกาสขาดได้ง่าย ดังนั้นเส้นด้ายยืนแต่ละเส้นจะถูกดึงและทำให้แห้งเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มเคลือบบนเส้นด้าย เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานแรงเสียดสี และลดการขาดของเส้นด้าย แป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืนมีหลายชนิดทั้งที่เป็นแป้งธรรมชาติและแป้งสังเคราะห์ แป้งธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากมันฝรั่ง ข้าวโพด หรือข้าว มีการใช้งานค่อนข้างมากเนื่องจากมีสมบัติเป็นแผ่นฟิล์มที่ดียึดเกาะได้ดีกับเส้นใยเซลลูโลส (cellulose) ประกอบกับเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือการลอกแป้งออกจากผ้าจะทำได้ยาก ไม่สม่ำเสมอ และน้ำทิ้งจะมีค่าความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี สูง แป้งธรรมชาติจะมีค่าบีโอดีในช่วง 500,000-600,000 ppm ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำแป้งสังเคราะห์มาใช้เช่น แป้งธรรมชาติดัดแปร (modified starch) มีค่าบีโอดีในช่วง 100,000-500,000 ppm และแป้งสังเคราะห์ เช่น polyvinyl alcohol (PVA) และ carboxy methyl cellulose (CMC) มีค่าบีโอดีในช่วง 10,000-30,000 ppm (C.Brent Smith, 1992) แป้งสังเคราะห์มีข้อดีกว่าแป้งธรรมชาติที่สามารถปรับใช้งานได้มากกว่า โดยเฉพาะใช้กับเส้นใยสังเคราะห์ เช่นพอลิเอไมด์,พอลิเอสเตอร์, อะคริลิก และพวกไมโครไฟเบอร์ ส่งผลต่อค่าบีโอดีในน้ำทิ้งต่ำกว่าแป้งธรรมชาติ และประการที่สำคัญ

คือแบ่งสังเคราะห์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของการลงแป้ง และ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่ แสดงในภาพที่ 2.6.2



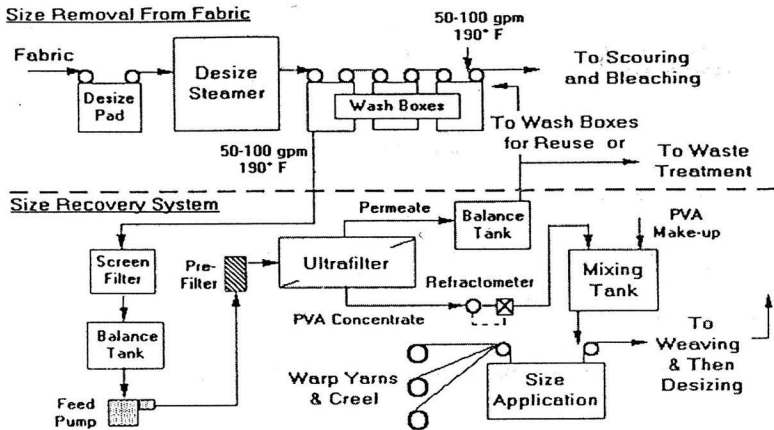
#### RECOVERY VALUE & SAVING

|                      |   |                                                                                                                     |    |                              |
|----------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|
| Hot Water            | = | $(190^{\circ} - 60^{\circ} \text{F}) \times 50 \text{ gpm} \times 8.34 \text{ lbs/gal} \times \$5/10^6 \text{ BTU}$ | =  | \$0.27/min                   |
| Process Water        | = | $50 \text{ gpm} \times \$1/1000 \text{ gal}$                                                                        | =  | \$0.05/min                   |
| Wastewater Treatment | = | $50 \text{ gpm} \times \$2/1000 \text{ gal}$                                                                        | =  | \$0.10/min                   |
| PVA (@\$1/lb)        | = | $50 \text{ gpm} \times \$80/1000 \text{ gal} (1\% \text{PVA})$                                                      | =  | \$4.00/min                   |
| Potential Value      | = | \$4.42/min                                                                                                          | or | \$5728/day with 90% recovery |

ภาพที่ 2.6.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่

ที่มา : A. Reife, H. S. Freeman. , 1996.

จากภาพที่ 2.6.2 แสดงให้เห็นว่าการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่ระบบ จะสามารถประหยัดได้มากกว่า 5,700\$ ต่อวัน เมื่ออัตราเร็วในการผลิตอยู่ที่ 100 หลาต่อนาที ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอมีแนวโน้มที่จะนำ PVA มาใช้มากขึ้นโดยเฉพาะในการทอแบบใช้ความเร็วสูง (high-speed weaving) ดังนั้นการนำระบบการกรองแบบ ultrafiltration และ automatic control จะเป็นส่วนที่สำคัญของการลอกแป้ง โดยแสดงได้ในภาพที่ 2.6.3



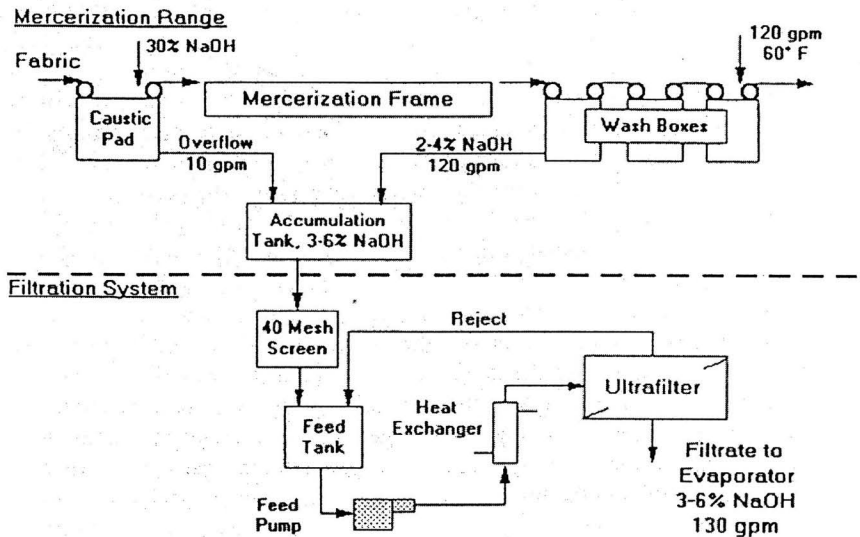
ภาพที่ 2.6.3 กระบวนการนำ PVA กลับมาใช้ใหม่

ที่มา : A. Reife, H. S. Freeman. , 1996.

จากภาพที่ 2.6.3 เมื่อมีการ PVA ในน้ำทิ้งจากการลอกแป้งกลับมาใช้ใหม่ พบว่าน้ำทิ้งจะสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกในขั้นตอนการล้าง ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำเสียที่จะนำไปบำบัดลงได้มากกว่า 60,000 แกลลอนต่อวัน (C. R. Hoffman, 1988)

## (2) การนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ซ้ำในขั้นตอนของการชุบมัน (mercerization)

การชุบมัน (mercerization) เป็นการนำวัสดุสิ่งทอจุ่มลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 15% จนถึง 26-30% ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อเพิ่มความเงามันให้กับเส้นใย เส้นใยมีความคงรูปคล้ายการบิดตัวเป็นเกลียว มีความแข็งแรงมากขึ้น ดูดซับสีย้อมได้ดี และทำให้ผ้ามีการคืนตัวจากรอยยับได้ดีขึ้น กระบวนการชุบมัน และการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่ด้วยการกรองแบบ ultrafiltration แสดงในภาพที่ 2.6.4



ภาพที่ 5: ระบบการกรองแบบ ultrafiltration เพื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่

ที่มา : A. Reife, H. S. Freeman. , 1996.

การนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยการระเหยเอาน้ำออกจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่กรองแล้ว (เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและเศษเส้นใยต่างๆ) จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ โดยต้นทุนในการระเหยจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของน้ำล้าง (mercerization rinse water) โดยมีจุดคุ้มทุนเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ออกจากอ่างล้างอยู่ในช่วง 2-4% และเมื่อนำไประเหยแล้วได้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 30-50 % ถ้าความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอ่างล้างต่ำกว่า 2% จะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจในการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่ และจำเป็นต้องนำไปบำบัด จากแผนภาพดังกล่าว J.L.Gaddis และคณะ(1988) รายงานว่าโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในปีครึ่ง และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วน of โซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ 1.5 ล้าน \$ ต่อปี นอกจากนี้โครงการยังมีประโยชน์คือลดปริมาณต่างในน้ำทิ้ง

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าทางเลือกในการใช้เทคโนโลยีสะอาดจะมีหลายทางเลือกได้แก่ การปรับปรุง/เปลี่ยนวัตถุดิบ การปรับปรุงเทคโนโลยี การใช้วิธีการจัดการที่เหมาะสม การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ตลอดจนจนถึงการใช้ซ้ำและการหมุนเวียน จากการทบทวนเอกสาร พบว่า การศึกษาการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำส่วนใหญ่จะนำน้ำล้าง หรือน้ำจากกระบวนการในแต่ละขั้นตอนมาปรับปรุงคุณภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ และยังไม่มีการศึกษากรณีที่นำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้วกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการที่เหมาะสม



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และ สารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- (1) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
- (2) เครื่องวัดค่าความขุ่น
- (3) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
- (4) เครื่องตกตะกอนสารละลาย (Jar Test)
- (5) ตู้อบ
- (6) อุปกรณ์วิเคราะห์ซีไอดี
- (7) อุปกรณ์วิเคราะห์บีไอดี

##### 3.1.2 สารเคมี

###### 3.1.2.1 สารเคมีวิเคราะห์ซีไอดี

- (1) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.0617 M)
- (2) กรดซัลฟิวริกและซีเวอร์ซัลเฟต
- (3) สารละลายมาตรฐานเฟรส์แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล
- (4) สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

###### 3.1.2.2 สารเคมีวิเคราะห์บีไอดี

- (1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
- (2) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
- (3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
- (4) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
- (5) สารละลายกรดและด่าง 1 N เพื่อใช้ในการปรับค่า pH ของตัวอย่างให้เป็นกลาง
- (6) สารละลายโซเดียมซัลเฟต
- (7) สารป้องกันการเกิดไนทริฟิเคชัน : 2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine

- (8) สารละลาย glucose-glutamic acid
- (9) สารละลาย manganous sulfate (DO#1)
- (10) สารละลาย alkali-iodide-azide (DO#2)
- (11) กรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น (DO#3)
- (12) น้ำแข็ง
- (13) สารละลายมาตรฐาน potassium bi-iodate (0.025N)
- (14) สารละลายมาตรฐาน sodium thiosulfate (0.025 N)

### 3.1.2.3 สารเคมีวิเคราะห์ความกระด้าง

- (1) เกลือไดโซเดียมของอีดีทีเอ
- (2) แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )
- (3) แอมโมเนียมคลอไรด์
- (4) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- (5) สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต
- (4) อิริโอโครมแบลคทีอินดิเคเตอร์

### 3.1.2.4 สารเคมีสำหรับการฟอก

- (1) สารควบคุมการแตกตัว (Sequin BLS)
- (2) โซเดียมไฮดรอกไซด์
- (3) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- (4) สารกำจัดสิ่งสกปรก (Unipal UNS conc.)

### 3.1.2.5 สารเคมีสำหรับการย้อม

- (1) สิริแอคทีฟ (Ambifix Red BF – 2B)
- (2) โซเดียมซัลเฟต
- (3) โซเดียมคาร์บอเนต
- (4) สารกำจัดสิ่งสกปรก (Unipal UNS conc.)

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบตกตะกอนด้วยสารเคมี และศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสี ซีไอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย และความขุ่น

(1) ทดลองจาร์เจสต์กับตัวอย่างน้ำโดยแปรผันสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ให้ค่าการกำจัดสีสูงที่สุด

(2) นำสารที่ได้จากการทดลองในข้อ (1) แปรผันปริมาณที่ใช้เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารที่กำจัดสีได้มากที่สุด

(3) นำสารเคมีแต่ละชนิดในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ (2) ทดลองกับน้ำเสียเป็นเวลา 5 สัปดาห์โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสี เมื่อลักษณะของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการผลิตของโรงงาน

(4) เลือกชนิดของสารเคมีที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ดีที่สุด เป็นสารตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

(5) เก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรวมรวมน้ำเสีย บ่อตกตะกอน บ่อเติมอากาศ และสระน้ำของโรงงาน นำมาวิเคราะห์ค่า pH ปริมาณของแข็ง ความขุ่น ความนำไฟฟ้า บีไอดี และซีไอดี โดยผลการทดลองที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

(6) นำค่าเฉลี่ยทางสถิติของสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดในแต่ละจุดมาเปรียบเทียบสมบัติ กับน้ำใช้ของโรงงาน เพื่อพิจารณาการนำมาใช้ใหม่

#### 3.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำ

(1) ศึกษาประเภทและลักษณะของการใช้น้ำในโรงงาน

(2) ศึกษาคุณภาพของน้ำใช้ของโรงงาน

(3) เปรียบเทียบสมบัติของน้ำใช้ของโรงงานกับน้ำที่ผ่านการบำบัด

3.2.3 ศึกษาแนวทางในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ในกระบวนการที่เหมาะสม

3.2.3.1 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการกระบวนการฟอก

นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มาใช้ในกระบวนการฟอก โดยแบ่งการทดลองเป็น 7 สิ่งทดลอง (treatment) ดังนี้

| treatment | Scouring + bleaching                   | Washing 1                              | Washing 2                              |
|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 |
| 2         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                |
| 3         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 4         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย |
| 5         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                |
| 6         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 7         | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |

วิธีทดลอง

- (1) ตัดผ้าฝ้ายถักดิบหนัก 5 กรัม
- (2) เตรียมสารละลายสำหรับใช้ในกระบวนการฟอก
  - อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการย้อมต่อน้ำหนักผ้า 30 : 1
  - Sequin BLS 1 ml / L
  - โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % 4 ml / L
  - ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 % 12 ml / L
  - Unipal UNS conc. 1 g / L
- (3) ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของ สารละลายให้อยู่ในช่วง 10.5
- (4) นำสารละลายและผ้าไปให้ความร้อนที่ 98 ° C ใช้เวลา 30 นาที
- (5) นำผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการฟอกล้างด้วยน้ำร้อน แล้วตามด้วยล้างน้ำเย็น นำไปตากแห้ง
- (6) นำผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการฟอก ทั้ง 7 สิ่งทดลอง มาเปรียบเทียบค่าความขาว

### 3.2.3.3 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในการกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ

นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มาใช้ในการกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอคทีฟ โดยแบ่งการทดลองเป็น 7 สิ่งทดลอง (treatment) ดังนี้

| treatment | กระบวนการ                          |                                    |                                    |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|           | น้ำที่ใช้ย้อม                      | Wash 1 ( hot water )               | Wash ( cold water )                |
| 1         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             |
| 2         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             | น้ำกรอง                            |
| 3         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด             | น้ำกรอง                            | น้ำกรอง                            |
| 4         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย |
| 5         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย | น้ำกรอง                            |
| 6         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมากรองทราย | น้ำกรอง                            | น้ำกรอง                            |
| 7         | น้ำกรอง                            | น้ำกรอง                            | น้ำกรอง                            |

#### วิธีการทดลอง

(1) ตัดผ้าฝ้ายถักดิบหนัก 10 กรัม

(2) เตรียมสารละลายสำหรับใช้ในการกระบวนการย้อม

อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการย้อมต่อน้ำหนักผ้า 20 : 1

สีรีแอคทีฟ (Ambifix Red BF – 2B) 2 %

โซเดียมซัลเฟต 40 g / L

โซเดียมคาร์บอเนต 20 g / L

Sequin BLS 1 ml / L

Unipal UNS conc. 0.5 g / L

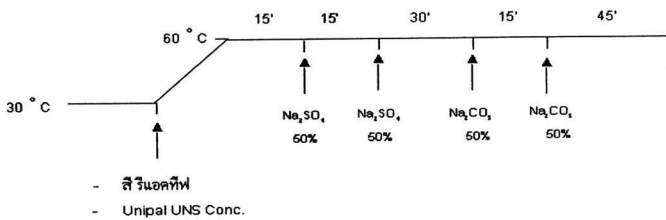
(3) นำสารละลายของ Unipal UNS conc. 0.5 g / L สีรีแอคทีฟ และผ้าไปให้ความร้อนที่ 30 °C

(4) ให้ความร้อนจนอุณหภูมิของสารละลายสูง 60 °C นาน 15 นาที ค่อยๆเติม โซเดียมซัลเฟต 20 g / L ให้ความร้อนต่ออีก 15 นาที เติมโซเดียมซัลเฟต อีก 20 g / L

(5) ให้ความร้อนของสารละลายคงที่  $60^{\circ}\text{C}$  นาน 30 นาที ค่อยๆเติม โซเดียมคาร์บอเนต  $20\text{ g/L}$  ให้ความร้อนต่ออีก 15 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนต อีก  $20\text{ g/L}$  แล้วให้ความร้อนต่ออีก 45 นาที

(6) เมื่อครบกำหนดเวลา นำผ้าออกมาล้างด้วยน้ำร้อน และตามด้วยน้ำเย็นตามลำดับ และ ล้างด้วยน้ำไหล

(7) soap ด้วยน้ำประปา ที่อุณหภูมิ  $98^{\circ}\text{C}$  นาน 5 นาที แล้วล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำเย็นตามลำดับ



ภาพที่ 3.2.1 ขั้นตอนการผ้าฝ้ายถักด้วยสัรินอคทีฟ

### 3.2.4 การวิเคราะห์และทดสอบ

#### 3.2.4.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

สำหรับวิธีวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำ แสดงในตารางที่ 3.2.1

ตารางที่ 3.2.1 วิธีวิเคราะห์ค่าต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ (มันลิน, 2541)

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์                                   |
|-------------|-------------------------------------------------|
| บีโอดี      | Azide Modification Method                       |
| พีเอช       | Electronic pH Meter with Glass Electrode Method |
| ซีโอดี      | Dichromate Open Reflux Method                   |
| ค่าความขุ่น | Naphelometric Method                            |
| สี          | Spectrophotometer Methods                       |
| ความกระด้าง | Titration                                       |

### 3.2.4.2 การทดสอบสมบัติของผ้า

นำผ้าที่ผ่านการทดลองใน 7 สิ่งทดลอง มาทดสอบสมบัติดังนี้

(1) ทดสอบความขาว ด้วยเครื่อง spectrophotometer ภายใต้มาตรฐาน  $10^\circ$  Illuminant

$D_{65}$

(2) ทดสอบค่าความแตกต่างของสี(color difference, DE) ด้วยเครื่อง

spectrophotometer วัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $DL^*$ ,  $Da^*$  และ  $Db^*$  เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า DE จากสูตร

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

### 3.2.5 การนำเสนอข้อมูล

ข้อมูลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำในแต่ละวัน นำมาหาค่าเฉลี่ยที่ค่าความเชื่อมั่น 95% รวมทั้งข้อมูลการทดสอบค่าความขาวหลังการฟอก และความแตกต่างของสีหลังการย้อม ซึ่งเป็นข้อมูลดิบ และนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ analysis of variance เพื่อหา F-value นำเสนอไว้ในภาคผนวก ซึ่งเป็น การทดลองแบบสุ่มตลอดที่มีมากกว่า 2 ทรีทเมนต์

ตารางที่ 3.2.2 วิเคราะห์วาเรียนซ์เมื่อมีจำนวนค่าสังเกตเท่ากัน

| Sources of Variation | df     | SS                                                        | Mean Square        | F           |
|----------------------|--------|-----------------------------------------------------------|--------------------|-------------|
| Treatment(T)         | a-1    | $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^a Y_i^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$     | $MS_T = SS_T/df_T$ | $MS_T/MS_E$ |
| Error                | a(n-1) | total - treatment                                         | $MS_E = SS_E/df_E$ |             |
| total                | an-1   | $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$ |                    |             |

เมื่อ  $Y_{ij}$  = เป็นค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i ;  $Y_{i..}$  = เป็นผลรวมของทรีทเมนต์ที่ i

i = จำนวน treatment (1,2,...a) ; j = จำนวนซ้ำในแต่ละทรีทเมนต์(1,2,...n)

N = aXn

| treatment | obser.   |          |          |          |       |          | Sum      |                  | Mean |
|-----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|------------------|------|
|           | 1        | 2        | 3        | 4        | . . . | n        | $Y_{i.}$ | $(Y_{i.}^2)_{.}$ |      |
| 1         | $Y_{11}$ | $Y_{12}$ | $Y_{13}$ | $Y_{14}$ | . . . | $Y_{1n}$ | $Y_{1.}$ |                  |      |
| 2         | $Y_{21}$ | $Y_{22}$ | $Y_{23}$ | $Y_{24}$ | . . . | $Y_{2n}$ | $Y_{2.}$ |                  |      |
| 3         | $Y_{31}$ | $Y_{32}$ | $Y_{33}$ | $Y_{34}$ | . . . | $Y_{3n}$ | $Y_{3.}$ |                  |      |
| 4         | $Y_{41}$ | $Y_{42}$ | $Y_{43}$ | $Y_{44}$ | . . . | $Y_{4n}$ | $Y_{4.}$ |                  |      |
| .         | .        | .        | .        | .        | . . . | .        |          |                  |      |
| .         | .        | .        | .        | .        | . . . | .        |          |                  |      |
| a         | $Y_{a1}$ | $Y_{a2}$ | $Y_{a3}$ | $Y_{a4}$ | . . . | $Y_{an}$ | $Y_{a.}$ |                  |      |
|           |          |          |          |          |       |          | $Y_{..}$ |                  |      |

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{total}} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} \\
 &= \left( Y_{11}^2 + Y_{12}^2 + \dots + Y_{1n}^2 + Y_{21}^2 + Y_{22}^2 + \dots + Y_{2n}^2 + \dots + Y_{a1}^2 + Y_{a2}^2 + \dots + Y_{an}^2 \right) \\
 &\quad - \frac{\left( Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n} + Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n} + \dots + Y_{a1} + Y_{a2} + \dots + Y_{an} \right)^2}{N} \\
 SS_T &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a Y_{i.}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} \\
 &= \frac{1}{n} \left[ (Y_{1.})^2 + (Y_{2.})^2 + (Y_{3.})^2 + (Y_{4.})^2 + \dots + (Y_{n.})^2 \right] \\
 &\quad - \frac{\left( Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n} + Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n} + \dots + Y_{a1} + Y_{a2} + \dots + Y_{an} \right)^2}{N}
 \end{aligned}$$

$$SS_E = SS_{\text{total}} - SS_T$$

### การเปรียบเทียบคู่มีขณิคมของ treatment

สมมติว่าถ้าสนใจที่จะเปรียบเทียบทุกคู่ a ของมีขณิคมของระดับ และสมมติฐานหลักที่ต้องการจะทดสอบคือ  $H_0: \mu_i = \mu_j$  สำหรับทุก  $i \neq j$  สามารถใช้วิธีของ LSD สำหรับเปรียบเทียบ โดยใช้สมการ

$$LSD = t_{(\alpha/2), N-a} \left( \sqrt{\frac{2MS_E}{n}} \right)$$

โดยวิธีของ LSD สำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสังเกตระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ ถ้า

$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > LSD$  จะสรุปว่า มีขณิคมของประชากร  $\mu_i$  และ  $\mu_j$  แตกต่างกัน



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

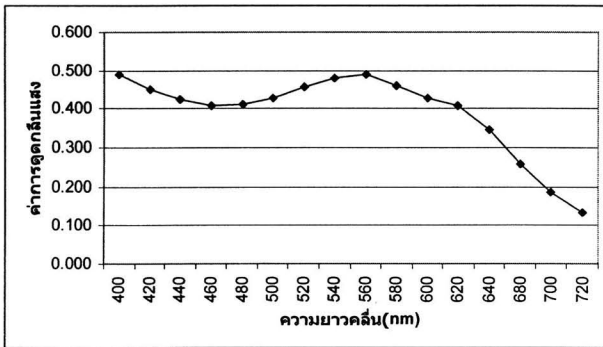
#### 4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียโรงงานน้ำตาลพิมพ์ย้อม โดยใช้สารตกตะกอนชนิดต่างๆ

ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารตกตะกอน ใช้สารตกตะกอนดังนี้ เฟอรัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ), สารส้ม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), และใช้ปูนขาวเป็นสารช่วยตกตะกอน โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารตกตะกอน

##### 4.1.1 การหาประสิทธิภาพการกำจัดสี

การหาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสีย ทำได้โดยหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสีย ที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดเป็นค่า  $A_0$  และวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังการใช้สารตกตะกอนเป็น  $A_1$  แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยใช้สมการที่ 4.1

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100 \quad (4.1)$$



ภาพที่ 4.1.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสีย

ผลจากการหาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสีย จากภาพที่ 4.1.1 พบว่าค่าความยาวคลื่นที่น้ำเสีย ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดคือ 560 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.490

##### 4.1.2 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของอลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ )

เตรียมสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 ทดลองกับตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร แปรผันปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) เข้มข้นร้อยละ 10 ในการกำจัดสี

| ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต<br>เข้มข้นร้อยละ 10 (ml) | ค่าความขุ่น<br>( NTU ) | pH   | ประสิทธิภาพการกำจัดสี<br>( % ) |
|-------------------------------------------------|------------------------|------|--------------------------------|
| 2.0                                             | 129                    | 8.22 | 30.00                          |
| 4.0                                             | 5                      | 7.68 | 37.35                          |
| 6.0                                             | 8                      | 6.94 | 48.57                          |
| 8.0                                             | 12                     | 5.97 | 62.65                          |
| 9.0                                             | 8                      | 4.92 | 72.04                          |
| 9.5                                             | 20                     | 5.06 | 68.57                          |
| 10.0                                            | 15                     | 5.06 | 70.20                          |
| 10.5                                            | 66                     | 4.69 | 63.88                          |
| 11.0                                            | 74                     | 4.68 | 61.43                          |
| 12.0                                            | 186                    | 4.61 | 34.29                          |

ผลการทดลอง พบว่าใช้อลูมิเนียมซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 250 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากที่สุด คือ ประสิทธิภาพร้อยละ 72.04 และปริมาณของอลูมิเนียมซัลเฟต มีผลต่อค่า pH ของน้ำเสีย โดยปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟต มากขึ้น ทำให้ค่า pH ของน้ำเสียจะลดลง เนื่องจากอลูมิเนียมซัลเฟต เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวดังนี้ (ณรงค์, 2540)



จากสมการจะเห็นได้ว่าน้ำจะแตกตัวให้  $\text{OH}^-$  ออกมาและทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ความเป็นกรดของน้ำเพิ่มขึ้น

#### 4.1.3 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ )

เตรียมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 ทดลองกับตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร แปรผันปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 ปริมาณเฟอร์ริสซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ในการกำจัดสี

| ปริมาณเฟอร์ริสซัลเฟต<br>เข้มข้นร้อยละ 10 (ml) | ค่าความขุ่น<br>( NTU ) | pH   | ประสิทธิภาพการกำจัดสี<br>(%) |
|-----------------------------------------------|------------------------|------|------------------------------|
| 1.0                                           | 140                    | 9.25 | 42.45                        |
| 1.5                                           | 970                    | 8.91 | 63.06                        |
| 2.0                                           | 193                    | 8.27 | 17.14                        |
| 2.5                                           | 261                    | 8.06 | 23.88                        |
| 3.0                                           | 100                    | 7.42 | 40.61                        |
| 4.0                                           | 167                    | 7.03 | 0.00                         |
| 6.0                                           | 900                    | 6.79 | 0.00                         |
| 8.0                                           | 857                    | 6.73 | 0.00                         |
| 10.0                                          | 999                    | 6.66 | 0.00                         |

ผลการทดลองพบว่าใช้เฟอร์ริสซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 250 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดคือร้อยละ 63.06 และปริมาณของเฟอร์ริสซัลเฟตมีผลทำให้ค่า pH ของน้ำเสียลดลง และมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเฟอร์ริสซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำ (ณรงค์,2540)

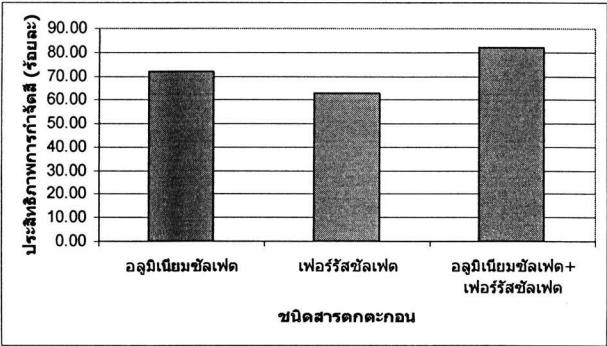
#### 4.1.4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้สารตกตะกอนร่วมกัน 2 ชนิด

##### 4.1.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับเฟอร์ริสซัลเฟต

ศึกษาผลของการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับเฟอร์ริสซัลเฟต โดยใช้เฟอร์ริสซัลเฟต เข้มข้น ร้อยละ 10 ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ทดลองกับตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร แปรผันปริมาณที่อลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1.3 และภาพที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.3 ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ร่วมกับ เฟอร์รัสซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร

| ปริมาณสารที่ใช้ (ml) |                | ค่าความขุ่น<br>(NTU) | pH   | ประสิทธิภาพ<br>การกำจัดสี (ร้อยละ) |
|----------------------|----------------|----------------------|------|------------------------------------|
| อลูมิเนียมซัลเฟต     | เฟอร์รัสซัลเฟต |                      |      |                                    |
| 1.0                  | 1.5            | 476                  | 7.16 | 0                                  |
| 3.0                  | 1.5            | 388                  | 6.68 | 0                                  |
| 4.0                  | 1.5            | 250                  | 6.46 | 0                                  |
| 5.0                  | 1.5            | 99                   | 6.25 | 42.45                              |
| 7.0                  | 1.5            | 10                   | 5.65 | 76.53                              |
| 7.5                  | 1.5            | 4.5                  | 5.45 | 80.82                              |
| 8.0                  | 1.5            | 6.5                  | 5.25 | 81.02                              |
| 8.5                  | 1.5            | 5.9                  | 5.06 | 82.04                              |
| 9.0                  | 1.5            | 170                  | 4.90 | 78.98                              |
| 9.5                  | 1.5            | 24.6                 | 4.73 | 78.37                              |
| 10.0                 | 1.5            | 8.6                  | 4.82 | 81.22                              |
| 12.0                 | 1.5            | 165                  | 4.54 | 75.00                              |



ภาพที่ 4.1.2 ประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต

ผลการทดลองพบว่าใช้สารตกตะกอนสองชนิดทำงานร่วมกันให้ประสิทธิภาพกำจัดสีสูงกว่าการใช้สารตกตะกอนเพียงชนิดเดียว โดยอลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 8.5 มิลลิลิตร

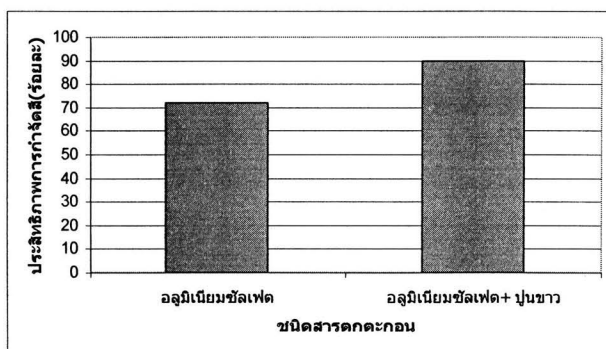
ร่วมกับเฟอร์ริตัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 250 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากที่สุด คือร้อยละ 82.24

#### 4.1.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับปูนขาว

ศึกษาผลของการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับปูนขาว โดยใช้อลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 8.5 มิลลิลิตร ทดลองกับตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร แปรผันปริมาณปูนขาวเข้มข้นร้อยละ 10 ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1.4 และภาพที่ 4.1.3

ตารางที่ 4.1.4 ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 ร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 8.5 มิลลิลิตร

| ปริมาณสารที่ใช้ (ml) |        | ค่าความขุ่น<br>( NTU ) | pH   | ประสิทธิภาพ<br>การกำจัดสี (%) |
|----------------------|--------|------------------------|------|-------------------------------|
| อลูมิเนียมซัลเฟต     | ปูนขาว |                        |      |                               |
| 8.5                  | 0.5    | 80                     | 5.08 | 89.74                         |
| 8.5                  | 1.0    | 60                     | 5.16 | 89.66                         |
| 8.5                  | 1.5    | 50                     | 5.21 | 89.50                         |
| 8.5                  | 2.0    | 20                     | 5.21 | 86.87                         |
| 8.5                  | 3.0    | 790                    | 6.56 | 82.26                         |
| 8.5                  | 5.0    | 220                    | 7.09 | 81.70                         |



ภาพที่ 4.1.3 ประสิทธิภาพการใช้อลูมิเนียมซัลเฟตร่วมกับปูนขาว

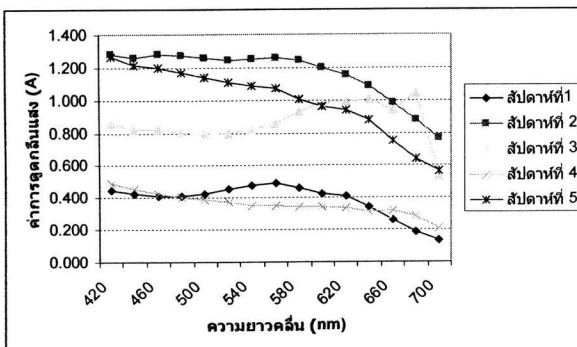
ผลการทดลองพบว่าใช้สารตกตะกอนสองชนิดทำงานร่วมกัน ให้ประสิทธิภาพกำจัดสีสูงกว่าการใช้สารตกตะกอนเพียงชนิดเดียว โดยอลูมิเนียมซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 8.5 มิลลิลิตร ร่วมกับปูนขาวเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสีย 250 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากที่สุดคือร้อยละ 89.74 และปริมาณของปูนขาวที่ใช้มีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอช และประสิทธิภาพการกำจัดสีที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมซัลเฟต กับปูนขาว ดังนี้



จะเห็นได้ว่าในกรณีใช้อลูมิเนียมซัลเฟต จะทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดต่ำลง เนื่องจากน้ำจะแตกตัวให้  $\text{OH}^-$  ออกมา และทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมซัลเฟต ทำให้ความเป็นด่างในน้ำลดลงจนกระทั่งไม่มี  $\text{OH}^-$  พอที่จะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมซัลเฟต จนกระทั่งโคแอกกูเลชันเกิดได้ไม่ดี ปูนขาวจะช่วยในการปรับค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีขึ้น และหากใช้ปูนขาวในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง และน้ำทิ้งมีความขุ่นเพิ่มขึ้น

#### 4.1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตกตะกอน

จากการทดลองเมื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม, เฟอร์ริสซัลเฟต, เฟอร์ริสซัลเฟตร่วมกับสารส้ม, และสารส้มร่วมกับปูนขาว เพื่อที่จะศึกษาว่าสารตกตะกอนใดสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อลักษณะของน้ำเสียแตกต่างกัน โดยนำสารตกตะกอนดังกล่าวทดลองกับน้ำเสียเป็นเวลา 5 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียสัปดาห์ละครั้ง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมของแต่ละวัน ได้ผลการทดลองตามภาพที่ 4.1.4 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารตกตะกอนดังกล่าวได้ผลตามตารางที่ 4.1.5



ภาพที่ 4.1.4 ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละสัปดาห์

จากการวัดค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของน้ำเสียพบว่าในแต่ละสัปดาห์ ค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงของน้ำเสียได้มากที่สุดมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะของน้ำเสียในแต่ละสัปดาห์จะแตกต่างกันขึ้นกับกระบวนการผลิตของโรงงาน

ตารางที่ 4.1.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารตกตะกอนแต่ละประเภท

| ปริมาณ<br>น้ำเสีย | สารตกตะกอน              |                       |               | ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%) |       |       |       |       |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   | อลูมิเนียม<br>ซัลเฟต10% | เฟอร์รัส<br>ซัลเฟต10% | ปูนขาว<br>10% | สัปดาห์ที่                |       |       |       |       |
| (ml)              | (ml)                    | (ml)                  | (ml)          | 1                         | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 250               | 8.50                    | -                     | -             | 72.24                     | 90.53 | 93.12 | 88.32 | 78.00 |
|                   | -                       | 1.50                  | -             | 63.06                     | 0.00  | 34.80 | 0.00  | 0.00  |
|                   | 8.50                    | 1.50                  | -             | 82.04                     | 80.11 | 93.21 | 88.14 | 79.77 |
|                   | 8.50                    | -                     | 0.50          | 73.67                     | 80.99 | 83.84 | 79.89 | 67.00 |

จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารส้มร่วมกับเฟอร์รัสซัลเฟต ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุด และสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าสมบัติของน้ำเสียแตกต่างกันไปในแต่ละสัปดาห์

4.2 ระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงานธนากุลพิมพ์ย้อม

จากผลการใช้สารตกตะกอนแต่ละชนิด จะเลือกใช้ในการกำจัดสีโดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟต โดยเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในขั้นตอนการกวนเร็ว และเติมอลูมิเนียมซัลเฟตในขั้นตอนการกวนช้า หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนในบ่อตกตะกอนแล้วตามด้วยระบบเติมอากาศ ก่อนปล่อยออกสู่น้ำของโรงงาน แผนผังของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแสดงในภาพที่ 4.2.1

#### 4.2.1 การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้

##### 4.2.1.1 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต

สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 10%w/v ประกอบด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต 10 กรัมละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นเฟอร์รัสซัลเฟต 10\%w/v จำนวน 1 มิลลิลิตร คิดเป็น FeSO}_4 \text{ (ของแข็ง)} &= 10 / 100 \text{ กรัม} \\ &= 0.10 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\text{น้ำเสียที่ใช้ทดลอง 250 มิลลิลิตร ใช้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 10\%w/v} = 1.5 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned}\text{น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 10\%w/v} &= \frac{1.5}{250} \times 1000 \\ &= 6 \text{ มิลลิลิตร} \\ &= 6 \times 0.1 \text{ กรัม} \\ &= 0.6 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ &= 0.6 \text{ กิโลกรัมต่อลบ.ม.}\end{aligned}$$

##### 4.2.1.2 ปริมาณอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม

สารละลายสารส้ม 10%w/v ประกอบด้วยสารส้ม 10 กรัมละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร

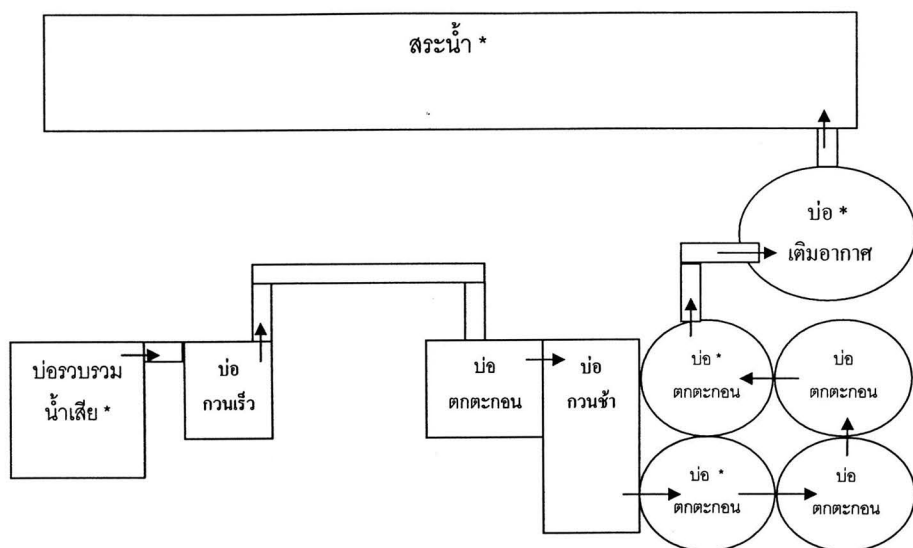
$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นสารส้ม 10\%w/v จำนวน 1 มิลลิลิตร คิดเป็น Al}_2\text{(SO}_4\text{)}_3 \text{ (ของแข็ง)} &= 10 / 100 \text{ กรัม} \\ &= 0.10 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\text{น้ำเสียที่ใช้ทดลอง 250 มิลลิลิตร ใช้สารละลายสารส้ม 10\%w/v} = 8.5 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned}\text{น้ำเสีย 1000 มิลลิลิตร ใช้สารละลายสารส้ม 10\%w/v} &= \frac{8.5}{250} \times 1000 \\ &= 34 \text{ มิลลิลิตร} \\ &= 34 \times 0.1 \text{ กรัม} \\ &= 3.4 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ &= 3.4 \text{ กิโลกรัมต่อลบ.ม.}\end{aligned}$$

ดังนั้นใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ปริมาณ 0.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร่วมกับสารส้ม 3.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเติมเฟอร์รัสซัลเฟตในขั้นตอนการกวนเร็ว และเติมสารส้มในขั้นตอนการกวนช้า





ภาพที่ 4.2.1 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานธนากุลฟิมพ์ย้อม

\* เป็นจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์

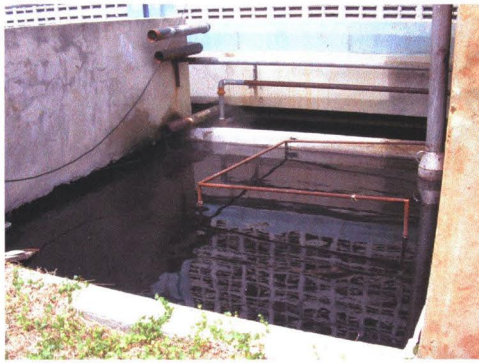
จุดที่ 0 เป็นบ่อรวบรวมน้ำเสีย

จุดที่ 1 เป็นบ่อตกตะกอนที่ต่อกับบ่อกวนช้า

จุดที่ 2 เป็นบ่อตกตะกอนก่อนเข้าสู่บ่อเดิมอากาศ

จุดที่ 3 เป็นบ่อเดิมอากาศ

จุดที่ 4 เป็นสระน้ำของโรงงาน



ภาพที่ 4.2.2 บ่อรวบรวมน้ำเสีย



ภาพที่ 4.2.3 ถังกวนเร็ว



ภาพที่ 4.2.4 บ่อกวนช้า



ภาพที่ 4.2.5 บ่อดกตะกอน



ภาพที่ 4.2.6 บ่อเติมอากาศ



ภาพที่ 4.2.7 สระน้ำของโรงงาน

### 4.3 สมบัติของน้ำในแต่ละบ่อบำบัด

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียในจุดที่ 0,1,2,3, และ 4 ตามแผนผังในภาพที่ 4.2.1 วิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น ความนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ ซีไอดี และบีไอดี โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 35 วัน ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในภาคผนวก ก ค่าที่ได้ นำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย} = \bar{X}_i - \left[ \frac{z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \right] \leq \mu_i \leq \bar{X}_i + \left[ \frac{z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \right]$$

โดย  $n_i$  = จำนวนตัวอย่าง

$z_{\frac{\alpha}{2}}$  = ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น  $\alpha/2$

$z_{\alpha}$  = ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น  $\alpha$

$(1 - \frac{\alpha}{2}) 100\%$  = ช่วงความเชื่อมั่น[สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

หรือ  $(1 - \alpha) 100\%$  = ช่วงความเชื่อมั่น[สำหรับขอบเขตเดียว(ขอบเขตล่างหรือขอบเขตบน)]

$\bar{X}_i$  = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง =  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

$s_i$  = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

$$= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}$$

จากสูตรคำนวณได้ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของน้ำในแต่ละบ่อตามตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 ลักษณะของน้ำเสียในแต่ละหน่วยบำบัดของโรงงาน

| พารามิเตอร์              | ตัวอย่างน้ำเสีย |         |         |         |          | ค่ามาตรฐาน       |
|--------------------------|-----------------|---------|---------|---------|----------|------------------|
|                          | บ่อ<br>รวมรวม   | บ่อ 1   | บ่อ 2   | บ่อ 3   | บ่อ 4    |                  |
| พีเอช                    | 9.26            | 7.90    | 8.24    | 8.42    | 7.91     | 5.50 – 9.00      |
| ความขุ่น (NTU)           | 111.58          | 185.44  | 192.67  | 33.51   | 7.31     | -                |
| ความนำไฟฟ้า<br>(ms)      | 5.92            | 9.87    | 9.96    | 9.98    | 17.90    | -                |
| ของแข็งแขวนลอย<br>(mg/L) | 461.36          | 689.71  | 249.07  | 225.27  | 348.43   | 50.00 – 150.00   |
| ของแข็งละลาย<br>(mg/L)   | 6007.93         | 6632.13 | 6933.36 | 7609.36 | 17097.43 | 300.00 – 5000.00 |
| ของแข็งทั้งหมด<br>(mg/L) | 6429.29         | 6995.86 | 7182.43 | 7291.79 | 17445.86 | -                |
| บีโอดี(mg/L)             | 574.66          | 102.56  | 191.92  | 36.78   | 16.28    | 20.00 – 60.00    |
| ซีโอดี (mg/L)            | 2488.89         | 534.44  | 431.63  | 238.09  | 80.24    | 120.00 – 400.00  |

ผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบ่อ 4 (สระน้ำของโรงงาน) มีค่าพีเอช ความขุ่น บีโอดี และซีโอดี ต่ำที่สุด แต่มีค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลาย และปริมาณของแข็งทั้งหมด สูงมาก เนื่องจากบ่อสระน้ำของโรงงาน มีทางระบายน้ำสู่คลองสาธารณะ และมีสมบัติเป็นน้ำกร่อยขึ้น ลงตามระดับน้ำทะเล ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อที่ 3 (บ่อเติมอากาศ) มีค่าพีเอช ความขุ่น บีโอดี และซีโอดีสูงกว่าบ่อที่ 4 เล็กน้อย แต่ค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลาย และปริมาณของแข็งทั้งหมด ต่ำกว่าบ่อที่ 4 มาก

#### 4.4 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำกรองและน้ำฝนของโรงงาน

##### 4.4.1 ความกระด้างของน้ำ

วิเคราะห์ค่าความกระด้างของน้ำจากบ่อที่ 3 (บ่อเติมอากาศ) ,บ่อที่ 4 (สระน้ำของโรงงาน), น้ำกรอง และ น้ำฝน ของโรงงานธนากุล ได้ผลดังตารางที่ 4.4.1

ตารางที่ 4.4.1 ความกระด้างของน้ำจากบ่อที่ 3, บ่อที่ 4, น้ำกรอง และน้ำฝนของโรงงานธนากุล

| แหล่งน้ำ    | ค่าความกระด้างของน้ำ<br>(mg/L as CaCO <sub>3</sub> ) |
|-------------|------------------------------------------------------|
| น้ำบ่อที่ 3 | 1158.2574                                            |
| น้ำบ่อที่ 4 | 2265.8118                                            |
| น้ำกรอง     | 33.0177                                              |
| น้ำฝน       | 45.236                                               |

จากการวิเคราะห์ค่าความกระด้างของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเสียบ่อที่ 3, บ่อที่ 4, น้ำกรอง และน้ำฝนของโรงงาน พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียมาแล้ว มีค่าความกระด้างของน้ำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกรองและน้ำฝนซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในระบบปกติของโรงงาน และยังมีค่าสูงกว่าค่าความกระด้างที่สามารถยอมรับได้ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.1.3 และเมื่อเปรียบเทียบน้ำจากบ่อที่ 3 และ 4 พบว่า น้ำจากบ่อที่ 3 มีค่าความกระด้างต่ำกว่าน้ำจากบ่อที่ 4 ความกระด้างของน้ำที่เพิ่มขึ้นในบ่อที่ 4 มีสาเหตุจากการที่น้ำในบ่อ 4 ได้รับอิทธิพลจากน้ำกร่อย ซึ่งทำให้มีปริมาณของโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความกระด้างของน้ำประกอบกับผลจากตารางที่ 4.3.1 น้ำบ่อที่ 3 มีค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลาย และปริมาณของแข็งทั้งหมด ต่ำกว่าบ่อที่ 4 มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อที่ 3 (บ่อเติมอากาศ) กลับไปใช้ใหม่

#### 4.4.2 สมบัติของน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการฟอกและย้อม

เปรียบเทียบสมบัติของน้ำ ระหว่างน้ำบ่อที่ 3, น้ำบ่อ 3 ที่ผ่านชั้นกรองทราย, น้ำกรองผ่านเรซินของโรงงาน และน้ำกรองเรซินของสาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ โดยวัดค่าพีเอช, ค่าความนำไฟฟ้า, ค่าความขุ่น และค่าความกระด้างของน้ำ ได้ผลดังตารางที่ 4.4.2

ตารางที่ 4.4.2 สมบัติของน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการฟอกและย้อม

| พารามิเตอร์                                 | น้ำบ่อที่ 3 | น้ำบ่อที่ 3<br>ผ่านชั้นกรองทราย | น้ำกรองเรซิน<br>ของโรงงาน | น้ำกรองเรซิน<br>ของสาขาวิชา |
|---------------------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| พีเอช                                       | 8.41        | 8.5                             | 7.14                      | 6.62                        |
| ความขุ่น (NTU)                              | 26.83       | 25.7                            | 0.01                      | 0.10                        |
| ความนำไฟฟ้า                                 | 13.33 (ms)  | 12.93 (ms)                      | 2.68 (us)                 | 5.16 (us)                   |
| ความกระด้าง<br>(mg/L as CaCO <sub>3</sub> ) | 1158.257    | 1074.762                        | 25.4027                   | 5.820                       |

จากการศึกษาลักษณะของน้ำใช้เบื้องต้นก่อนนำน้ำมาใช้ในการบวนการฟอก และย่อมพบว่า น้ำกรองเรซินของโรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตตามปกติ มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำกรองเรซินของสาขาวิชา ดังนั้นในการทดลองจึงใช้น้ำกรองของสาขาวิชาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ส่วนน้ำบ่อที่ 3 เมื่อนำมาผ่านชั้นกรองทรายจะมีค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความกระด้าง ลดลงเล็กน้อย

4.5 ความขาวของผ้าฝ้ายดก (whiteness) ที่ผ่านการฟอกโดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด

ฟอกผ้าฝ้ายดกด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อที่ 3 และน้ำจากบ่อที่ 3 ผ่านชั้นกรองทราย และ น้ำกรองเรซิน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 7 treatment ดังนี้

| treatment | Scouring + bleaching                   | Washing 1                              | Washing 2                              |
|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 |
| 2         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                |
| 3         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 4         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย |
| 5         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                |
| 6         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 7         | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |

นำผ้าฝ้ายดกที่ผ่านกระบวนการฟอกจากการทดลองทั้ง 7 treatment โดยแต่ละ treatment ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ และสมบัติน้ำในการฟอกของแต่ละสัปดาห์แตกต่างกัน วัดค่าความขาวโดยใช้เครื่อง spectrophotometer ภายใต้มาตรฐาน 10° Illuminant D<sub>65</sub> ค่าที่ได้ นำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้สูตรคำนวณของการทดลองแบบสุ่มตลอดที่มี มากกว่า 2 treatment

ตารางที่ 4.4.3 ค่าเฉลี่ยความขาวของผ้าที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำแตกต่างกัน 7 treatment

| treatment | ค่าความขาว |       |       |
|-----------|------------|-------|-------|
|           | 1          | 2     | 3     |
| 1         | 56.49      | 52.11 | 48.06 |
| 2         | 64.50      | 61.81 | 60.27 |
| 3         | 67.63      | 63.08 | 64.78 |
| 4         | 64.73      | 56.75 | 53.72 |
| 5         | 63.69      | 63.42 | 61.92 |
| 6         | 66.30      | 65.65 | 64.45 |
| 7         | 73.73      | 67.48 | 72.37 |

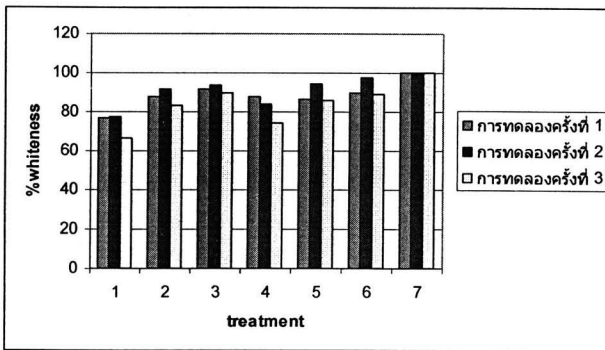
จากผลการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ซ้ำในกระบวนการฟอก เมื่อเปรียบเทียบค่าความขาวของผ้าหลังการฟอก พบว่า การนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการฟอกมีผลทำให้ค่าความขาวของผ้ามีสีขาวยากออกไปทางเหลืองมากขึ้น เนื่องจากค่ามาตรฐาน  $10^6$  Illuminant  $D_{65}$  กำหนดว่าค่าความขาวที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 100 แสดงว่ามีสีขาวยังไปทางเหลือง และการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในขั้นตอนที่ต่างกันของกระบวนการฟอก จะมีผลต่อค่าความขาวของผ้าแตกต่างกัน โดยการใช้น้ำซ้ำเฉพาะขั้นตอนการฟอก ส่วนการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกรอง จะให้ผ้าที่มีความขาวมากกว่าการใช้น้ำซ้ำในทุกขั้นตอนของการฟอก และการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมากรองทราญก่อนนำมาใช้ฟอกจะให้ผ้าที่มีความขาวมากกว่า และจากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance เพื่อหา F-value ในการทดลองแบบสุ่มตลอดที่มีมากกว่า 2 treatment ตามตารางที่ 3.2.2 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ (ข-9) – (ข-12)) พบว่าค่า  $F_0$  จากการทดลอง มีค่ามากกว่าค่า  $F_0$  จากตาราง ซึ่งเป็นการยืนยันผลการทดลองว่า ความแตกต่างของค่าความขาวที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจาก ลักษณะของการใช้น้ำที่แตกต่างกันในกระบวนการ (treatment) ทำให้ผ้าที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำที่ต่างกัน มีค่าความขาวของผ้าแตกต่างกัน และเมื่อกำหนดให้ผ้าที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำกรองเป็นมาตรฐานโดยเทียบให้มีค่าความขาวเป็น 100 % และนำค่าความขาวของผ้าที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำที่ใช้น้ำในแต่ละ treatment มาเทียบกับมาตรฐาน จะได้ค่า % white retention ตามตารางที่ 4.4.4

$$\% \text{ white retention} = (\text{ค่าความขาวของสิ่งทดลอง} \times 100) / \text{ค่าความขาวของมาตรฐาน}$$



ตารางที่ 4.4.4 ค่า% white retentionระหว่างการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment

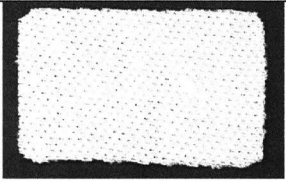
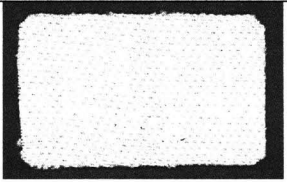
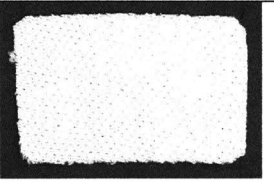
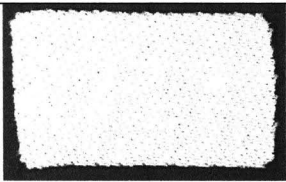
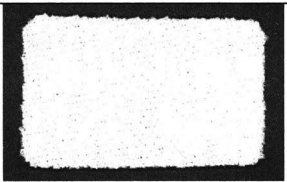
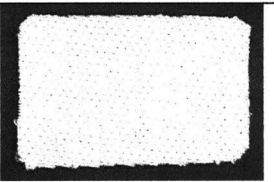
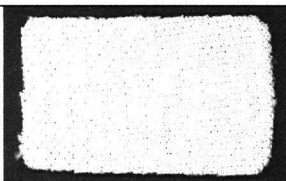
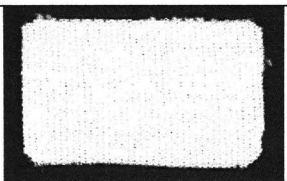
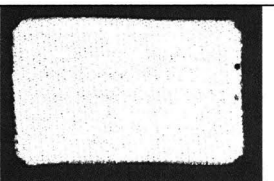
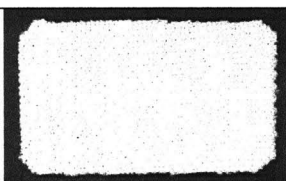
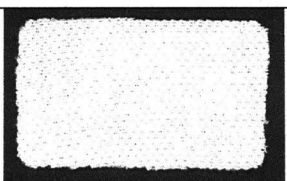
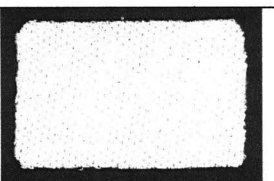
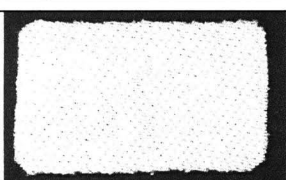
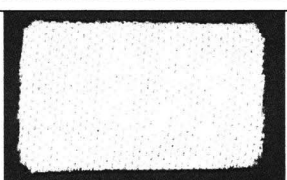
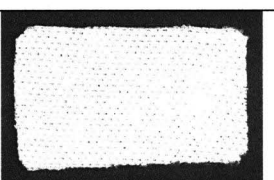
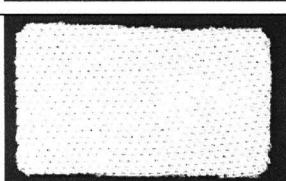
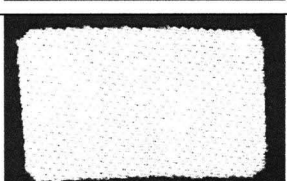
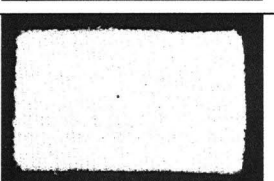
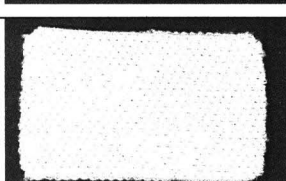
| treatment | % white retention |        |        |
|-----------|-------------------|--------|--------|
|           | 1                 | 2      | 3      |
| 1         | 76.62             | 77.22  | 66.41  |
| 2         | 87.48             | 91.59  | 83.28  |
| 3         | 91.73             | 93.48  | 89.51  |
| 4         | 87.79             | 84.09  | 74.23  |
| 5         | 86.38             | 93.98  | 85.56  |
| 6         | 89.92             | 97.29  | 89.06  |
| 7         | 100.00            | 100.00 | 100.00 |



ภาพที่ 4.5.1 ค่า% white retention ระหว่างการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment

เมื่อพิจารณาค่า % white retention ระหว่างการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment โดยใช้ treatment ที่ 7 หรือการฟอกด้วยน้ำกรองเป็นมาตรฐาน พบว่า การใช้น้ำซ้ำในทุกขั้นตอนของการฟอกจะให้ค่า % white retention ที่ต่ำกว่าการฟอกด้วยน้ำกรองเป็นมาตรฐาน เนื่องจากคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันทั้งในด้านของความกระด้าง ความขุ่น และค่านำไฟฟ้า อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการฟอก และเมื่อใช้น้ำซ้ำเฉพาะการฟอกแต่ใช้น้ำกรองเป็นน้ำล้าง จะให้ค่า % white retention ที่สูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำระหว่างน้ำที่ผ่านการบำบัดและน้ำที่บำบัดแล้วตามด้วยการกรองพบว่าน้ำที่บำบัด ให้ค่า % white retention ที่ได้มีแนวโน้มต่ำกว่าการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามด้วยการกรอง

ตารางที่ 4.4.5 ชั้นทดสอบที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment

| treatment | ครั้งที่ 1                                                                          | ครั้งที่ 2                                                                          | ครั้งที่ 3                                                                           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         |    |    |    |
| 2         |    |    |    |
| 3         |    |    |    |
| 4         |    |    |    |
| 5         |   |   |   |
| 6         |  |  |  |
| 7         |  |  |  |

4.5 ผลการศึกษาความแตกต่างของสีของผ้า (color difference, DE) ผ่านการย้อมโดยใช้ น้ำที่ผ่านการบำบัด

นำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มาใช้ในกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายดำด้วยสีย้อมแอคทีฟ โดยแบ่งการ ทดลองเป็น 7 treatment ดังนี้

| treatment | กระบวนการ                              |                                        |                                        |
|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|           | น้ำที่ใช้ย้อม                          | Wash 1( hot water )                    | Wash ( cold water )                    |
| 1         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 |
| 2         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                |
| 3         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด                 | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 4         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย |
| 5         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                |
| 6         | น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนำมา<br>กรองทราย | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |
| 7         | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                | น้ำกรอง                                |

นำผ้าที่ผ่านการย้อมการจากการทดลองทั้ง 7 สิ่งทดลอง โดยแต่ละสิ่งทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง ทดสอบ ความแตกต่างของสีโดยใช้เครื่อง spectrophotometer โดยใช้สิ่งทดลองที่ 7 เป็นมาตรฐานในการ เปรียบเทียบความแตกต่าง ค่าที่ได้นำเสนอในภาคผนวก ข (ตารางที่ (ข-13)-(ข-21)) ซึ่งเป็นการหา ค่าเฉลี่ยทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้สูตรคำนวณของการทดลองแบบสุ่มตลอดที่มีมากกว่า 2 treatment วิเคราะห์หาวารียนซ์ เมื่อมีจำนวนค่าสังเกตเท่ากัน ได้ผลตามตารางที่ 4.5.1- 4.5.3

ตารางที่ 4.5.1 ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 1)

| treatment | L*     | a*     | b*     | DL*  | Da*   | Db*  | DE    |
|-----------|--------|--------|--------|------|-------|------|-------|
| 1         | 126.50 | 102.41 | -18.92 | 3.03 | 15.08 | 5.71 | 16.41 |
| 2         | 128.41 | 102.66 | -19.71 | 4.94 | 15.33 | 4.92 | 16.82 |
| 3         | 126.83 | 99.00  | -20.74 | 3.36 | 11.67 | 3.89 | 12.75 |
| 4         | 127.75 | 103.40 | -18.66 | 4.28 | 16.07 | 5.97 | 17.67 |
| 5         | 127.18 | 99.60  | -20.41 | 3.71 | 12.27 | 4.22 | 13.50 |
| 6         | 127.62 | 98.92  | -21.15 | 4.15 | 11.59 | 3.48 | 12.80 |
| 7         | 123.47 | 87.33  | -24.63 |      |       |      |       |

ตารางที่ 4.5.2 ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 2)

| treatment | L*     | a*     | b*     | DL*  | Da*   | Db*  | DE    |
|-----------|--------|--------|--------|------|-------|------|-------|
| 1         | 128.02 | 102.05 | -19.61 | 3.85 | 19.75 | 8.64 | 21.89 |
| 2         | 128.09 | 100.06 | -20.45 | 3.92 | 17.76 | 7.80 | 19.79 |
| 3         | 126.26 | 98.38  | -20.85 | 2.09 | 16.08 | 7.40 | 17.82 |
| 4         | 127.22 | 98.19  | -21.31 | 3.05 | 15.89 | 6.94 | 17.61 |
| 5         | 128.31 | 97.40  | -21.53 | 4.14 | 15.10 | 6.72 | 17.04 |
| 6         | 126.32 | 98.10  | -21.05 | 2.15 | 15.80 | 7.20 | 17.49 |
| 7         | 124.17 | 82.30  | -28.25 |      |       |      |       |

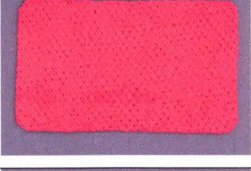
ตารางที่ 4.5.3 ค่าความแตกต่างของสี (color difference , DE) ระหว่างการย้อมในแต่ละ treatment เทียบกับสิ่งทดลองที่ 7 (ครั้งที่ 3)

| treatment | L*     | a*     | b*     | DL*  | Da*   | Db*  | DE    |
|-----------|--------|--------|--------|------|-------|------|-------|
| 1         | 127.58 | 98.60  | -20.33 | 3.44 | 15.08 | 7.00 | 16.98 |
| 2         | 125.77 | 100.05 | -19.39 | 1.63 | 16.53 | 7.94 | 18.41 |
| 3         | 125.74 | 100.14 | -19.63 | 1.60 | 16.62 | 7.70 | 18.39 |
| 4         | 126.02 | 100.08 | -19.63 | 1.88 | 16.56 | 7.70 | 18.36 |
| 5         | 128.45 | 99.74  | -20.83 | 3.14 | 16.22 | 6.50 | 17.99 |
| 6         | 125.31 | 99.57  | -20.32 | 1.17 | 16.05 | 7.01 | 17.55 |
| 7         | 124.14 | 83.52  | -27.33 |      |       |      |       |

- 1 - 10°illuminant D<sub>65</sub> แสงขาว มีอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสีประมาณ 6500 เคลวิน เป็นแสงที่เหมาะสมกับมาตรฐานสากลในยุโรป ตะวันออกไกลและอเมริกาใต้ และยังนำไปใช้ในอุปกรณ์วัดสีต่าง ๆ
- 2 - a\* แทนค่าสีของวัตถุ ; วัตถุสีแดงแทนค่าด้วย +a , วัตถุสีเขียวแทนค่าด้วย -a  
- b\* แทนค่าสีของวัตถุ ; วัตถุสีเหลืองแทนค่าด้วย +b , วัตถุสีน้ำเงินแทนค่าด้วย -b  
- L\* แทนค่าความสว่างของวัตถุ ; วัตถุมีความสว่างแทนค่าด้วย +L , วัตถุมีความทึบแทนค่าด้วย -L
- 3 - DL\* เป็นค่าความแตกต่างของค่า L\* ของชิ้น Standard และ Trial ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  
- Da\* เป็นค่าความแตกต่างของค่า a\* ของชิ้น Standard และ Trial ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  
- Db\* เป็นค่าความแตกต่างของค่า b\* ของชิ้น Standard และ Trial ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  
- DE เป็นค่าความแตกต่างของสีของวัตถุมีสี 2 ชิ้นภายใต้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหนึ่ง

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสี ระหว่างการย้อมโดยใช้น้ำกรอง (treatment ที่ 7) กับน้ำที่นำมาใช้ซ้ำ (treatment ที่ 1-6) โดยเครื่อง Spectrophotometer มาตรฐาน 10° illuminant D<sub>65</sub> พบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดมีสีแตกต่างจากผ้าที่ย้อมด้วยน้ำกรอง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกรองพบว่า ความสว่างของสีลดลง และผ้ามีสีออกไปทางสีแดงที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันทั้งในด้านของความกระด้าง ความขุ่น และค่านำไฟฟ้า อาจมีผลต่อปฏิกิริยาย้อม และเมื่อใช้น้ำซ้ำเฉพาะการย้อมแต่ใช้น้ำกรองเป็นน้ำล้าง จะทำให้ความแตกต่างของสีลดลง และเมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำระหว่างน้ำที่ผ่านการบำบัดและน้ำที่บำบัดแล้วตามด้วยการกรองพบว่าน้ำที่บำบัดให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าการใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตามด้วยการกรอง

ตารางที่ 4.5.4 ชั้นทดสอบที่ผ่านการขัดด้วยน้ำที่แตกต่างกัน 7 treatment

| treatment | ครั้งที่ 1                                                                          | ครั้งที่ 2                                                                          | ครั้งที่ 3                                                                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         |    |    |    |
| 2         |    |    |    |
| 3         |    |    |    |
| 4         |    |    |    |
| 5         |   |   |   |
| 6         |  |  |  |
| 7         |  |  |  |

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

(1) การบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมของโรงงานธนากุลพิมพ์ย้อม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการบำบัดทางเคมี สารตกตะกอนที่ใช้คือ เพอร์ริสซัลเฟตร่วมกับอลูมิเนียมซัลเฟต เพื่อกำจัดความสกปรกของน้ำจากสีและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต หลังจากนั้นปล่อยให้สารเคมีตกตะกอน แล้วนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไปด้วยระบบชีวภาพ โดยการให้อากาศ เพื่อกำจัดความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์

(2) น้ำทิ้งของโรงงาน มีค่าพีเอช บีโอดี และซีโอดี ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม แต่มีค่าของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานได้รับอิทธิพลจากคลองสาธารณะ ซึ่งเป็นน้ำกร่อย

(3) การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการฟอก ทำให้ค่าความขุ่นของผ้าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำตามปกติของโรงงาน แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก

(4) การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการย้อม ทำให้ผ้ามีค่าความแตกต่างของสีแตกต่างจากการย้อมด้วยน้ำตามปกติของโรงงาน โดยผ้าที่ย้อมได้มีความสว่างของสีลดลง และมีสีเข้มขึ้น

(5) การใช้น้ำซ้ำเฉพาะในขั้นตอนการฟอก และการย้อม ส่วนในขั้นตอนการล้างใช้น้ำตามปกติของโรงงาน จะทำให้ผ้าที่ผ่านการฟอก และย้อมมีสมบัติที่ดีขึ้น

(6) น้ำที่ผ่านการบำบัดนำมาผ่านการกรองทรายจะทำให้ผ้าที่ผ่านการฟอก และย้อมมีสมบัติที่ดีขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) เพิ่มระบบบึงประดิษฐ์ ด้วยการปลูกต้นพุดรักษา ต่อจากระบบบำบัดทางชีวภาพก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้ง ลงสู่ บ่อที่ 4 เพื่อเป็นการลดปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลาย

(2) ปรับหาสูตรของการย้อมใหม่ ที่ทำให้ค่าความแตกต่างของสี ลดลง และมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำตามปกติ โดยลดปริมาณสีที่ใช้ลง เนื่องจากผลของการใช้น้ำซ้ำทำให้สีเข้มขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, น้ำบาดาลหัวใจของอุตสาหกรรมฟอกย้อม ,คัลเลอร์เวย์, 6(31) :10 -13, 2542.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม, สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542.

เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อม พิมพ์,กรุงเทพฯ : ประชาชน , 2537.

ณรงค์ วุทธิเสถียร, การปรับสภาพน้ำใช้อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สมาคมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2540.

มันสิน ตันทุลเวศม์, คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ , พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

A. Reife and H.S. Freeman, Environmental Chemistry of Dyes and Pigments, U.S.,John Wiley & Sons, Inc., 1966.

Best Management Practice for Pollution Prevention in Textile Industry, EPA/625/R-96/004 ,Cincinnati, Ohio: US Environmental Protection Agency, Sep ,1996.

Carlill, Julie, Jones, Peter. J. and Broadbent, Arthur, The use of Ozone for Decolorizing Textile Wastewater, Department of Chemical Engineering, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canada.

C. R. Hoffman, J., Coated Fabric, 10 (Jan): 178, 1981.

C. Brent Smith, Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing, North Carolina Department of Natural Resources and Community Development, Pollution Prevention Pays Program, Raleigh, NC.

Green, M. James and S. Cynthia, Using color to Decolorize Dyeing Plant Wastewater. American Dyestuff Reporter, April : 50-53, 1985.

J.J. Porter and T.N. Sargent, The Use of Membrane for the Recovery of Dyes and Auxiliary Chemicals and Automatically Controlling the Recycling of Bleaching Wastewater, Textile Chem. Color., 9 : 38,1977.



J.L. Gaddis and H.G. Spencer, Proc.Symp. Text. Ind. Tech., EPA-600/2-79-104, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, 1988.

Hao, O.J., Kim, H. and Chiang, P.C., Decolorization of wastewater. Critical reviews in environmental science and technology, 30(4) : 449-505,2000.

L.E. Shriver and R.R. Dague, Color Removal from Textile Mill Wastewater, American Dyestuff Reporter, 67 : 34, 1978.

N.Manivasakam . Water used in textile processing : Scroll EPD , 1995

### ภาคผนวก ก

### การประมาณช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ

กรณีที่ไม่สามารถทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน( $\sigma$ ) ของประชากร และจำนวนตัวอย่างมากกว่า 30 ตัวอย่าง การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร  $\mu$  จะใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทำการประมาณโดยใช้สมการ

$$1 \quad \text{เมื่อต้องการประมาณแบบช่วง } \bar{X}_i - \left[ \frac{z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \right] \leq \mu_i \leq \bar{X}_i + \left[ \frac{z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \right]$$

โดย  $n_i$  = จำนวนตัวอย่าง

$\frac{z_{\alpha}}{2}$  = ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น  $\alpha/2$

$z_{\alpha}$  = ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น  $\alpha$

$(1 - \frac{\alpha}{2}) 100\%$  = ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

หรือ  $(1 - \alpha) 100\%$  = ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับขอบเขตเดียว(ขอบเขตล่างหรือขอบเขตบน)]

$\bar{X}_i$  = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง =  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

$s_i$  = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

$$= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}$$

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด

| ตัวอย่างที่ | cod บ่อ 0 |           |                        | cod บ่อ 1 |           |                        |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|
|             | จำนวน     | cod บ่อ 0 | cod บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน     | cod บ่อ 1 | cod บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 2,515.570 | 6,328,092.425          | 1         | 199.250   | 39,700.563             |
| 2           | 1         | 1,668.750 | 2,784,726.563          | 1         | 199.250   | 39,700.563             |
| 3           | 1         | 2,988.800 | 8,932,925.440          | 1         | 448.320   | 200,990.822            |
| 4           | 1         | 2,889.170 | 8,347,303.289          | 1         | 149.440   | 22,332.314             |
| 5           | 1         | 4,607.730 | 21,231,175.753         | 1         | 523.040   | 273,570.842            |
| 6           | 1         | 2,141.970 | 4,588,035.481          | 1         | 473.230   | 223,946.633            |
| 7           | 1         | 3,287.680 | 10,808,839.782         | 1         | 473.230   | 223,946.633            |
| 8           | 1         | 2,440.850 | 5,957,748.723          | 1         | 547.950   | 300,249.203            |
| 9           | 1         | 1,693.650 | 2,868,450.323          | 1         | 448.320   | 200,990.822            |
| 10          | 1         | 2,839.360 | 8,061,965.210          | 1         | 747.200   | 558,307.840            |
| 11          | 1         | 3,785.810 | 14,332,357.356         | 1         | 348.690   | 121,584.716            |
| 12          | 1         | 3,910.350 | 15,290,837.123         | 1         | 523.040   | 273,570.842            |
| 13          | 1         | 1,594.030 | 2,540,931.641          | 1         | 597.760   | 357,317.018            |
| 14          | 1         | 4,144.800 | 17,179,367.040         | 1         | 1,046.080 | 1,094,283.366          |
| 15          | 1         | 2,842.180 | 8,077,987.152          | 1         | 1,145.710 | 1,312,651.404          |

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า CODของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cod บ่อ 0 |               |                        | cod บ่อ 1   |            |                        |
|-----------------|-----------|---------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|
|                 | จำนวน     | cod บ่อ 0     | cod บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | cod บ่อ 1  | cod บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 16              | 1         | 2,444.290     | 5,974,553.604          | 1           | 1,170.610  | 1,370,327.772          |
| 17              | 1         | 4,561.840     | 20,810,384.186         | 1           | 1,117.870  | 1,249,633.337          |
| 18              | 1         | 2,923.570     | 8,547,261.545          | 1           | 712.800    | 508,083.840            |
| 19              | 1         | 2,096.430     | 4,395,018.745          | 1           | 880.320    | 774,963.302            |
| 20              | 1         | 2,107.000     | 4,439,449.000          | 1           | 583.300    | 340,238.890            |
| 21              | 1         | 2,650.500     | 7,025,150.250          | 1           | 1,023.060  | 1,046,651.764          |
| 22              | 1         | 953.530       | 909,219.461            | 1           | 620.540    | 385,069.892            |
| 23              | 1         | 447.880       | 200,596.494            | 1           | 719.410    | 517,550.748            |
| 24              | 1         | 3,667.520     | 13,450,702.950         | 1           | 486.370    | 236,555.777            |
| 25              | 1         | 1,381.600     | 1,908,818.560          | 1           | 296.300    | 87,793.690             |
| 26              | 1         | 4,448.110     | 19,785,682.572         | 1           | 242.420    | 58,767.456             |
| 27              | 1         | 1,900.080     | 3,610,304.006          | 1           | 581.820    | 338,514.512            |
| 28              | 1         | 2,224.800     | 4,949,735.040          | 1           | 433.440    | 187,870.234            |
| 29              | 1         | 1,440.000     | 2,073,600.000          | 1           | 427.040    | 182,363.162            |
| 30              | 1         | 2,020.000     | 4,080,400.000          | 1           | 72.480     | 5,253.350              |
| 31              | 1         | 2,191.200     | 4,801,357.440          | 1           | 452.160    | 204,448.666            |
| 32              | 1         | 1,603.730     | 2,571,949.913          | 1           | 261.650    | 68,460.723             |
| 33              | 1         | 1,193.170     | 1,423,654.649          | 1           | 348.000    | 121,104.000            |
| 34              | 1         | 1,382.020     | 1,909,979.280          | 1           | 357.070    | 127,498.985            |
| 35              | 1         | 2,642.650     | 6,983,599.023          | 1           | 666.670    | 444,448.889            |
| 36              | 1         | 1,969.340     | 3,878,300.036          | 1           | 511.730    | 261,867.593            |
| 37              |           |               |                        | 1           | 316.800    | 100,362.240            |
| 38              |           |               |                        | 1           | 388.000    | 150,544.000            |
| 39              |           |               |                        | 1           | 431.570    | 186,252.665            |
| 40              |           |               |                        | 1           | 399.410    | 159,528.348            |
| 41              |           |               |                        | 1           | 284.060    | 80,690.084             |
| 42              |           |               |                        | 1           | 791.100    | 625,839.210            |
|                 |           |               |                        |             |            |                        |
| sum             | 36        | 89,599.960    | 261,060,460.053        | 42          | 22,446.510 | 15,063,826.707         |
| SQRT            | 6         |               |                        | 6.480740698 |            |                        |
| xbar            |           | 2,488.888     |                        |             | 534.441    |                        |
| SD <sup>2</sup> |           | 1,087,320.421 |                        |             | 74,817.021 |                        |
| SD              |           | 1,042.747     |                        |             | 273.527    |                        |
| R               |           | 4,159.850     |                        |             | 1,098.130  |                        |

วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COD ของบ่อ 0 [สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

$$\text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง} \quad \bar{X}_0 = \frac{1}{36} [2516.57 + 1699.75 + \dots + 2643.65 + 1969.34] = 2488.888$$

$$\begin{aligned} \text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad S_0 &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{[(36)(261060460.053)] - (89599.960)}{36(36-1)}} = 1042.747 \end{aligned}$$

$$\text{ความเชื่อมั่น 95\% ดังนั้น} \quad 95 = (1-\alpha)100$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\begin{aligned} \frac{Z_\alpha}{2} &= \frac{Z_{0.05}}{2} = Z_{0.025} \quad \text{ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น 0.025} \\ &= 1.960 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ย COD จะอยู่ในช่วง

$$\begin{aligned} \bar{X}_0 - \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_0}{\sqrt{n_0}} \right] &\leq \mu_0 \leq \bar{X}_0 + \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_0}{\sqrt{n_0}} \right] \\ 2488.888 - [1.960] \left[ \frac{1042.747}{\sqrt{36}} \right] &\leq \mu_0 \leq 2488.888 + [1.960] \left[ \frac{1042.747}{\sqrt{36}} \right] \\ 2,148.264 &\leq \mu_0 \leq 2,829.512 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COD ของบ่อ 1 [สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

$$\text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง} \quad \bar{X}_1 = \frac{1}{42} [199.25 + 199.25 + \dots + 284.06 + 791.10] = 534.441$$

$$\begin{aligned} \text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad S_1 &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{[(42)(15063826.707)] - (22446.510)}{42(42-1)}} = 273.527 \end{aligned}$$

$$\text{ความเชื่อมั่น 95\% ดังนั้น} \quad 95 = (1-\alpha)100$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\begin{aligned} \frac{Z_\alpha}{2} &= \frac{Z_{0.05}}{2} = Z_{0.025} \quad \text{ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น 0.025} \\ &= 1.960 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นค่าเฉลี่ย COD จะอยู่ในช่วง} \quad \bar{X}_1 - \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_1}{\sqrt{n_1}} \right] \leq \mu_1 \leq \bar{X}_1 + \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_1}{\sqrt{n_1}} \right]$$

$$534.441 - [1.960] \left[ \frac{273.527}{\sqrt{42}} \right] \leq \mu_1 \leq 534.441 + [1.960] \left[ \frac{273.527}{\sqrt{42}} \right]$$

$$451.718 \leq \mu_1 \leq 617.163$$

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า CODของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | cod บ่อ 2 |           |                        | cod บ่อ 3 |           |                        |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|
|             | จำนวน     | cod บ่อ 2 | cod บ่อ 2 <sup>2</sup> |           | cod บ่อ 3 | cod บ่อ 3 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 149.440   | 22,332.314             | 1         | 99.630    | 9,926.137              |
| 2           | 1         | 323.790   | 104,839.964            | 1         | 99.630    | 9,926.137              |
| 3           | 1         | 249.070   | 62,035.865             | 1         | -         | -                      |
| 4           | 1         | 174.350   | 30,397.923             | 1         | 49.810    | 2,481.036              |
| 5           | 1         | 523.040   | 273,570.842            | 1         | 149.440   | 22,332.314             |
| 6           | 1         | 323.790   | 104,839.964            | 1         | 124.530   | 15,507.721             |
| 7           | 1         | 323.790   | 104,839.964            | 1         | 124.530   | 15,507.721             |
| 8           | 1         | 323.790   | 104,839.964            | 1         | 124.530   | 15,507.721             |
| 9           | 1         | 722.290   | 521,702.844            | 1         | 149.440   | 22,332.314             |
| 10          | 1         | 572.850   | 328,157.123            | 1         | 199.250   | 39,700.563             |
| 11          | 1         | 547.950   | 300,249.203            | 1         | 199.250   | 39,700.563             |
| 12          | 1         | 398.510   | 158,810.220            | 1         | 199.630   | 39,852.137             |
| 13          | 1         | 547.950   | 300,249.203            | 1         | 49.810    | 2,481.036              |
| 14          | 1         | 498.130   | 248,133.497            | 1         | 174.350   | 30,397.923             |
| 15          | 1         | 672.480   | 452,229.350            | 1         | 149.440   | 22,332.314             |
| 16          | 1         | 946.450   | 895,767.603            | 1         | 373.600   | 139,576.960            |
| 17          | 1         | 642.240   | 412,472.218            | 1         | 523.310   | 273,853.356            |
| 18          | 1         | 739.200   | 546,416.640            | 1         | 264.000   | 69,696.000             |
| 19          | 1         | 603.650   | 364,393.323            | 1         | 553.340   | 306,185.156            |
| 20          | 1         | 444.420   | 197,509.136            | 1         | 305.540   | 93,354.692             |
| 21          | 1         | 687.630   | 472,835.017            | 1         | 821.800   | 675,355.240            |
| 22          | 1         | 536.690   | 288,036.156            | 1         | 184.490   | 34,036.560             |
| 23          | 1         | 474.510   | 225,159.740            | 1         | 704.110   | 495,770.892            |
| 24          | 1         | 352.200   | 124,044.840            | 1         | 436.060   | 190,148.324            |
| 25          | 1         | 362.140   | 131,145.380            | 1         | 211.900   | 44,901.610             |
| 26          | 1         | 258.590   | 66,868.788             | 1         | 96.970    | 9,403.181              |
| 27          | 1         | 387.880   | 150,450.894            | 1         | 266.260   | 70,894.388             |
| 28          | 1         | 303.410   | 92,057.628             | 1         | 158.920   | 25,255.566             |
| 29          | 1         | 326.560   | 106,641.434            | 1         | 276.320   | 76,352.742             |
| 30          | 1         | 502.400   | 252,405.760            | 1         | 200.960   | 40,384.922             |
| 31          | 1         | 522.640   | 273,152.570            | 1         | 226.080   | 51,112.166             |
| 32          | 1         | 309.230   | 95,623.193             | 1         | 166.510   | 27,725.580             |
| 33          | 1         | 299.280   | 89,568.518             | 1         | 786.480   | 618,550.790            |
| 34          | 1         | 164.800   | 27,159.040             | 1         | 164.800   | 27,159.040             |
| 35          | 1         | 320.000   | 102,400.000            | 1         | 213.330   | 45,509.689             |
| 36          | 1         | 323.200   | 104,458.240            | 1         | 188.530   | 35,543.561             |
| 37          | 1         | 369.000   | 136,161.000            | 1         | 184.800   | 34,151.040             |
| 38          | 1         | 310.400   | 96,348.160             | 1         | 155.200   | 24,087.040             |

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cod บ่อ 2   |            |                        | cod บ่อ 3 |            |                        |
|-----------------|-------------|------------|------------------------|-----------|------------|------------------------|
|                 | จำนวน       | cod บ่อ 2  | cod บ่อ 2 <sup>2</sup> | จำนวน     | cod บ่อ 3  | cod บ่อ 3 <sup>2</sup> |
| 39              | 1           | 355.410    | 126,316.268            | 1         | 152.320    | 23,201.382             |
| 40              | 1           | 301.440    | 90,866.074             | 1         | 150.720    | 22,716.518             |
| 41              | 1           | 370.140    | 137,003.620            | 1         | 172.160    | 29,639.066             |
| 42              | 1           | 563.870    | 317,949.377            | 1         | 168.320    | 28,331.622             |
| sum             | 42          | 18,128.600 | 9,040,438.853          | 42        | 10,000.100 | 3,800,882.717          |
| SQRT            | 6.480740698 |            |                        | 6.480741  |            |                        |
| xbar            |             | 431.633    |                        |           | 238.098    |                        |
| SD <sup>2</sup> |             | 29,647.093 |                        |           | 34,631.286 |                        |
| SD              |             | 172.183    |                        |           | 186.095    |                        |
| R               |             | 797.010    |                        |           | 771.990    |                        |

วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COD ของบ่อ 2 [สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

$$\text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง} \quad \bar{X}_2 = \frac{1}{42} [149.44 + 323.79 + \dots + 370.14 + 563.87] = 431.633$$

$$\begin{aligned} \text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad S_2 &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{[(42)(9040438.853)] - (18128.600)^2}{42(42-1)}} = 172.183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเชื่อมั่น 95\% ดังนั้น} \quad 95 &= (1-\alpha)100 \\ \alpha &= 0.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Z_\alpha}{2} &= \frac{Z_{0.05}}{2} = Z_{0.025} \quad \text{ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น 0.025} \\ &= 1.960 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าเฉลี่ย COD จะอยู่ในช่วง} \quad \bar{X}_2 - \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_2}{\sqrt{n_2}} \right] &\leq \mu_2 \leq \bar{X}_2 + \left[ \frac{Z_\alpha}{2} \right] \left[ \frac{S_2}{\sqrt{n_2}} \right] \\ 431.633 - [1.960] \left[ \frac{172.83}{\sqrt{42}} \right] &\leq \mu_2 \leq 431.633 + [1.960] \left[ \frac{172.83}{\sqrt{42}} \right] \\ 379.5601 &\leq \mu_2 \leq 483.7065 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COD ของบ่อ 3 [สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง  $\bar{X}_3 = \frac{1}{42} [99.63 + 99.63 + \dots + 172.16 + 168.32] = 238.098$

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $S_3 = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}}$

$$= \sqrt{\frac{[(42)(3800882.717)] - (10000.10)}{42(42-1)}} = 186.095$$

ความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น  $95 = (1-\alpha)100$   
 $\alpha = 0.05$

$\frac{Z_{\alpha}}{2} = \frac{Z_{0.05}}{2} = Z_{0.025}$  ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น 0.025  
 $= 1.960$

ดังนั้นค่าเฉลี่ย COD จะอยู่ในช่วง  $\bar{X}_3 - \left[ \frac{Z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{S_3}{\sqrt{n_3}} \right] \leq \mu_3 \leq \bar{X}_3 + \left[ \frac{Z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{S_3}{\sqrt{n_3}} \right]$

$$238.098 - [1.960] \left[ \frac{186.095}{\sqrt{42}} \right] \leq \mu_3 \leq 238.098 + [1.960] \left[ \frac{186.095}{\sqrt{42}} \right]$$

$$181.8172 \leq \mu_3 \leq 294.3781$$

ตารางที่ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | cod บ่อ 4 |           |                        |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|
|             | จำนวน     | cod บ่อ 4 | cod บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 24.910    | 620.508                |
| 2           | 1         | 99.630    | 9,926.137              |
| 3           | 1         | -         | -                      |
| 4           | 1         | 49.810    | 2,481.036              |
| 5           | 1         | 99.630    | 9,926.137              |
| 6           | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 7           | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 8           | 1         | 24.910    | 620.508                |
| 9           | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 10          | 1         | 49.810    | 2,481.036              |
| 11          | 1         | 124.530   | 15,507.721             |
| 12          | 1         | 99.630    | 9,926.137              |
| 13          | 1         | 49.810    | 2,481.036              |
| 14          | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 15          | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 16          | 1         | 74.720    | 5,583.078              |
| 17          | 1         | 261.650   | 68,460.723             |



ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cod บ่อ 4   |           |                        |
|-----------------|-------------|-----------|------------------------|
|                 | จำนวน       | cod บ่อ 4 | cod บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 18              | 1           | 211.200   | 44,605.440             |
| 19              | 1           | 201.220   | 40,489.488             |
| 20              | 1           | 194.430   | 37,803.025             |
| 21              | 1           | 117.230   | 13,742.873             |
| 22              | 1           | 117.400   | 13,782.760             |
| 23              | 1           | 15.310    | 234.396                |
| 24              | 1           | 33.540    | 1,124.932              |
| 25              | 1           | 65.840    | 4,334.906              |
| 26              | 1           | 48.480    | 2,350.310              |
| 27              | 1           | 48.480    | 2,350.310              |
| 28              | 1           | 33.710    | 1,136.364              |
| 29              | 1           | 75.360    | 5,679.130              |
| 30              | 1           | 75.360    | 5,679.130              |
| 31              | 1           | 25.120    | 631.014                |
| 32              | 1           | 23.720    | 562.638                |
| 33              | 1           | 20.880    | 435.974                |
| 34              | 1           | 27.490    | 755.700                |
| 35              | 1           | 53.330    | 2,844.089              |
| 36              | 1           | 80.800    | 6,528.640              |
| 37              | 1           | 52.800    | 2,787.840              |
| 38              | 1           | 51.730    | 2,675.993              |
| 39              | 1           | 50.770    | 2,577.593              |
| 40              | 1           | 97.970    | 9,598.121              |
| 41              | 1           | 172.160   | 29,639.066             |
| 42              | 1           | 143.070   | 20,469.025             |
|                 |             |           |                        |
| sum             | 42          | 3,370.040 | 408,748.206            |
| SQRT            | 6.480740698 |           |                        |
| xbar            |             | 80.239    |                        |
| SD <sup>2</sup> |             | 3,374.132 |                        |
| SD              |             | 58.087    |                        |
| R               |             | 246.340   |                        |

วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย COD ของบ่อ 4 [สำหรับสองขอบเขต(ขอบเขตล่างและขอบเขตบน)]

$$\text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง} \quad \bar{X}_4 = \frac{1}{42} [24.91 + 99.63 + \dots + 172.16 + 143.07] = 80.239$$

$$\begin{aligned} \text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad S_4 &= \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{[(42)(408748.206)] - (3370.040)^2}{42(42-1)}} = 58.087 \end{aligned}$$

$$\text{ความเชื่อมั่น 95\% ดังนั้น} \quad 95 = (1-\alpha)100$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\frac{Z_{\alpha}}{2} = \frac{Z_{0.05}}{2} = Z_{0.025} \quad \text{ตัวแปรการแจกแจงปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่หางขวาเป็น 0.025}$$

$$= 1.960$$

$$\text{ดังนั้นค่าเฉลี่ย COD จะอยู่ในช่วง} \quad \bar{X}_4 - \left[ \frac{Z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{S_4}{\sqrt{n_4}} \right] \leq \mu_4 \leq \bar{X}_4 + \left[ \frac{Z_{\alpha}}{2} \right] \left[ \frac{S_4}{\sqrt{n_4}} \right]$$

$$80.239 - [1.960] \left[ \frac{58.087}{\sqrt{42}} \right] \leq \mu_4 \leq 80.239 + [1.960] \left[ \frac{58.087}{\sqrt{42}} \right]$$

$$62.6718 \leq \mu_4 \leq 97.8063$$

กรณีที่ไม่สามารถทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน( $\sigma$ )ของประชากร และจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร  $\mu$  จะใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทำการประมาณโดยใช้สมการ

$$\bar{X}_i - \left[ \frac{t_{\alpha/2, v_i}}{2} \right] \left[ \frac{S_i}{\sqrt{n_i}} \right] < \mu_i < \bar{X}_i + \left[ \frac{t_{\alpha/2, v_i}}{2} \right] \left[ \frac{S_i}{\sqrt{n_i}} \right]$$

$$\text{เมื่อ} \quad S_i^2 = \text{ความแปรปรวนของตัวอย่าง}$$

$$\bar{X}_i = \text{ค่าเฉลี่ยของประชากร}$$

$$t_{\left(\frac{\alpha}{2}, v_i\right)} = \text{ค่าการกระจาย t จากตารางการกระจาย t}$$

$$v_i = \text{ระดับขั้นความเสรี หรือ } (n_i - 1)$$

$$\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) 100\% = \text{ช่วงความเชื่อมั่น}$$

ตารางที่ ก-2 ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัด

| ตัวอย่างที่     | bod ป่อ 0 |            |                        | bod ป่อ 1   |           |                        |
|-----------------|-----------|------------|------------------------|-------------|-----------|------------------------|
|                 | จำนวน     | bod ป่อ 0  | bod ป่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | bod ป่อ 1 | bod ป่อ 1 <sup>2</sup> |
| 1               | 1         | 208.800    | 43,597.440             | 1           | 29.760    | 885.658                |
| 2               | 1         | 735.000    | 540,225.000            | 1           | 120.420   | 14,500.976             |
| 3               | 1         | 735.900    | 541,548.810            | 1           | 31.380    | 984.704                |
| 4               | 1         | 359.100    | 128,952.810            | 1           | 51.840    | 2,687.386              |
| 5               | 1         | 1,052.100  | 1,106,914.410          | 1           | 4.560     | 20.794                 |
| 6               | 1         | 132.000    | 17,424.000             | 1           | 57.180    | 3,269.552              |
| 7               | 1         | 537.000    | 288,369.000            | 1           | 184.560   | 34,062.394             |
| 8               | 1         | 1,074.000  | 1,153,476.000          | 1           | 30.240    | 914.458                |
| 9               | 1         | 1,063.800  | 1,131,670.440          | 1           | 39.240    | 1,539.778              |
| 10              | 1         | 492.000    | 242,064.000            | 1           | 48.240    | 2,327.098              |
| 11              | 1         | 477.000    | 227,529.000            | 1           | 59.760    | 3,571.258              |
| 12              | 1         | 531.000    | 281,961.000            | 1           | 128.220   | 16,440.368             |
| 13              | 1         | 612.000    | 374,544.000            | 1           | 182.400   | 33,269.760             |
| 14              | 1         | 274.200    | 75,185.640             | 1           | 106.320   | 11,303.942             |
| 15              | 1         | 336        | 112,896.000            | 1           | 83.220    | 6,925.568              |
| 16              |           |            |                        | 1           | 86.820    | 7,537.712              |
| 17              |           |            |                        | 1           | 53.220    | 2,832.368              |
| 18              |           |            |                        | 1           | 83.640    | 6,995.650              |
| 19              |           |            |                        | 1           | 159.000   | 25,281.000             |
| 20              |           |            |                        | 1           | 285.000   | 81,225.000             |
| 21              |           |            |                        | 1           | 15.900    | 252.810                |
| 22              |           |            |                        | 1           | 44.100    | 1,944.810              |
| 23              |           |            |                        | 1           | 182.100   | 33,160.410             |
| 24              |           |            |                        | 1           | 192.000   | 36,864.000             |
| 25              |           |            |                        | 1           | 117.000   | 13,689.000             |
| 26              |           |            |                        | 1           | 84.000    | 7,056.000              |
| 27              |           |            |                        | 1           | 193.800   | 37,558.440             |
| 28              |           |            |                        | 1           | 87.000    | 7,569.000              |
| 29              |           |            |                        | 1           | 15.900    | 252.810                |
| 30              |           |            |                        | 1           | 162.000   | 26,244.000             |
| 31              |           |            |                        | 1           | 231.000   | 53,361.000             |
| 32              |           |            |                        | 1           | 87.000    | 7,569.000              |
| 33              |           |            |                        | 1           | 154.200   | 23,777.640             |
| 34              |           |            |                        | 1           | 96.000    | 9,216.000              |
| sum             | 15        | 8,619.900  | 6,266,357.550          | 34          | 3,487.020 | 515,090.344            |
| SQRT            | 3.872983  |            |                        | 5.830951895 |           |                        |
| xbar            |           | 574.660    |                        |             | 102.559   |                        |
| SD <sup>2</sup> |           | 93,774.701 |                        |             | 4,771.625 |                        |
| SD              |           | 306.227    |                        |             | 69.077    |                        |
| R               |           | 942.000    |                        |             | 280.440   |                        |

$$405.0772 \leq \mu_0 \leq 744.2428$$

$$79.3405 \leq \mu_1 \leq 125.7783$$

ตารางที่ ก-2 ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | bod ป้อย 2  |             |                         | bod ป้อย 3 |            |                         |
|-----------------|-------------|-------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|
|                 | จำนวน       | bod ป้อย 2  | bod ป้อย 2 <sup>2</sup> | จำนวน      | bod ป้อย 3 | bod ป้อย 3 <sup>2</sup> |
| 1               | 1           | 1,935.600   | 3,746,547.360           | 1          | 2.760      | 7.618                   |
| 2               | 1           | 37.200      | 1,383.840               | 1          | 0.420      | 0.176                   |
| 3               | 1           | 12.960      | 167.962                 | 1          | 16.380     | 268.304                 |
| 4               | 1           | 92.400      | 8,537.760               | 1          | 18.840     | 354.946                 |
| 5               | 1           | 84.000      | 7,056.000               | 1          | 28.560     | 815.674                 |
| 6               | 1           | 60.420      | 3,650.576               | 1          | 18.180     | 330.512                 |
| 7               | 1           | 42.600      | 1,814.760               | 1          | 22.560     | 508.954                 |
| 8               | 1           | 79.800      | 6,368.040               | 1          | 24.240     | 587.578                 |
| 9               | 1           | 111.840     | 12,508.186              | 1          | 33.240     | 1,104.898               |
| 10              | 1           | 73.800      | 5,446.440               | 1          | 21.240     | 451.138                 |
| 11              | 1           | 49.080      | 2,408.846               | 1          | 30.600     | 936.360                 |
| 12              | 1           | 24.600      | 605.160                 | 1          | 45.780     | 2,095.808               |
| 13              | 1           | 43.620      | 1,902.704               | 1          | 11.760     | 138.298                 |
| 14              | 1           | 37.620      | 1,415.264               | 1          | 26.220     | 687.488                 |
| 15              | 1           | 44.640      | 1,992.730               | 1          | 8.400      | 70.560                  |
| 16              | 1           | 48.840      | 2,385.346               | 1          | 1.320      | 1.742                   |
| 17              | 1           | 33.840      | 1,145.146               | 1          | 2.220      | 4.928                   |
| 18              | 1           | 11.640      | 135.490                 | 1          | 50.820     | 2,582.672               |
| 19              | 1           | 52.800      | 2,787.840               | 1          | 8.220      | 67.568                  |
| 20              | 1           | 36.000      | 1,296.000               | 1          | 8.640      | 74.650                  |
| 21              | 1           | 60.900      | 3,708.810               | 1          | 43.800     | 1,918.440               |
| 22              | 1           | 194.100     | 37,674.810              | 1          | 18.000     | 324.000                 |
| 23              | 1           | 512.100     | 262,246.410             | 1          | 45.900     | 2,106.810               |
| 24              | 1           | 297.000     | 88,209.000              | 1          | 89.100     | 7,938.810               |
| 25              | 1           | 87.000      | 7,569.000               | 1          | 137.100    | 18,796.410              |
| 26              | 1           | 129.000     | 16,641.000              | 1          | 72.000     | 5,184.000               |
| 27              | 1           | 448.800     | 201,421.440             | 1          | 57.000     | 3,249.000               |
| 28              | 1           | 552.000     | 304,704.000             | 1          | 24.000     | 576.000                 |
| 29              | 1           | 150.900     | 22,770.810              | 1          | 13.800     | 190.440                 |
| 30              | 1           | 222.000     | 49,284.000              | 1          | 12.000     | 144.000                 |
| 31              | 1           | 336.000     | 112,896.000             | 1          | 105.900    | 11,214.810              |
| 32              | 1           | 102.000     | 10,404.000              | 1          | 72.000     | 5,184.000               |
| 33              | 1           | 214.200     | 45,881.640              | 1          | 36.000     | 1,296.000               |
| 34              | 1           | 306.000     | 93,636.000              | 1          | 27.000     | 729.000                 |
| 35              |             |             |                         | 1          | 49.200     | 2,420.640               |
| 36              |             |             |                         | 1          | 141.000    | 19,881.000              |
| sum             | 34          | 6,525.300   | 5,066,602.369           | 36         | 1,324.200  | 92,243.232              |
| SQRT            | 5.830951895 |             |                         | 6          |            |                         |
| xbar            |             | 191.921     |                         |            | 36.783     |                         |
| SD <sup>2</sup> |             | 115,583.726 |                         |            | 1,243.850  |                         |
| SD              |             | 339.976     |                         |            | 35.268     |                         |
| R               |             | 1,923.960   |                         |            | 140.580    |                         |

$$77.6441 \leq \mu_2 \leq 306.1970$$

ตารางที่ ก-2 ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | bod ป่อ 4 |           |                        |
|-----------------|-----------|-----------|------------------------|
|                 | จำนวน     | bod ป่อ 4 | bod ป่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1               | 1         | 2.760     | 7.618                  |
| 2               | 1         | 0.420     | 0.176                  |
| 3               | 1         | 1.380     | 1.904                  |
| 4               | 1         | 39.840    | 1,587.226              |
| 5               | 1         | 4.560     | 20.794                 |
| 6               | 1         | 3.180     | 10.112                 |
| 7               | 1         | 10.560    | 111.514                |
| 8               | 1         | 6.240     | 38.938                 |
| 9               | 1         | 30.240    | 914.458                |
| 10              | 1         | 6.240     | 38.938                 |
| 11              | 1         | 12.600    | 158.760                |
| 12              | 1         | 36.780    | 1,352.768              |
| 13              | 1         | 17.760    | 315.418                |
| 14              | 1         | 8.220     | 67.568                 |
| 15              | 1         | 5.400     | 29.160                 |
| 16              | 1         | 10.320    | 106.502                |
| 17              | 1         | 5.220     | 27.248                 |
| 18              | 1         | 17.820    | 317.552                |
| 19              | 1         | 2.220     | 4.928                  |
| 20              | 1         | 2.640     | 6.970                  |
| 21              | 1         | 1.800     | 3.240                  |
| 22              | 1         | 3.000     | 9.000                  |
| 23              | 1         | 15.900    | 252.810                |
| 24              | 1         | 14.100    | 198.810                |
| 25              | 1         | 62.100    | 3,856.410              |
| 26              | 1         | 12.000    | 144.000                |
| 27              | 1         | 57.000    | 3,249.000              |
| 28              | 1         | 54.000    | 2,916.000              |
| 29              | 1         | 13.800    | 190.440                |
| 30              | 1         | 57.000    | 3,249.000              |
| 31              | 1         | 15.900    | 252.810                |
| 32              | 1         | 12.000    | 144.000                |
| 33              | 1         | 6.000     | 36.000                 |
| 34              | 1         | 27.000    | 729.000                |
| 35              | 1         | 4.200     | 17.640                 |
| 36              | 1         | 6.000     | 36.000                 |
| sum             | 36        | 586.200   | 20,402.712             |
| SQRT            | 6         |           |                        |
| xbar            |           | 16.283    |                        |
| SD <sup>2</sup> |           | 310.212   |                        |
| SD              |           | 17.613    |                        |
| R               |           | 61.680    |                        |

$$25.2626 \leq \mu_3 \leq 48.3041$$

$$10.5299 \leq \mu_4 \leq 22.0368$$

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $t_0(0.05/2, 14)$  | = | 2.1448 |
| $t_0(0.05, 14)$    | = | 1.7613 |
| $chi_0(0.95, 33)$  | = | 6.571  |
| $chi_0(0.05, 33)$  | = | 23.685 |
| $chi_0(0.975, 33)$ | = | 5.629  |
| $chi_0(0.025, 33)$ | = | 26.119 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_1(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_1(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_1(0.95, 33)$  | = | 20.867 |
| $chi_1(0.05, 33)$  | = | 47.400 |
| $chi_1(0.975, 33)$ | = | 19.047 |
| $chi_1(0.025, 33)$ | = | 50.725 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_2(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_2(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_2(0.95, 33)$  | = | 20.867 |
| $chi_2(0.05, 33)$  | = | 47.400 |
| $chi_2(0.975, 33)$ | = | 19.047 |
| $chi_2(0.025, 33)$ | = | 50.725 |

|                   |   |        |
|-------------------|---|--------|
| $z_3(0.05/2)$     | = | 1.9600 |
| $z_3(0.05)$       | = | 1.6449 |
| $chi_3(0.95, 9)$  | = | 22.465 |
| $chi_3(0.05, 9)$  | = | 49.802 |
| $chi_3(0.975, 9)$ | = | 20.569 |
| $chi_3(0.025, 9)$ | = | 53.203 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_4(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_4(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_4(0.95, 13)$  | = | 22.465 |
| $chi_4(0.05, 13)$  | = | 49.802 |
| $chi_4(0.975, 13)$ | = | 20.569 |
| $chi_4(0.025, 13)$ | = | 53.203 |

ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด

| ตัวอย่างที่ | DS ปะ 0 |         |                      | DS ปะ 1 |         |                      |
|-------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|----------------------|
|             | จำนวน   | DS ปะ 0 | DS ปะ 0 <sup>2</sup> | จำนวน   | DS ปะ 1 | DS ปะ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1       | 4,870   | 23,716,900.000       | 1       | 5,538   | 30,663,906.250       |
| 2           | 1       | 5,450   | 29,702,500.000       | 1       | 5,720   | 32,718,400.000       |
| 3           | 1       | 8,273   | 68,434,256.250       | 1       | 6,380   | 40,704,400.000       |
| 4           | 1       | 5,155   | 26,574,025.000       | 1       | 7,328   | 53,692,256.250       |
| 5           | 1       | 5,185   | 26,884,225.000       | 1       | 5,858   | 34,310,306.250       |
| 6           | 1       | 6,918   | 47,851,806.250       | 1       | 5,550   | 30,802,500.000       |
| 7           | 1       | 6,528   | 42,608,256.250       | 1       | 7,278   | 52,962,006.250       |
| 8           | 1       | 4,343   | 18,857,306.250       | 1       | 6,655   | 44,289,025.000       |
| 9           | 1       | 8,565   | 73,359,225.000       | 1       | 5,720   | 32,718,400.000       |
| 10          | 1       | 5,050   | 25,502,500.000       | 1       | 7,108   | 50,516,556.250       |
| 11          | 1       | 5,485   | 30,085,225.000       | 1       | 7,825   | 61,230,625.000       |
| 12          | 1       | 5,828   | 33,959,756.250       | 1       | 7,083   | 50,161,806.250       |
| 13          | 1       | 5,188   | 26,910,156.250       | 1       | 7,285   | 53,071,225.000       |
| 14          | 1       | 6,215   | 38,626,225.000       | 1       | 8,195   | 67,158,025.000       |
| 15          | 1       | 7,020   | 49,280,400.000       | 1       | 7,645   | 58,446,025.000       |
| 16          | 1       | 8,085   | 65,367,225.000       | 1       | 6,815   | 46,444,225.000       |
| 17          | 1       | 6,438   | 41,441,406.250       | 1       | 5,238   | 27,431,406.250       |
| 18          | 1       | 7,988   | 63,800,156.250       | 1       | 7,215   | 52,056,225.000       |
| 19          | 1       | 8,180   | 66,912,400.000       | 1       | 6,583   | 43,329,306.250       |
| 20          | 1       | 3,493   | 12,197,556.250       | 1       | 7,635   | 58,293,225.000       |
| 21          | 1       | 5,570   | 31,024,900.000       | 1       | 6,890   | 47,472,100.000       |
| 22          | 1       | 5,818   | 33,843,306.250       | 1       | 7,040   | 49,561,600.000       |
| 23          | 1       | 6,465   | 41,796,225.000       | 1       | 7,108   | 50,516,556.250       |
| 24          | 1       | 1,543   | 2,379,306.250        | 1       | 7,383   | 54,501,306.250       |
| 25          | 1       | 5,538   | 30,663,906.250       | 1       | 6,555   | 42,968,025.000       |
| 26          | 1       | 8,098   | 65,569,506.250       | 1       | 8,080   | 65,286,400.000       |
| 27          | 1       | 8,350   | 69,722,500.000       | 1       | 6,128   | 37,546,256.250       |
| 28          | 1       | 3,995   | 15,960,025.000       | 1       | 5,893   | 34,721,556.250       |
| 29          | 1       | 3,908   | 15,268,556.250       | 1       | 5,948   | 35,372,756.250       |
| 30          | 1       | 8,410   | 70,728,100.000       | 1       | 7,635   | 58,293,225.000       |
| 31          | 1       | 8,158   | 66,544,806.250       | 1       | 6,325   | 40,005,625.000       |
| 32          | 1       | 3,820   | 14,592,400.000       | 1       | 4,538   | 20,588,906.250       |
| 33          | 1       | 6,445   | 41,538,025.000       | 1       | 4,930   | 24,304,900.000       |
| 34          | 1       | 4,590   | 21,068,100.000       | 1       | 6,393   | 40,864,056.250       |

ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | DSบ่อ 0 |               |                       | DSบ่อ 1     |             |                       |
|-----------------|---------|---------------|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|
|                 | จำนวน   | DS บ่อ 0      | DS บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | DS บ่อ 1    | DS บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 35              | 1       | 5,320         | 28,302,400.000        |             |             |                       |
| sum             | 35      | 210,277.500   | 1,361,073,568.750     | 34          | 225,492.500 | 1,523,003,118.750     |
| SQRT            | 5.91608 |               |                       | 5.830951895 |             |                       |
| xbar            |         | 6,007.929     |                       |             | 6,632.132   |                       |
| SD <sup>2</sup> |         | 2,874,746.134 |                       |             | 833,545.883 |                       |
| SD              |         | 1,695.508     |                       |             | 912.987     |                       |
| R               |         | 7,022.500     |                       |             | 3,657.500   |                       |

$5,446.2168 \leq \mu_0 \leq 6,569.6404$

$6,325.2491 \leq \mu_1 \leq 6,939.0156$

ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | DSบ่อ 2 |          |                |
|-------------|---------|----------|----------------|
|             | จำนวน   | DS บ่อ 2 | DS บ่อ 22      |
| 1           | 1       | 6,230    | 38,812,900.000 |
| 2           | 1       | 5,513    | 30,387,656.250 |
| 3           | 1       | 6,103    | 37,240,506.250 |
| 4           | 1       | 7,500    | 56,250,000.000 |
| 5           | 1       | 5,873    | 34,486,256.250 |
| 6           | 1       | 5,643    | 31,837,806.250 |
| 7           | 1       | 6,930    | 48,024,900.000 |
| 8           | 1       | 6,810    | 46,376,100.000 |
| 9           | 1       | 9,115    | 83,083,225.000 |
| 10          | 1       | 6,823    | 46,546,506.250 |
| 11          | 1       | 7,325    | 53,655,625.000 |
| 12          | 1       | 6,868    | 47,162,556.250 |
| 13          | 1       | 7,358    | 54,132,806.250 |
| 14          | 1       | 7,553    | 57,040,256.250 |
| 15          | 1       | 7,970    | 63,520,900.000 |
| 16          | 1       | 7,688    | 59,097,656.250 |
| 17          | 1       | 7,595    | 57,684,025.000 |
| 18          | 1       | 7,620    | 58,064,400.000 |
| 19          | 1       | 7,758    | 60,178,806.250 |
| 20          | 1       | 6,753    | 45,596,256.250 |
| 21          | 1       | 6,913    | 47,782,656.250 |
| 22          | 1       | 7,275    | 52,925,625.000 |
| 23          | 1       | 7,190    | 51,696,100.000 |
| 24          | 1       | 7,208    | 51,948,056.250 |
| 25          | 1       | 8,978    | 80,595,506.250 |
| 26          | 1       | 6,740    | 45,427,600.000 |
| 27          | 1       | 7,270    | 52,852,900.000 |
| 28          | 1       | 6,065    | 36,784,225.000 |
| 29          | 1       | 5,795    | 33,582,025.000 |
| 30          | 1       | 9,020    | 81,360,400.000 |
| 31          | 1       | 7,465    | 55,726,225.000 |
| 32          | 1       | 6,223    | 38,719,506.250 |
| 33          | 1       | 4,938    | 24,378,906.250 |

ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | DS ปอ 2     |               |                   |
|-----------------|-------------|---------------|-------------------|
|                 | จำนวน       | DS ปอ 2       | DS ปอ 22          |
| 34              | 1           | 4,430         | 19,624,900.000    |
| 35              | 1           | 6,138         | 37,668,906.250    |
|                 |             |               |                   |
| sum             | 35          | 242,667.500   | 1,720,252,681.250 |
| SQRT            | 5.916079783 |               |                   |
| xbar            |             | 6,933.357     |                   |
| SD <sup>2</sup> |             | 1,110,359.905 |                   |
| SD              |             | 1,053.736     |                   |
| R               |             | 4,685.000     |                   |

$$6,584.2605 \leq \mu_2 \leq 7,282.4538$$

ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | DS ปอ 3 |            |                      | DS ปอ 4 |            |                      |
|-------------|---------|------------|----------------------|---------|------------|----------------------|
|             | จำนวน   | DS ปอ 3    | DS ปอ 3 <sup>2</sup> | จำนวน   | DS ปอ 4    | DS ปอ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1       | 5,292.500  | 28,010,556.250       | 1       | 11,155.000 | 124,434,025.000      |
| 2           | 1       | 5,335.000  | 28,462,225.000       | 1       | 9,465.000  | 89,586,225.000       |
| 3           | 1       | 5,807.500  | 33,727,056.250       | 1       | 12,817.500 | 164,288,306.250      |
| 4           | 1       | 6,565.000  | 43,099,225.000       | 1       | 11,920.000 | 142,086,400.000      |
| 5           | 1       | 6,092.500  | 37,118,556.250       | 1       | 13,357.500 | 178,422,806.250      |
| 6           | 1       | 6,055.000  | 36,663,025.000       | 1       | 10,257.500 | 105,216,306.250      |
| 7           | 1       | 6,237.500  | 38,906,406.250       | 1       | 13,215.000 | 174,636,225.000      |
| 8           | 1       | 6,220.000  | 38,688,400.000       | 1       | 13,530.000 | 183,060,900.000      |
| 9           | 1       | 13,280.000 | 176,358,400.000      | 1       | 11,145.000 | 124,211,025.000      |
| 10          | 1       | 6,125.000  | 37,515,625.000       | 1       | 12,755.000 | 162,690,025.000      |
| 11          | 1       | 6,767.500  | 45,799,056.250       | 1       | 14,235.000 | 202,635,225.000      |
| 12          | 1       | 8,717.500  | 75,994,806.250       | 1       | 15,160.000 | 229,825,600.000      |
| 13          | 1       | 6,820.000  | 46,512,400.000       | 1       | 19,322.500 | 373,359,006.250      |
| 14          | 1       | 7,020.000  | 49,280,400.000       | 1       | 25,947.500 | 673,272,756.250      |
| 15          | 1       | 7,345.000  | 53,949,025.000       | 1       | 15,667.500 | 245,470,556.250      |
| 16          | 1       | 7,710.000  | 59,444,100.000       | 1       | 18,277.500 | 334,067,006.250      |
| 17          | 1       | 7,580.000  | 57,456,400.000       | 1       | 19,650.000 | 386,122,500.000      |
| 18          | 1       | 7,667.500  | 58,790,556.250       | 1       | 24,077.500 | 579,726,006.250      |
| 19          | 1       | 8,955.000  | 80,192,025.000       | 1       | 21,475.000 | 461,175,625.000      |
| 20          | 1       | 7,597.500  | 57,722,006.250       | 1       | 34,727.500 | 1,205,999,256.250    |
| 21          | 1       | 7,330.000  | 53,728,900.000       | 1       | 27,932.500 | 780,224,556.250      |
| 22          | 1       | 7,397.500  | 54,723,006.250       | 1       | 20,515.000 | 420,865,225.000      |
| 23          | 1       | 5,890.000  | 34,682,100.000       | 1       | 19,910.000 | 396,408,100.000      |
| 24          | 1       | 5,617.500  | 31,556,306.250       | 1       | 20,810.000 | 433,056,100.000      |
| 25          | 1       | 6,062.500  | 36,753,906.250       | 1       | 45,730.000 | 2,091,232,900.000    |
| 26          | 1       | 7,065.000  | 49,914,225.000       | 1       | 18,767.500 | 352,219,056.250      |
| 27          | 1       | 7,055.000  | 49,773,025.000       | 1       | 18,300.000 | 334,890,000.000      |
| 28          | 1       | 6,917.500  | 47,851,806.250       | 1       | 13,905.000 | 193,349,025.000      |
| 29          | 1       | 14,880.000 | 221,414,400.000      | 1       | 4,980.000  | 24,800,400.000       |
| 30          | 1       | 6,242.500  | 38,968,806.250       | 1       | 25,137.500 | 631,893,906.250      |
| 31          | 1       | 7,765.000  | 60,295,225.000       | 1       | 16,360.000 | 267,649,600.000      |
| 32          | 1       | 6,185.000  | 38,254,225.000       | 1       | 11,812.500 | 139,535,156.250      |
| 33          | 1       | 5,002.500  | 25,025,006.250       | 1       | 8,432.500  | 71,107,056.250       |
| 34          | 1       | 5,115.000  | 26,163,225.000       | 1       | 8,010.000  | 64,160,100.000       |
| 35          | 1       | 5,712.500  | 32,632,656.250       | 1       | 9,650.000  | 93,122,500.000       |



ตารางที่ ก-3 ปริมาณของแข็งละลายของน้ำที่ผ่านการบำบัด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | DS ป๋อ 3 |               |                       | DS ป๋อ 4    |                |                       |
|-----------------|----------|---------------|-----------------------|-------------|----------------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | DS ป๋อ 3      | DS ป๋อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน       | DS ป๋อ 4       | DS ป๋อ 4 <sup>2</sup> |
| sum             | 35       | 247,427.500   | 1,885,437,068.750     | 35          | 598,410.000    | 12,434,799,462.500    |
| SQRT            | 5.91608  |               |                       | 5.916079783 |                |                       |
| xbar            |          | 7,069.357     |                       |             | 17,097.429     |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 4,008,344.244 |                       |             | 64,809,624.443 |                       |
| SD              |          | 2,002.085     |                       |             | 8,050.442      |                       |
| R               |          | 9,877.500     |                       |             | 40,750.000     |                       |

$6,406.0780 \leq \mu_3 \leq 7,732.6362$   
 $14,430.3638 \leq \mu_4 \leq 19,764.4933$

|                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $z_0(0.05/2) = 1.9600$      | $z_1(0.05/2) = 1.9600$      | $z_2(0.05/2) = 1.9600$      |
| $z_0(0.05) = 1.6449$        | $z_1(0.05) = 1.6449$        | $z_2(0.05) = 1.6449$        |
| $chi_0(0.95, 34) = 21.664$  | $chi_1(0.95, 33) = 20.867$  | $chi_2(0.95, 34) = 21.664$  |
| $chi_0(0.05, 34) = 48.602$  | $chi_1(0.05, 33) = 47.400$  | $chi_2(0.05, 34) = 48.602$  |
| $chi_0(0.975, 34) = 19.806$ | $chi_1(0.975, 33) = 19.047$ | $chi_2(0.975, 34) = 19.806$ |
| $chi_0(0.025, 34) = 51.966$ | $chi_1(0.025, 33) = 50.725$ | $chi_2(0.025, 34) = 51.966$ |

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| $z_0(0.05/2) = 1.9600$      | $z_1(0.05/2) = 1.9600$      |
| $z_0(0.05) = 1.6449$        | $z_1(0.05) = 1.6449$        |
| $chi_3(0.95, 34) = 21.664$  | $chi_4(0.95, 34) = 21.664$  |
| $chi_3(0.05, 34) = 48.602$  | $chi_4(0.05, 34) = 48.602$  |
| $chi_3(0.975, 34) = 19.806$ | $chi_4(0.975, 34) = 19.806$ |
| $chi_3(0.025, 34) = 51.966$ | $chi_4(0.025, 34) = 51.966$ |

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

| ตัวอย่างที่ | TS ป๋อ 0 |          |                       | TS ป๋อ 1 |          |                       |
|-------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|
|             | จำนวน    | TS ป๋อ 0 | TS ป๋อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน    | TS ป๋อ 1 | TS ป๋อ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 5,285    | 27,931,225.000        | 1        | 5,955    | 35,462,025.000        |
| 2           | 1        | 5,668    | 32,120,556.250        | 1        | 5,965    | 35,581,225.000        |
| 3           | 1        | 10,058   | 101,153,306.250       | 1        | 6,805    | 46,308,025.000        |
| 4           | 1        | 5,275    | 27,825,625.000        | 1        | 7,490    | 56,100,100.000        |
| 5           | 1        | 5,218    | 27,222,306.250        | 1        | 5,865    | 34,398,225.000        |
| 6           | 1        | 7,100    | 50,410,000.000        | 1        | 5,865    | 34,398,225.000        |
| 7           | 1        | 6,803    | 46,274,006.250        | 1        | 7,563    | 57,191,406.250        |
| 8           | 1        | 4,395    | 19,316,025.000        | 1        | 6,773    | 45,866,756.250        |
| 9           | 1        | 8,913    | 79,432,656.250        | 1        | 6,085    | 37,027,225.000        |
| 10          | 1        | 5,255    | 27,615,025.000        | 1        | 7,385    | 54,538,225.000        |
| 11          | 1        | 5,705    | 32,547,025.000        | 1        | 8,078    | 65,246,006.250        |
| 12          | 1        | 6,275    | 39,375,625.000        | 1        | 7,453    | 55,539,756.250        |
| 13          | 1        | 5,428    | 29,457,756.250        | 1        | 7,588    | 57,570,156.250        |
| 14          | 1        | 6,463    | 41,763,906.250        | 1        | 8,055    | 64,883,025.000        |
| 15          | 1        | 7,195    | 51,768,025.000        | 1        | 8,483    | 71,952,806.250        |
| 16          | 1        | 8,358    | 69,847,806.250        | 1        | 8,080    | 65,286,400.000        |
| 17          | 1        | 6,525    | 42,575,625.000        | 1        | 6,915    | 47,817,225.000        |
| 18          | 1        | 8,250    | 68,062,500.000        | 1        | 8,038    | 64,601,406.250        |
| 19          | 1        | 8,605    | 74,046,025.000        | 1        | 7,620    | 58,064,400.000        |
| 20          | 1        | 3,650    | 13,322,500.000        | 1        | 6,853    | 46,956,756.250        |
| 21          | 1        | 5,900    | 34,810,000.000        | 1        | 7,965    | 63,441,225.000        |
| 22          | 1        | 5,975    | 35,700,625.000        | 1        | 7,125    | 50,765,625.000        |

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | TS ป๋อ 0 |               |                       | TS ป๋อ 1    |             |                       |
|-----------------|----------|---------------|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | TS ป๋อ 0      | TS ป๋อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | TS ป๋อ 1    | TS ป๋อ 1 <sup>2</sup> |
| 23              | 1        | 6,625         | 43,890,625.000        | 1           | 7,150       | 51,122,500.000        |
| 24              | 1        | 8,653         | 74,865,756.250        | 1           | 7,243       | 52,453,806.250        |
| 25              | 1        | 5,660         | 32,035,600.000        | 1           | 7,533       | 56,738,556.250        |
| 26              | 1        | 8,168         | 66,708,056.250        | 1           | 6,698       | 44,856,506.250        |
| 27              | 1        | 8,455         | 71,487,025.000        | 1           | 8,225       | 67,650,625.000        |
| 28              | 1        | 4,115         | 16,933,225.000        | 1           | 6,295       | 39,627,025.000        |
| 29              | 1        | 4,150         | 17,222,500.000        | 1           | 6,300       | 39,690,000.000        |
| 30              | 1        | 8,728         | 76,169,256.250        | 1           | 6,130       | 37,576,900.000        |
| 31              | 1        | 8,588         | 73,745,156.250        | 1           | 8,173       | 66,789,756.250        |
| 32              | 1        | 3,933         | 15,464,556.250        | 1           | 6,498       | 42,217,506.250        |
| 33              | 1        | 6,785         | 46,036,225.000        | 1           | 4,810       | 23,136,100.000        |
| 34              | 1        | 4,753         | 22,586,256.250        | 1           | 5,120       | 26,214,400.000        |
| 35              | 1        | 5,520         | 30,470,400.000        | 1           | 6,683       | 44,655,806.250        |
|                 |          |               |                       |             |             |                       |
| sum             | 35       | 226,425.000   | 1,560,192,787.500     | 35          | 244,855.000 | 1,741,725,712.500     |
| SQRT            | 5.91608  |               |                       | 5.916079783 |             |                       |
| xbar            |          | 6,469.286     |                       | 6,995.857   |             |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 2,805,434.401 |                       | 845,738.582 |             |                       |
| SD              |          | 1,674.943     |                       | 919.640     |             |                       |
| R               |          | 6,407.500     |                       | 3,672.500   |             |                       |

$5,914.3868 \leq \mu_0 \leq 7,024.1846$   
 $6,691.1856 \leq \mu_1 \leq 7,300.5287$

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | TS ป๋อ 2 |          |                       |
|-------------|----------|----------|-----------------------|
|             | จำนวน    | TS ป๋อ 2 | TS ป๋อ 2 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 6,620    | 43,824,400.000        |
| 2           | 1        | 5,755    | 33,120,025.000        |
| 3           | 1        | 6,453    | 41,634,756.250        |
| 4           | 1        | 7,648    | 58,484,256.250        |
| 5           | 1        | 5,895    | 34,751,025.000        |
| 6           | 1        | 5,928    | 35,135,256.250        |
| 7           | 1        | 7,185    | 51,624,225.000        |
| 8           | 1        | 6,848    | 46,888,256.250        |
| 9           | 1        | 9,463    | 89,538,906.250        |
| 10          | 1        | 7,015    | 49,210,225.000        |
| 11          | 1        | 7,588    | 57,570,156.250        |
| 12          | 1        | 7,228    | 52,236,756.250        |
| 13          | 1        | 7,645    | 58,446,025.000        |
| 14          | 1        | 7,903    | 62,449,506.250        |
| 15          | 1        | 8,278    | 68,517,006.250        |
| 16          | 1        | 8,098    | 65,569,506.250        |
| 17          | 1        | 7,660    | 58,675,600.000        |
| 18          | 1        | 7,940    | 63,043,600.000        |
| 19          | 1        | 8,095    | 65,529,025.000        |
| 20          | 1        | 7,023    | 49,315,506.250        |
| 21          | 1        | 7,450    | 55,502,500.000        |

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | TS บ่อ 2    |               |                       |
|-----------------|-------------|---------------|-----------------------|
|                 | จำนวน       | TS บ่อ 2      | TS บ่อ 2 <sup>2</sup> |
| 22              | 1           | 7,543         | 56,889,306.250        |
| 23              | 1           | 7,313         | 53,472,656.250        |
| 24              | 1           | 7,335         | 53,802,225.000        |
| 25              | 1           | 9,200         | 84,640,000.000        |
| 26              | 1           | 6,888         | 47,437,656.250        |
| 27              | 1           | 7,335         | 53,802,225.000        |
| 28              | 1           | 6,130         | 37,576,900.000        |
| 29              | 1           | 6,138         | 37,668,906.250        |
| 30              | 1           | 9,108         | 82,946,556.250        |
| 31              | 1           | 7,910         | 62,568,100.000        |
| 32              | 1           | 6,498         | 42,217,506.250        |
| 33              | 1           | 5,173         | 26,754,756.250        |
| 34              | 1           | 4,680         | 21,902,400.000        |
| 35              | 1           | 6,425         | 41,280,625.000        |
| sum             | 35          | 251,385.000   | 1,844,026,337.500     |
| SQRT            | 5.916079783 |               |                       |
| xbar            |             | 7,182.429     |                       |
| SD <sup>2</sup> |             | 1,131,515.620 |                       |
| SD              |             | 1,063.727     |                       |
| R               |             | 4,782.500     |                       |

$$6,830.0219 \leq \mu_2 \leq 7,534.8352$$

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | TS บ่อ 3 |            |                       | TS บ่อ 4 |            |                       |
|-------------|----------|------------|-----------------------|----------|------------|-----------------------|
|             | จำนวน    | TS บ่อ 3   | TS บ่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน    | TS บ่อ 4   | TS บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 5,680.000  | 32,262,400.000        | 1        | 11,577.500 | 134,038,506.250       |
| 2           | 1        | 5,540.000  | 30,691,600.000        | 1        | 9,750.000  | 95,062,500.000        |
| 3           | 1        | 6,035.000  | 36,421,225.000        | 1        | 13,207.500 | 174,438,056.250       |
| 4           | 1        | 6,687.500  | 44,722,656.250        | 1        | 12,162.500 | 147,926,406.250       |
| 5           | 1        | 6,110.000  | 37,332,100.000        | 1        | 13,367.500 | 178,690,056.250       |
| 6           | 1        | 6,287.500  | 39,532,656.250        | 1        | 10,830.000 | 117,288,900.000       |
| 7           | 1        | 6,410.000  | 41,088,100.000        | 1        | 13,580.000 | 184,416,400.000       |
| 8           | 1        | 6,247.500  | 39,031,256.250        | 1        | 13,597.500 | 184,892,006.250       |
| 9           | 1        | 13,650.000 | 186,322,500.000       | 1        | 11,450.000 | 131,102,500.000       |
| 10          | 1        | 6,297.500  | 39,658,506.250        | 1        | 13,027.500 | 169,715,756.250       |
| 11          | 1        | 6,905.000  | 47,679,025.000        | 1        | 14,500.000 | 210,250,000.000       |
| 12          | 1        | 9,035.000  | 81,631,225.000        | 1        | 15,550.000 | 241,802,500.000       |
| 13          | 1        | 7,027.500  | 49,385,756.250        | 1        | 19,712.500 | 388,582,656.250       |
| 14          | 1        | 7,197.500  | 51,804,006.250        | 1        | 26,317.500 | 692,610,806.250       |
| 15          | 1        | 7,467.500  | 55,763,556.250        | 1        | 15,947.500 | 254,322,756.250       |
| 16          | 1        | 7,992.500  | 63,880,056.250        | 1        | 18,620.000 | 346,704,400.000       |
| 17          | 1        | 7,597.500  | 57,722,006.250        | 1        | 19,725.000 | 389,075,625.000       |
| 18          | 1        | 7,802.500  | 60,879,006.250        | 1        | 24,397.500 | 595,238,006.250       |
| 19          | 1        | 9,312.500  | 86,722,656.250        | 1        | 21,822.500 | 476,221,506.250       |
| 20          | 1        | 7,692.500  | 59,174,556.250        | 1        | 35,037.500 | 1,227,626,406.250     |
| 21          | 1        | 7,520.000  | 56,550,400.000        | 1        | 28,615.000 | 818,818,225.000       |
| 22          | 1        | 7,530.000  | 56,700,900.000        | 1        | 20,877.500 | 435,870,006.250       |
| 23          | 1        | 6,970.000  | 48,580,900.000        | 1        | 20,485.000 | 419,635,225.000       |

ตารางที่ ก-4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | TS ป๋อ 3 |               |                       | TS ป๋อ 4    |                |                       |
|-----------------|----------|---------------|-----------------------|-------------|----------------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | TS ป๋อ 3      | TS ป๋อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน       | TS ป๋อ 4       | TS ป๋อ 4 <sup>2</sup> |
| 24              | 1        | 5,815.000     | 33,814,225.000        | 1           | 21,822.500     | 476,221,506.250       |
| 25              | 1        | 6,150.000     | 37,822,500.000        | 1           | 46,042.500     | 2,119,911,806.250     |
| 26              | 1        | 7,087.500     | 50,232,656.250        | 1           | 18,822.500     | 354,286,506.250       |
| 27              | 1        | 7,105.000     | 50,481,025.000        | 1           | 18,495.000     | 342,065,025.000       |
| 28              | 1        | 6,940.000     | 48,163,600.000        | 1           | 13,975.000     | 195,300,625.000       |
| 29              | 1        | 15,172.500    | 230,204,756.250       | 1           | 6,517.500      | 42,477,806.250        |
| 30              | 1        | 6,442.500     | 41,505,806.250        | 1           | 25,282.500     | 639,204,806.250       |
| 31              | 1        | 7,992.500     | 63,880,056.250        | 1           | 16,780.000     | 281,568,400.000       |
| 32              | 1        | 6,297.500     | 39,658,506.250        | 1           | 11,917.500     | 142,026,806.250       |
| 33              | 1        | 5,260.000     | 27,667,600.000        | 1           | 8,717.500      | 75,994,806.250        |
| 34              | 1        | 5,352.500     | 28,849,256.250        | 1           | 8,225.000      | 67,650,625.000        |
| 35              | 1        | 6,602.500     | 43,593,006.250        | 1           | 9,850.000      | 97,022,500.000        |
|                 |          |               |                       |             |                |                       |
| sum             | 35       | 255,212.500   | 1,999,210,043.750     | 35          | 610,605.000    | 12,848,060,425.000    |
| SQRT            | 5.91608  |               |                       | 5.916079783 |                |                       |
| xbar            |          | 7,291.786     |                       |             | 17,445.857     |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 4,066,328.887 |                       |             | 64,574,494.832 |                       |
| SD              |          | 2,016.514     |                       |             | 8,035.826      |                       |
| R               |          | 9,912.500     |                       |             | 39,525.000     |                       |

$6,623.7264 \leq \mu_3 \leq 7,959.8451$   
 $14,783.6349 \leq \mu_4 \leq 20,108.0794$

|                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $z_0(0.05/2) = 1.9600$      | $z_1(0.05/2) = 1.9600$      | $z_2(0.05/2) = 1.9600$      |
| $z_0(0.05) = 1.6449$        | $z_1(0.05) = 1.6449$        | $z_2(0.05) = 1.6449$        |
| $chi_0(0.95, 34) = 21.664$  | $chi_1(0.95, 34) = 21.664$  | $chi_2(0.95, 34) = 21.664$  |
| $chi_0(0.05, 34) = 48.602$  | $chi_1(0.05, 34) = 48.602$  | $chi_2(0.05, 34) = 48.602$  |
| $chi_0(0.975, 34) = 19.806$ | $chi_1(0.975, 34) = 19.806$ | $chi_2(0.975, 34) = 19.806$ |
| $chi_0(0.025, 34) = 51.966$ | $chi_1(0.025, 34) = 51.966$ | $chi_2(0.025, 34) = 51.966$ |

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| $z_3(0.05/2) = 1.9600$      | $Z_4(0.05/2) = 1.9600$      |
| $Z_3(0.05) = 1.6449$        | $Z_4(0.05) = 1.6449$        |
| $chi_3(0.95, 34) = 21.664$  | $chi_4(0.95, 34) = 21.664$  |
| $chi_3(0.05, 34) = 48.602$  | $chi_4(0.05, 34) = 48.602$  |
| $chi_3(0.975, 34) = 19.806$ | $chi_4(0.975, 34) = 19.806$ |
| $chi_3(0.025, 34) = 51.966$ | $chi_4(0.025, 34) = 51.966$ |

ตารางที่ ก-5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย

| ตัวอย่างที่     | SS ป๋อ 0 |               |                       | SS ป๋อ 1    |               |                       |
|-----------------|----------|---------------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | SS ป๋อ 0      | SS ป๋อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | SS ป๋อ 1      | SS ป๋อ 1 <sup>2</sup> |
| 1               | 1        | 415.000       | 172,225.000           | 1           | 417.500       | 174,306.250           |
| 2               | 1        | 217.500       | 47,306.250            | 1           | 245.000       | 60,025.000            |
| 3               | 1        | 1,785.000     | 3,186,225.000         | 1           | 425.000       | 180,625.000           |
| 4               | 1        | 120.000       | 14,400.000            | 1           | 162.500       | 26,406.250            |
| 5               | 1        | 32.500        | 1,056.250             | 1           | 7.500         | 56.250                |
| 6               | 1        | 182.500       | 33,306.250            | 1           | 315.000       | 99,225.000            |
| 7               | 1        | 275.000       | 75,625.000            | 1           | 285.000       | 81,225.000            |
| 8               | 1        | 52.500        | 2,756.250             | 1           | 117.500       | 13,806.250            |
| 9               | 1        | 347.500       | 120,756.250           | 1           | 365.000       | 133,225.000           |
| 10              | 1        | 205.000       | 42,025.000            | 1           | 277.500       | 77,006.250            |
| 11              | 1        | 220.000       | 48,400.000            | 1           | 252.500       | 63,756.250            |
| 12              | 1        | 447.500       | 200,256.250           | 1           | 370.000       | 136,900.000           |
| 13              | 1        | 240.000       | 57,600.000            | 1           | 302.500       | 91,506.250            |
| 14              | 1        | 247.500       | 61,256.250            | 1           | 12,832.500    | 164,673,056.250       |
| 15              | 1        | 175.000       | 30,625.000            | 1           | 287.500       | 82,656.250            |
| 16              | 1        | 272.500       | 74,256.250            | 1           | 435.000       | 189,225.000           |
| 17              | 1        | 87.500        | 7,656.250             | 1           | 100.000       | 10,000.000            |
| 18              | 1        | 262.500       | 68,906.250            | 1           | 2,800.000     | 7,840,000.000         |
| 19              | 1        | 425.000       | 180,625.000           | 1           | 405.000       | 164,025.000           |
| 20              | 1        | 157.500       | 24,806.250            | 1           | 270.000       | 72,900.000            |
| 21              | 1        | 330.000       | 108,900.000           | 1           | 330.000       | 108,900.000           |
| 22              | 1        | 157.500       | 24,806.250            | 1           | 235.000       | 55,225.000            |
| 23              | 1        | 160.000       | 25,600.000            | 1           | 110.000       | 12,100.000            |
| 24              | 1        | 7,110.000     | 50,552,100.000        | 1           | 135.000       | 18,225.000            |
| 25              | 1        | 122.500       | 15,006.250            | 1           | 150.000       | 22,500.000            |
| 26              | 1        | 70.000        | 4,900.000             | 1           | 142.500       | 20,306.250            |
| 27              | 1        | 105.000       | 11,025.000            | 1           | 145.000       | 21,025.000            |
| 28              | 1        | 120.000       | 14,400.000            | 1           | 167.500       | 28,056.250            |
| 29              | 1        | 242.500       | 58,806.250            | 1           | 407.500       | 166,056.250           |
| 30              | 1        | 317.500       | 100,806.250           | 1           | 182.500       | 33,306.250            |
| 31              | 1        | 430.000       | 184,900.000           | 1           | 537.500       | 288,906.250           |
| 32              | 1        | 112.500       | 12,656.250            | 1           | 172.500       | 29,756.250            |
| 33              | 1        | 340.000       | 115,600.000           | 1           | 272.500       | 74,256.250            |
| 34              | 1        | 162.500       | 26,406.250            | 1           | 190.000       | 36,100.000            |
| 35              | 1        | 200.000       | 40,000.000            | 1           | 290.000       | 84,100.000            |
|                 |          |               |                       |             |               |                       |
| sum             | 35       | 16,147.500    | 55,745,981.250        | 35          | 24,140.000    | 175,168,750.000       |
| SQRT            | 5.91608  |               |                       | 5.916079783 |               |                       |
| xbar            |          | 461.357       |                       |             | 689.714       |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 1,420,476.964 |                       |             | 4,662,324.916 |                       |
| SD              |          | 1,191.838     |                       |             | 2,159.242     |                       |
| R               |          | 7,077.500     |                       |             | 12,825.000    |                       |

66.5083 ≤ μ<sub>0</sub> ≤ 856.2060  
-25.6299 ≤ μ<sub>1</sub> ≤ 1,405.0585

ตารางที่ ก-5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | SS บ่อ 2    |            |                       |
|-----------------|-------------|------------|-----------------------|
|                 | จำนวน       | SS บ่อ 2   | SS บ่อ 2 <sup>2</sup> |
| 1               | 1           | 390.000    | 152,100.000           |
| 2               | 1           | 242.500    | 58,806.250            |
| 3               | 1           | 350.000    | 122,500.000           |
| 4               | 1           | 147.500    | 21,756.250            |
| 5               | 1           | 22.500     | 506.250               |
| 6               | 1           | 285.000    | 81,225.000            |
| 7               | 1           | 255.000    | 65,025.000            |
| 8               | 1           | 37.500     | 1,406.250             |
| 9               | 1           | 347.500    | 120,756.250           |
| 10              | 1           | 192.500    | 37,056.250            |
| 11              | 1           | 262.500    | 68,906.250            |
| 12              | 1           | 360.000    | 129,600.000           |
| 13              | 1           | 287.500    | 82,656.250            |
| 14              | 1           | 350.000    | 122,500.000           |
| 15              | 1           | 307.500    | 94,556.250            |
| 16              | 1           | 410.000    | 168,100.000           |
| 17              | 1           | 65.000     | 4,225.000             |
| 18              | 1           | 320.000    | 102,400.000           |
| 19              | 1           | 337.500    | 113,906.250           |
| 20              | 1           | 270.000    | 72,900.000            |
| 21              | 1           | 537.500    | 288,906.250           |
| 22              | 1           | 267.500    | 71,556.250            |
| 23              | 1           | 122.500    | 15,006.250            |
| 24              | 1           | 127.500    | 16,256.250            |
| 25              | 1           | 222.500    | 49,506.250            |
| 26              | 1           | 147.500    | 21,756.250            |
| 27              | 1           | 65.000     | 4,225.000             |
| 28              | 1           | 65.000     | 4,225.000             |
| 29              | 1           | 342.500    | 117,306.250           |
| 30              | 1           | 87.500     | 7,656.250             |
| 31              | 1           | 445.000    | 198,025.000           |
| 32              | 1           | 275.000    | 75,625.000            |
| 33              | 1           | 235.000    | 55,225.000            |
| 34              | 1           | 250.000    | 62,500.000            |
| 35              | 1           | 287.500    | 82,656.250            |
| sum             | 35          | 8,717.500  | 2,691,318.750         |
| SQRT            | 5.916079783 |            |                       |
| xbar            |             | 249.071    |                       |
| SD <sup>2</sup> |             | 15,295.252 |                       |
| SD              |             | 123.674    |                       |
| R               |             | 515.000    |                       |

$$208.0990 \leq \mu_2 \leq 290.0439$$

ตารางที่ ก-5 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | SS ป่อ 3 |            |                       | SS ป่อ 4    |            |                       |
|-----------------|----------|------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | SS ป่อ 3   | SS ป่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน       | SS ป่อ 4   | SS ป่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1               | 1        | 387.500    | 150,156.250           | 1           | 422.500    | 178,506.250           |
| 2               | 1        | 205.000    | 42,025.000            | 1           | 285.000    | 81,225.000            |
| 3               | 1        | 227.500    | 51,756.250            | 1           | 390.000    | 152,100.000           |
| 4               | 1        | 122.500    | 15,006.250            | 1           | 242.500    | 58,806.250            |
| 5               | 1        | 17.500     | 306.250               | 1           | 10.000     | 100.000               |
| 6               | 1        | 232.500    | 54,056.250            | 1           | 572.500    | 327,756.250           |
| 7               | 1        | 172.500    | 29,756.250            | 1           | 365.000    | 133,225.000           |
| 8               | 1        | 27.500     | 756.250               | 1           | 67.500     | 4,556.250             |
| 9               | 1        | 370.000    | 136,900.000           | 1           | 305.000    | 93,025.000            |
| 10              | 1        | 172.500    | 29,756.250            | 1           | 272.500    | 74,256.250            |
| 11              | 1        | 137.500    | 18,906.250            | 1           | 265.000    | 70,225.000            |
| 12              | 1        | 317.500    | 100,806.250           | 1           | 390.000    | 152,100.000           |
| 13              | 1        | 207.500    | 43,056.250            | 1           | 390.000    | 152,100.000           |
| 14              | 1        | 177.500    | 31,506.250            | 1           | 370.000    | 136,900.000           |
| 15              | 1        | 122.500    | 15,006.250            | 1           | 280.000    | 78,400.000            |
| 16              | 1        | 282.500    | 79,806.250            | 1           | 342.500    | 117,306.250           |
| 17              | 1        | 17.500     | 306.250               | 1           | 75.000     | 5,625.000             |
| 18              | 1        | 135.000    | 18,225.000            | 1           | 320.000    | 102,400.000           |
| 19              | 1        | 357.500    | 127,806.250           | 1           | 347.500    | 120,756.250           |
| 20              | 1        | 195.000    | 38,025.000            | 1           | 310.000    | 96,100.000            |
| 21              | 1        | 190.000    | 36,100.000            | 1           | 682.500    | 465,806.250           |
| 22              | 1        | 132.500    | 17,556.250            | 1           | 362.500    | 131,406.250           |
| 23              | 1        | 1,080.000  | 1,166,400.000         | 1           | 575.000    | 330,625.000           |
| 24              | 1        | 197.500    | 39,006.250            | 1           | 1,012.500  | 1,025,156.250         |
| 25              | 1        | 87.500     | 7,656.250             | 1           | 312.500    | 97,656.250            |
| 26              | 1        | 22.500     | 506.250               | 1           | 55.000     | 3,025.000             |
| 27              | 1        | 50.000     | 2,500.000             | 1           | 195.000    | 38,025.000            |
| 28              | 1        | 22.500     | 506.250               | 1           | 70.000     | 4,900.000             |
| 29              | 1        | 292.500    | 85,556.250            | 1           | 1,537.500  | 2,363,906.250         |
| 30              | 1        | 200.000    | 40,000.000            | 1           | 145.000    | 21,025.000            |
| 31              | 1        | 227.500    | 51,756.250            | 1           | 420.000    | 176,400.000           |
| 32              | 1        | 112.500    | 12,656.250            | 1           | 105.000    | 11,025.000            |
| 33              | 1        | 257.500    | 66,306.250            | 1           | 285.000    | 81,225.000            |
| 34              | 1        | 237.500    | 56,406.250            | 1           | 215.000    | 46,225.000            |
| 35              | 1        | 890.000    | 792,100.000           | 1           | 200.000    | 40,000.000            |
| sum             | 35       | 7,885.000  | 3,358,937.500         | 35          | 12,195.000 | 6,971,875.000         |
| SQRT            | 5.91608  |            |                       | 5.916079783 |            |                       |
| xbar            |          | 225.286    |                       |             | 348.429    |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 46,545.872 |                       |             | 80,082.017 |                       |
| SD              |          | 215.745    |                       |             | 282.988    |                       |
| R               |          | 1,062.500  |                       |             | 1,527.500  |                       |

$$153.8107 \leq \mu_3 \leq 296.7608$$

$$254.6764 \leq \mu_4 \leq 442.1807$$

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_0(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_0(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_0(0.95, 34)$  | = | 21.664 |
| $chi_0(0.05, 34)$  | = | 48.602 |
| $chi_0(0.975, 34)$ | = | 19.806 |
| $chi_0(0.025, 34)$ | = | 51.966 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_1(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_1(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_1(0.95, 34)$  | = | 21.664 |
| $chi_1(0.05, 34)$  | = | 48.602 |
| $chi_1(0.975, 34)$ | = | 19.806 |
| $chi_1(0.025, 34)$ | = | 51.966 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_2(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_2(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_2(0.95, 34)$  | = | 21.664 |
| $chi_2(0.05, 34)$  | = | 48.602 |
| $chi_2(0.975, 34)$ | = | 19.806 |
| $chi_2(0.025, 34)$ | = | 51.966 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $Z_3(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_3(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_3(0.95, 34)$  | = | 21.664 |
| $chi_3(0.05, 34)$  | = | 48.602 |
| $chi_3(0.975, 34)$ | = | 19.806 |
| $chi_3(0.025, 34)$ | = | 51.966 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_4(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $Z_4(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_4(0.95, 34)$  | = | 21.664 |
| $chi_4(0.05, 34)$  | = | 48.602 |
| $chi_4(0.975, 34)$ | = | 19.806 |
| $chi_4(0.025, 34)$ | = | 51.966 |

ตารางที่ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า

| ตัวอย่างที่ | cond บ่อ 0 |            |                         | cond บ่อ 1 |            |                         |
|-------------|------------|------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|
|             | จำนวน      | cond บ่อ 0 | cond บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน      | cond บ่อ 1 | cond บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1          | 5.300      | 28.090                  | 1          | 7.470      | 55.801                  |
| 2           | 1          | 8.020      | 64.320                  | 1          | 8.020      | 64.320                  |
| 3           | 1          | 5.710      | 32.604                  | 1          | 8.070      | 65.125                  |
| 4           | 1          | 7.180      | 51.552                  | 1          | 8.570      | 73.445                  |
| 5           | 1          | 5.110      | 26.112                  | 1          | 9.210      | 84.824                  |
| 6           | 1          | 6.580      | 43.296                  | 1          | 9.710      | 94.284                  |
| 7           | 1          | 7.980      | 63.680                  | 1          | 8.270      | 68.393                  |
| 8           | 1          | 4.690      | 21.996                  | 1          | 10.930     | 119.465                 |
| 9           | 1          | 3.870      | 14.977                  | 1          | 9.060      | 82.084                  |
| 10          | 1          | 6.630      | 43.957                  | 1          | 8.790      | 77.264                  |
| 11          | 1          | 4.470      | 19.981                  | 1          | 10.690     | 114.276                 |
| 12          | 1          | 4.690      | 21.996                  | 1          | 10.430     | 108.785                 |
| 13          | 1          | 8.540      | 72.932                  | 1          | 7.680      | 58.982                  |
| 14          | 1          | 6.430      | 41.345                  | 1          | 12.690     | 161.036                 |
| 15          | 1          | 6.180      | 38.192                  | 1          | 11.250     | 126.563                 |
| 16          | 1          | 6.110      | 37.332                  | 1          | 10.680     | 114.062                 |
| 17          | 1          | 4.560      | 20.794                  | 1          | 10.740     | 115.348                 |
| 18          | 1          | 5.580      | 31.136                  | 1          | 10.970     | 120.341                 |
| 19          | 1          | 5.690      | 32.376                  | 1          | 11.940     | 142.564                 |
| 20          | 1          | 9.480      | 89.870                  | 1          | 10.880     | 118.374                 |
| 21          | 1          | 6.560      | 43.034                  | 1          | 9.600      | 92.160                  |
| 22          | 1          | 6.270      | 39.313                  | 1          | 11.990     | 143.760                 |
| 23          | 1          | 5.460      | 29.812                  | 1          | 8.870      | 78.677                  |
| 24          | 1          | 3.520      | 12.390                  | 1          | 10.490     | 110.040                 |
| 25          | 1          | 4.390      | 19.272                  | 1          | 11.780     | 138.768                 |



ตารางที่ ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cond ป๋อ 0 |            |                         | cond ป๋อ 1  |            |                         |
|-----------------|------------|------------|-------------------------|-------------|------------|-------------------------|
|                 | จำนวน      | cond ป๋อ 0 | cond ป๋อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | cond ป๋อ 1 | cond ป๋อ 1 <sup>2</sup> |
| 26              | 1          | 5.310      | 28.196                  | 1           | 10.550     | 111.303                 |
| 27              | 1          | 5.030      | 25.301                  | 1           | 10.940     | 119.684                 |
| 28              | 1          | 5.490      | 30.140                  | 1           | 10.810     | 116.856                 |
| 29              | 1          | 4.650      | 21.623                  | 1           | 10.730     | 115.133                 |
| 30              | 1          | 6.200      | 38.440                  | 1           | 9.240      | 85.378                  |
| 31              | 1          | 8.360      | 69.890                  | 1           | 11.610     | 134.792                 |
| 32              | 1          | 9.430      | 88.925                  | 1           | 11.640     | 135.490                 |
| 33              | 1          | 4.890      | 23.912                  | 1           | 8.410      | 70.728                  |
| 34              | 1          | 3.510      | 12.320                  | 1           | 8.490      | 72.080                  |
| 35              | 1          | 6.700      | 44.890                  | 1           | 8.830      | 77.969                  |
| 36              | 1          | 5.440      | 29.594                  | 1           | 8.850      | 78.323                  |
| 37              | 1          | 4.190      | 17.556                  | 1           | 9.390      | 88.172                  |
| 38              | 1          | 4.710      | 22.184                  | 1           | 8.170      | 66.749                  |
| 39              | -          | -          | -                       | -           | -          | -                       |
| 40              | 1          | 9.000      | 81.000                  | 1           | 8.200      | 67.240                  |
| 41              | 1          | 8.600      | 73.960                  | 1           | 9.200      | 84.640                  |
| 42              | 1          | 4.920      | 24.206                  | 1           | 10.280     | 105.678                 |
| 43              | 1          | 4.570      | 20.885                  | 1           | 10.200     | 104.040                 |
| 44              | 1          | 5.630      | 31.697                  | 1           | 9.490      | 90.060                  |
| 45              | 1          | 4.730      | 22.373                  | 1           | 10.430     | 108.785                 |
| sum             | 44         | 260.360    | 1,647.452               | 44          | 434.240    | 4,361.840               |
| SQRT            | 6.63325    |            |                         | 6.633249581 |            |                         |
| xbar            |            | 5.917      |                         |             | 9.869      |                         |
| SD <sup>2</sup> |            | 2.484      |                         |             | 1.774      |                         |
| SD              |            | 1.576      |                         |             | 1.332      |                         |
| R               |            | 5.970      |                         |             | 5.220      |                         |

|                    |   |        |                    |   |        |
|--------------------|---|--------|--------------------|---|--------|
| $z_0(0.05/2)$      | = | 1.9600 | $z_1(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_0(0.05)$        | = | 1.6449 | $z_1(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_0(0.95, 43)$  | = | 28.965 | $chi_1(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $chi_0(0.05, 43)$  | = | 59.304 | $chi_1(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $chi_0(0.975, 43)$ | = | 26.785 | $chi_1(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $chi_0(0.025, 43)$ | = | 62.990 | $chi_1(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

$5.4515 \leq \mu_0 \leq 6.3830$   
 $9.4755 \leq \mu_1 \leq 10.2626$

ตารางที่ ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | cond ปอ 2 |           |                        |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|
|             | จำนวน     | cond ปอ 2 | cond ปอ 2 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 7.830     | 61.309                 |
| 2           | 1         | 7.800     | 60.840                 |
| 3           | 1         | 8.670     | 75.169                 |
| 4           | 1         | 8.510     | 72.420                 |
| 5           | 1         | 9.420     | 88.736                 |
| 6           | 1         | 8.880     | 78.854                 |
| 7           | 1         | 8.140     | 66.260                 |
| 8           | 1         | 11.090    | 122.988                |
| 9           | 1         | 8.990     | 80.820                 |
| 10          | 1         | 8.450     | 71.403                 |
| 11          | 1         | 10.080    | 101.606                |
| 12          | 1         | 10.850    | 117.723                |
| 13          | 1         | 8.850     | 78.323                 |
| 14          | 1         | 13.510    | 182.520                |
| 15          | 1         | 10.750    | 115.563                |
| 16          | 1         | 10.580    | 111.936                |
| 17          | 1         | 10.930    | 119.465                |
| 18          | 1         | 10.580    | 111.936                |
| 19          | 1         | 11.800    | 139.240                |
| 20          | 1         | 11.280    | 127.238                |
| 21          | 1         | 10.740    | 115.348                |
| 22          | 1         | 11.290    | 127.464                |
| 23          | 1         | 10.100    | 102.010                |
| 24          | 1         | 10.620    | 112.784                |
| 25          | 1         | 10.830    | 117.289                |
| 26          | 1         | 11.810    | 139.476                |
| 27          | 1         | 11.650    | 135.723                |
| 28          | 1         | 10.880    | 118.374                |
| 29          | 1         | 10.220    | 104.448                |
| 30          | 1         | 10.240    | 104.858                |
| 31          | 1         | 10.620    | 112.784                |
| 32          | 1         | 10.670    | 113.849                |
| 33          | 1         | 10.220    | 104.448                |
| 34          | 1         | 10.240    | 104.858                |
| 35          | 1         | 10.620    | 112.784                |
| 36          | 1         | 10.670    | 113.849                |
| 37          | 1         | 8.670     | 75.169                 |
| 38          | 1         | 9.150     | 83.723                 |
| 39          | 1         | 8.600     | 73.960                 |
| 40          | 1         | 8.930     | 79.745                 |
| 41          | 1         | 9.330     | 87.049                 |
| 42          | 1         | 8.010     | 64.160                 |
| 43          | -         | -         | -                      |
| 44          | 1         | 8.400     | 70.560                 |
| 45          | 1         | 8.200     | 67.240                 |
| 46          | 1         | 10.11     | 102.212                |
| 47          | 1         | 10.48     | 109.830                |
| 48          | 1         | 9.72      | 94.478                 |
| 49          | 1         | 10.28     | 105.678                |

ตารางที่ ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cond บ่อ 2 |            |            |
|-----------------|------------|------------|------------|
|                 | จำนวน      | cond บ่อ 2 | cond บ่อ 2 |
| sum             | 48         | 478.290    | 4,838.500  |
| SQRT            | 6.92820323 |            |            |
| xbar            |            | 9.964      |            |
| SD <sup>2</sup> |            | 1.546      |            |
| SD              |            | 1.243      |            |
| R               |            | 5.710      |            |

|                             |   |        |
|-----------------------------|---|--------|
| $z_2(0.05/2)$               | = | 1.9600 |
| $z_2(0.05)$                 | = | 1.6449 |
| $\text{chi}_2^2(0.95, 47)$  | = | 32.268 |
| $\text{chi}_2^2(0.05, 47)$  | = | 64.001 |
| $\text{chi}_2^2(0.975, 47)$ | = | 29.956 |
| $\text{chi}_2^2(0.025, 47)$ | = | 67.821 |

$9.6127 \leq \mu_2 \leq 10.3161$

ตารางที่ ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | cond บ่อ 3 |            |                         | cond บ่อ 4 |            |                         |
|-------------|------------|------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|
|             | จำนวน      | cond บ่อ 3 | cond บ่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน      | cond บ่อ 4 | cond บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1          | 7.690      | 59.136                  | 1          | 10.140     | 102.820                 |
| 2           | 1          | 7.800      | 60.840                  | 1          | 10.470     | 109.621                 |
| 3           | 1          | 8.130      | 66.097                  | 1          | 11.100     | 123.210                 |
| 4           | 1          | 8.430      | 71.065                  | 1          | 12.250     | 150.063                 |
| 5           | 1          | 8.980      | 80.640                  | 1          | 13.680     | 187.142                 |
| 6           | 1          | 8.940      | 79.924                  | 1          | 14.280     | 203.918                 |
| 7           | 1          | 9.040      | 81.722                  | 1          | 12.150     | 147.623                 |
| 8           | 1          | 9.830      | 96.629                  | 1          | 15.780     | 249.008                 |
| 9           | 1          | 9.470      | 89.681                  | 1          | 15.800     | 249.640                 |
| 10          | 1          | 9.480      | 89.870                  | 1          | 15.880     | 252.174                 |
| 11          | 1          | 9.300      | 86.490                  | 1          | 17.030     | 290.021                 |
| 12          | 1          | 10.000     | 100.000                 | 1          | 17.960     | 322.562                 |
| 13          | 1          | 6.860      | 47.060                  | 1          | 16.510     | 272.580                 |
| 14          | 1          | 12.400     | 153.760                 | 1          | 24.100     | 580.810                 |
| 15          | 1          | 10.180     | 103.632                 | 1          | 19.300     | 372.490                 |
| 16          | 1          | 10.500     | 110.250                 | 1          | 20.600     | 424.360                 |
| 17          | 1          | 10.380     | 107.744                 | 1          | 17.160     | 294.466                 |
| 18          | 1          | 8.970      | 80.461                  | 1          | 21.200     | 449.440                 |
| 19          | 1          | 11.180     | 124.992                 | 1          | 22.000     | 484.000                 |
| 20          | 1          | 11.400     | 129.960                 | 1          | 22.600     | 510.760                 |
| 21          | 1          | 11.620     | 135.024                 | 1          | 23.800     | 566.440                 |
| 22          | 1          | 11.780     | 138.768                 | 1          | 25.400     | 645.160                 |
| 23          | 1          | 12.020     | 144.480                 | 1          | 22.800     | 519.840                 |
| 24          | 1          | 11.700     | 136.890                 | 1          | 26.600     | 707.560                 |
| 25          | 1          | 11.340     | 128.596                 | 1          | 26.800     | 718.240                 |

ตารางที่ ก-6 ปริมาณความนำไฟฟ้า (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | cond บ่อ 3 |            |             | cond บ่อ 4  |            |             |
|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|                 | จำนวน      | cond บ่อ 3 | cond บ่อ 32 | จำนวน       | cond บ่อ 4 | cond บ่อ 42 |
| 26              | 1          | 11.510     | 132.480     | 1           | 26.100     | 681.210     |
| 27              | 1          | 10.540     | 111.092     | 1           | 26.100     | 681.210     |
| 28              | 1          | 11.620     | 135.024     | 1           | 25.700     | 660.490     |
| 29              | 1          | 9.310      | 86.676      | 1           | 28.500     | 812.250     |
| 30              | 1          | 10.880     | 118.374     | 1           | 24.400     | 595.360     |
| 31              | 1          | 10.470     | 109.621     | 1           | 2.700      | 7.290       |
| 32              | 1          | 10.580     | 111.936     | 1           | 24.030     | 577.441     |
| 33              | 1          | 10.270     | 105.473     | 1           | 18.760     | 351.938     |
| 34              | 1          | 9.530      | 90.821      | 1           | 18.240     | 332.698     |
| 35              | 1          | 9.370      | 87.797      | 1           | 16.630     | 276.557     |
| 36              | 1          | 9.380      | 87.984      | 1           | 15.190     | 230.736     |
| 37              | 1          | 9.530      | 90.821      | 1           | 15.470     | 239.321     |
| 38              | 1          | 8.020      | 64.320      | 1           | 13.010     | 169.260     |
| 39              | -          | -          | -           | -           | -          | -           |
| 40              | 1          | 11.000     | 121.000     | 1           | 9.200      | 84.640      |
| 41              | 1          | 10.000     | 100.000     | 1           | 9.200      | 84.640      |
| 42              | 1          | 9.570      | 91.585      | 1           | 12.700     | 161.290     |
| 43              | 1          | 10.120     | 102.414     | 1           | 14.160     | 200.506     |
| 44              | 1          | 9.940      | 98.804      | 1           | 15.470     | 239.321     |
| 45              | 1          | 10.230     | 104.653     | 1           | 16.560     | 274.234     |
| sum             | 44         | 439.290    | 4,454.588   | 44          | 787.510    | 15,594.338  |
| SQRT            | 6.63325    |            |             | 6.633249581 |            |             |
| xbar            |            | 9.984      |             |             | 17.898     |             |
| SD <sup>2</sup> |            | 1.599      |             |             | 34.873     |             |
| SD              |            | 1.265      |             |             | 5.905      |             |
| R               |            | 5.540      |             |             | 25.800     |             |

|                              |   |        |
|------------------------------|---|--------|
| Z <sub>3</sub> (0.05/2)      | = | 1.9600 |
| Z <sub>3</sub> (0.05)        | = | 1.6449 |
| chi <sub>3</sub> (0.95, 43)  | = | 28.965 |
| chi <sub>3</sub> (0.05, 43)  | = | 59.304 |
| chi <sub>3</sub> (0.975, 43) | = | 26.785 |
| chi <sub>3</sub> (0.025, 43) | = | 62.990 |

|                              |   |        |
|------------------------------|---|--------|
| Z <sub>4</sub> (0.05/2)      | = | 1.9600 |
| Z <sub>4</sub> (0.05)        | = | 1.6449 |
| chi <sub>4</sub> (0.95, 43)  | = | 28.965 |
| chi <sub>4</sub> (0.05, 43)  | = | 59.304 |
| chi <sub>4</sub> (0.975, 43) | = | 26.785 |
| chi <sub>4</sub> (0.025, 43) | = | 62.990 |

9.6102 ≤ μ<sub>3</sub> ≤ 10.3576  
16.1531 ≤ μ<sub>4</sub> ≤ 19.6428

ตารางที่ ก-7 ค่าพีเอช

| ตัวอย่างที่ | pH บ่อ 0 |          |                       | pH บ่อ 1 |          |                       |
|-------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|
|             | จำนวน    | pH บ่อ 0 | pH บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน    | pH บ่อ 1 | pH บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 9.010    | 81.180                | 1        | 7.690    | 59.136                |
| 2           | 1        | 10.650   | 113.423               | 1        | 7.840    | 61.466                |
| 3           | 1        | 10.090   | 101.808               | 1        | 7.840    | 61.466                |
| 4           | 1        | 9.080    | 82.446                | 1        | 7.900    | 62.410                |
| 5           | 1        | 10.000   | 100.000               | 1        | 7.580    | 57.456                |
| 6           | 1        | 10.020   | 100.400               | 1        | 7.340    | 53.876                |
| 7           | 1        | 10.000   | 100.000               | 1        | 8.060    | 64.964                |
| 8           | 1        | 10.380   | 107.744               | 1        | 7.860    | 61.780                |
| 9           | 1        | 11.120   | 123.654               | 1        | 7.060    | 49.844                |
| 10          | 1        | 10.310   | 106.296               | 1        | 7.930    | 62.885                |
| 11          | 1        | 6.640    | 44.090                | 1        | 7.130    | 50.837                |
| 12          | 1        | 6.820    | 46.512                | 1        | 7.220    | 52.128                |
| 13          | 1        | 10.660   | 113.636               | 1        | 7.880    | 62.094                |
| 14          | 1        | 9.280    | 86.118                | 1        | 8.180    | 66.912                |
| 15          | 1        | 8.200    | 67.240                | 1        | 7.620    | 58.064                |
| 16          | 1        | 8.640    | 74.650                | 1        | 7.690    | 59.136                |
| 17          | 1        | 7.190    | 51.696                | 1        | 7.800    | 60.840                |
| 18          | 1        | 7.150    | 51.123                | 1        | 8.290    | 68.724                |
| 19          | 1        | 10.110   | 102.212               | 1        | 8.090    | 65.448                |
| 20          | 1        | 11.260   | 126.788               | 1        | 8.450    | 71.403                |
| 21          | 1        | 9.810    | 96.236                | 1        | 8.220    | 67.568                |
| 22          | 1        | 10.330   | 106.709               | 1        | 8.110    | 65.772                |
| 23          | 1        | 10.130   | 102.617               | 1        | 8.270    | 68.393                |
| 24          | 1        | 6.820    | 46.512                | 1        | 8.100    | 65.610                |
| 25          | 1        | 10.800   | 116.640               | 1        | 8.090    | 65.448                |
| 26          | 1        | 7.500    | 56.250                | 1        | 8.120    | 65.934                |
| 27          | 1        | 9.590    | 91.968                | 1        | 8.510    | 72.420                |
| 28          | 1        | 5.910    | 34.928                | 1        | 7.970    | 63.521                |
| 29          | 1        | 10.110   | 102.212               | 1        | 7.780    | 60.528                |
| 30          | 1        | 10.990   | 120.780               | 1        | 8.010    | 64.160                |
| 31          | 1        | 11.140   | 124.100               | 1        | 8.250    | 68.063                |
| 32          | 1        | 10.870   | 118.157               | 1        | 8.220    | 67.568                |
| 33          | 1        | 10.410   | 108.368               | 1        | 7.710    | 59.444                |
| 34          | 1        | 6.910    | 47.748                | 1        | 7.940    | 63.044                |
| 35          | 1        | 10.660   | 113.636               | 1        | 7.320    | 53.582                |
| 36          | 1        | 8.450    | 71.403                | 1        | 8.120    | 65.934                |
| 37          | 1        | 7.700    | 59.290                | 1        | 7.880    | 62.094                |
| 38          | 1        | 6.670    | 44.489                | 1        | 7.040    | 49.562                |
| 39          | -        | -        | -                     | -        | -        | -                     |
| 40          | 1        | 8.400    | 70.560                | 1        | 9.200    | 84.640                |
| 41          | 1        | 9.200    | 84.640                | 1        | 8.600    | 73.960                |
| 42          | 1        | 10.680   | 114.062               | 1        | 7.650    | 58.523                |
| 43          | 1        | 7.530    | 56.701                | 1        | 7.550    | 57.003                |
| 44          | 1        | 10.020   | 100.400               | 1        | 7.570    | 57.305                |
| 45          | 1        | 10.380   | 107.744               | 1        | 7.750    | 60.063                |
|             |          |          |                       |          |          |                       |

|                 |         |         |           |             |         |           |
|-----------------|---------|---------|-----------|-------------|---------|-----------|
| sum             | 44      | 407.620 | 3,877.167 | 44          | 347.430 | 2,751.008 |
| SQRT            | 6.63325 |         |           | 6.633249581 |         |           |
| xbar            |         | 9.264   |           |             | 7.896   |           |
| SD <sup>2</sup> |         | 2.347   |           |             | 0.178   |           |
| SD              |         | 1.532   |           |             | 0.422   |           |
| R               |         | 5.350   |           |             | 2.160   |           |

|                        |   |        |                        |   |        |
|------------------------|---|--------|------------------------|---|--------|
| $z_0(0.05/2)$          | = | 1.9600 | $z_1(0.05/2)$          | = | 1.9600 |
| $z_0(0.05)$            | = | 1.6449 | $z_1(0.05)$            | = | 1.6449 |
| $\chi_{i0}(0.95, 43)$  | = | 28.965 | $\chi_{i1}(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $\chi_{i0}(0.05, 43)$  | = | 59.304 | $\chi_{i1}(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $\chi_{i0}(0.975, 43)$ | = | 26.785 | $\chi_{i1}(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $\chi_{i0}(0.025, 43)$ | = | 62.990 | $\chi_{i1}(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

$8.8114 \leq \mu_0 \leq 9.7168$   
 $7.7715 \leq \mu_1 \leq 8.0208$

ตารางที่ ก-7 ค่าพีเอช (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | pH บ่อ 2 |          |                       |
|-------------|----------|----------|-----------------------|
|             | จำนวน    | pH บ่อ 2 | pH บ่อ 2 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 7.900    | 62.410                |
| 2           | 1        | 8.200    | 67.240                |
| 3           | 1        | 7.990    | 63.840                |
| 4           | 1        | 7.930    | 62.885                |
| 5           | 1        | 7.760    | 60.218                |
| 6           | 1        | 7.950    | 63.203                |
| 7           | 1        | 8.260    | 68.228                |
| 8           | 1        | 8.270    | 68.393                |
| 9           | 1        | 8.110    | 65.772                |
| 10          | 1        | 8.590    | 73.788                |
| 11          | 1        | 7.830    | 61.309                |
| 12          | 1        | 7.740    | 59.908                |
| 13          | 1        | 8.080    | 65.286                |
| 14          | 1        | 8.090    | 65.448                |
| 15          | 1        | 8.570    | 73.445                |
| 16          | 1        | 8.080    | 65.286                |
| 17          | 1        | 8.160    | 66.586                |
| 18          | 1        | 8.270    | 68.393                |
| 19          | 1        | 8.480    | 71.910                |
| 20          | 1        | 8.660    | 74.996                |
| 21          | 1        | 8.670    | 75.169                |
| 22          | 1        | 8.950    | 80.103                |
| 23          | 1        | 8.530    | 72.761                |
| 24          | 1        | 8.580    | 73.616                |
| 25          | 1        | 8.320    | 69.222                |
| 26          | 1        | 8.220    | 67.568                |
| 27          | 1        | 8.530    | 72.761                |
| 28          | 1        | 8.240    | 67.898                |
| 29          | 1        | 8.020    | 64.320                |
| 30          | 1        | 8.330    | 69.389                |
| 31          | 1        | 8.510    | 72.420                |

ตารางที่ ก-7 ค่าพีเอช (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | pH บ่อ 2   |          |           |
|-----------------|------------|----------|-----------|
|                 | จำนวน      | pH บ่อ 2 | pH บ่อ 22 |
| 32              | 1          | 8.410    | 70.728    |
| 33              | 1          | 8.020    | 64.320    |
| 34              | 1          | 8.330    | 69.389    |
| 35              | 1          | 8.510    | 72.420    |
| 36              | 1          | 8.410    | 70.728    |
| 37              | 1          | 8.080    | 65.286    |
| 38              | 1          | 8.250    | 68.063    |
| 39              | 1          | 7.820    | 61.152    |
| 40              | 1          | 8.510    | 72.420    |
| 41              | 1          | 8.680    | 75.342    |
| 42              | 1          | 7.450    | 55.503    |
| 43              | -          | -        | -         |
| 44              | 1          | 8.600    | 73.960    |
| 45              | 1          | 8.200    | 67.240    |
| 46              | 1          | 7.940    | 63.044    |
| 47              | 1          | 7.920    | 62.726    |
| 48              | 1          | 8.130    | 66.097    |
| 49              | 1          | 8.600    | 73.960    |
|                 |            |          |           |
| sum             | 48         | 395.680  | 3,266.149 |
| SQRT            | 6.92820323 |          |           |
| xbar            |            | 8.243    |           |
| SD <sup>2</sup> |            | 0.094    |           |
| SD              |            | 0.307    |           |
| R               |            | 1.500    |           |

|                       |   |        |
|-----------------------|---|--------|
| $z_2(0.05/2)$         | = | 1.9600 |
| $z_2(0.05)$           | = | 1.6449 |
| $\chi^2_2(0.95, 47)$  | = | 32.268 |
| $\chi^2_2(0.05, 47)$  | = | 64.001 |
| $\chi^2_2(0.975, 47)$ | = | 29.956 |
| $\chi^2_2(0.025, 47)$ | = | 67.821 |

$8.1565 \leq \mu_2 \leq 8.3302$

ตารางที่ ก-7 ค่าพีเอช (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | pH บ่อ 3 |          |                       | pH บ่อ 4 |          |                       |
|-------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|
|             | จำนวน    | pH บ่อ 3 | pH บ่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน    | pH บ่อ 4 | pH บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1        | 8.190    | 67.076                | 1        | 8.080    | 65.286                |
| 2           | 1        | 8.220    | 67.568                | 1        | 8.150    | 66.423                |
| 3           | 1        | 8.360    | 69.890                | 1        | 8.140    | 66.260                |
| 4           | 1        | 8.410    | 70.728                | 1        | 8.060    | 64.964                |
| 5           | 1        | 8.320    | 69.222                | 1        | 7.890    | 62.252                |
| 6           | 1        | 8.210    | 67.404                | 1        | 7.390    | 54.612                |
| 7           | 1        | 8.570    | 73.445                | 1        | 8.240    | 67.898                |
| 8           | 1        | 8.590    | 73.788                | 1        | 8.090    | 65.448                |
| 9           | 1        | 8.140    | 66.260                | 1        | 7.910    | 62.568                |

ตารางที่ ก-7 ค่าพีเอช (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | pH บ่อ 3 |          |                       | pH บ่อ 4    |          |                       |
|-----------------|----------|----------|-----------------------|-------------|----------|-----------------------|
|                 | จำนวน    | pH บ่อ 3 | pH บ่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน       | pH บ่อ 4 | pH บ่อ 4 <sup>2</sup> |
| 10              | 1        | 8.270    | 68.393                | 1           | 7.850    | 61.623                |
| 11              | 1        | 8.250    | 68.063                | 1           | 7.840    | 61.466                |
| 12              | 1        | 8.430    | 71.065                | 1           | 7.890    | 62.252                |
| 13              | 1        | 8.250    | 68.063                | 1           | 7.800    | 60.840                |
| 14              | 1        | 8.280    | 68.558                | 1           | 7.990    | 63.840                |
| 15              | 1        | 8.130    | 66.097                | 1           | 7.830    | 61.309                |
| 16              | 1        | 8.240    | 67.898                | 1           | 7.840    | 61.466                |
| 17              | 1        | 8.320    | 69.222                | 1           | 7.790    | 60.684                |
| 18              | 1        | 8.330    | 69.389                | 1           | 7.900    | 62.410                |
| 19              | 1        | 8.380    | 70.224                | 1           | 7.560    | 57.154                |
| 20              | 1        | 8.460    | 71.572                | 1           | 7.940    | 63.044                |
| 21              | 1        | 8.560    | 73.274                | 1           | 8.100    | 65.610                |
| 22              | 1        | 8.870    | 78.677                | 1           | 8.040    | 64.642                |
| 23              | 1        | 8.890    | 79.032                | 1           | 8.200    | 67.240                |
| 24              | 1        | 8.730    | 76.213                | 1           | 7.670    | 58.829                |
| 25              | 1        | 8.700    | 75.690                | 1           | 8.010    | 64.160                |
| 26              | 1        | 8.670    | 75.169                | 1           | 7.930    | 62.885                |
| 27              | 1        | 8.040    | 64.642                | 1           | 8.000    | 64.000                |
| 28              | 1        | 8.760    | 76.738                | 1           | 7.980    | 63.680                |
| 29              | 1        | 8.720    | 76.038                | 1           | 7.950    | 63.203                |
| 30              | 1        | 8.720    | 76.038                | 1           | 7.840    | 61.466                |
| 31              | 1        | 8.870    | 78.677                | 1           | 8.320    | 69.222                |
| 32              | 1        | 8.560    | 73.274                | 1           | 8.290    | 68.724                |
| 33              | 1        | 8.660    | 74.996                | 1           | 7.990    | 63.840                |
| 34              | 1        | 8.600    | 73.960                | 1           | 7.880    | 62.094                |
| 35              | 1        | 8.630    | 74.477                | 1           | 7.740    | 59.908                |
| 36              | 1        | 8.720    | 76.038                | 1           | 8.110    | 65.772                |
| 37              | 1        | 8.860    | 78.500                | 1           | 8.050    | 64.803                |
| 38              | 1        | 7.790    | 60.684                | 1           | 7.670    | 58.829                |
| 39              | -        | -        | -                     | -           | -        | -                     |
| 40              | 1        | 8.200    | 67.240                | 1           | 7.600    | 57.760                |
| 41              | 1        | 8.400    | 70.560                | 1           | 7.800    | 60.840                |
| 42              | 1        | 8.220    | 67.568                | 1           | 7.550    | 57.003                |
| 43              | 1        | 7.820    | 61.152                | 1           | 7.640    | 58.370                |
| 44              | 1        | 8.120    | 65.934                | 1           | 7.750    | 60.063                |
| 45              | 1        | 8.210    | 67.404                | 1           | 7.770    | 60.373                |
| sum             | 44       | 370.670  | 3,125.899             | 44          | 348.060  | 2,755.110             |
| SQRT            | 6.63325  |          |                       | 6.633249581 |          |                       |
| xbar            |          | 8.424    |                       |             | 7.910    |                       |
| SD <sup>2</sup> |          | 0.076    |                       |             | 0.042    |                       |
| SD              |          | 0.275    |                       |             | 0.204    |                       |
| R               |          | 1.100    |                       |             | 0.930    |                       |



|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_3(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_3(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_3(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $chi_3(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $chi_3(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $chi_3(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $Z_4(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $Z_4(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_4(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $chi_4(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $chi_4(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $chi_4(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

$8.3430 \leq \mu_3 \leq 8.5056$

$7.8501 \leq \mu_4 \leq 7.9709$

ตารางที่ ก-8 ค่าความชุ่น

| ตัวอย่างที่ | ชุ่นป่อ 0 |            |                         | ชุ่นป่อ 1 |            |                         |
|-------------|-----------|------------|-------------------------|-----------|------------|-------------------------|
|             | จำนวน     | ชุ่น ป่อ 0 | ชุ่น ป่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน     | ชุ่น ป่อ 1 | ชุ่น ป่อ 1 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 42.600     | 1,814.760               | 1         | 30.500     | 930.250                 |
| 2           | 1         | 10.400     | 108.160                 | 1         | 148.100    | 21,933.610              |
| 3           | 1         | 15.700     | 246.490                 | 1         | 40.700     | 1,656.490               |
| 4           | 1         | 28.000     | 784.000                 | 1         | 92.800     | 8,611.840               |
| 5           | 1         | 227.600    | 51,801.760              | 1         | 76.000     | 5,776.000               |
| 6           | 1         | 2.060      | 4.244                   | 1         | 49.000     | 2,401.000               |
| 7           | 1         | 1.420      | 2.016                   | 1         | 146.000    | 21,316.000              |
| 8           | 1         | 7.630      | 58.217                  | 1         | 72.600     | 5,270.760               |
| 9           | 1         | 392.000    | 153,664.000             | 1         | 345.600    | 119,439.360             |
| 10          | 1         | 264.000    | 69,696.000              | 1         | 739.000    | 546,121.000             |
| 11          | 1         | 174.000    | 30,276.000              | 1         | 97.000     | 9,409.000               |
| 12          | 1         | 147.000    | 21,609.000              | 1         | 148.000    | 21,904.000              |
| 13          | 1         | 141.000    | 19,881.000              | 1         | 381.000    | 145,161.000             |
| 14          | 1         | 238.000    | 56,644.000              | 1         | 35.000     | 1,225.000               |
| 15          | 1         | 141.000    | 19,881.000              | 1         | 101.000    | 10,201.000              |
| 16          | 1         | 158.000    | 24,964.000              | 1         | 114.000    | 12,996.000              |
| 17          | 1         | 214.000    | 45,796.000              | 1         | 187.000    | 34,969.000              |
| 18          | 1         | 172.000    | 29,584.000              | 1         | 522.000    | 272,484.000             |
| 19          | 1         | 231.000    | 53,361.000              | 1         | 580.000    | 336,400.000             |
| 20          | 1         | 81.000     | 6,561.000               | 1         | 580.000    | 336,400.000             |
| 21          | 1         | 103.000    | 10,609.000              | 1         | 251.000    | 63,001.000              |
| 22          | 1         | 146.000    | 21,316.000              | 1         | 48.000     | 2,304.000               |
| 23          | 1         | 187.000    | 34,969.000              | 1         | 186.000    | 34,596.000              |
| 24          | 1         | 165.000    | 27,225.000              | 1         | 746.000    | 556,516.000             |
| 25          | 1         | 187.000    | 34,969.000              | 1         | 606.000    | 367,236.000             |
| 26          | 1         | 90.000     | 8,100.000               | 1         | 230.000    | 52,900.000              |
| 27          | 1         | 140.000    | 19,600.000              | 1         | 40.000     | 1,600.000               |
| 28          | 1         | 280.000    | 78,400.000              | 1         | 110.000    | 12,100.000              |
| 29          | 1         | 41.300     | 1,705.690               | 1         | 118.300    | 13,994.890              |
| 30          | 1         | 8.620      | 74.304                  | 1         | 61.000     | 3,721.000               |
| 31          | 1         | 35.800     | 1,281.640               | 1         | 17.430     | 303.805                 |
| 32          | 1         | 29.430     | 866.125                 | 1         | 15.140     | 229.220                 |
| 33          | 1         | 30.000     | 900.000                 | 1         | 39.200     | 1,536.640               |
| 34          | 1         | 60.300     | 3,636.090               | 1         | 220.000    | 48,400.000              |

ตารางที่ ก-8 ค่าความชุ่น (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | ชุ่นบ่อ 0 |            |                         | ชุ่นบ่อ 1   |            |                         |
|-----------------|-----------|------------|-------------------------|-------------|------------|-------------------------|
|                 | จำนวน     | ชุ่น บ่อ 0 | ชุ่น บ่อ 0 <sup>2</sup> | จำนวน       | ชุ่น บ่อ 1 | ชุ่น บ่อ 1 <sup>2</sup> |
| 35              | 1         | 159.000    | 25,281.000              | 1           | 48.100     | 2,313.610               |
| 36              | 1         | 123.000    | 15,129.000              | 1           | 153.800    | 23,654.440              |
| 37              | 1         | 90.000     | 8,100.000               | 1           | 66.000     | 4,356.000               |
| 38              | 1         | 63.300     | 4,006.890               | 1           | 102.900    | 10,588.410              |
| 39              | -         | -          | -                       | -           | -          | -                       |
| 40              | 1         | 110.000    | 12,100.000              | 1           | 150.000    | 22,500.000              |
| 41              | 1         | 100.000    | 10,000.000              | 1           | 210.000    | 44,100.000              |
| 42              | 1         | 6.100      | 37.210                  | 1           | 6.400      | 40.960                  |
| 43              | 1         | 1.000      | 1.000                   | 1           | 50.100     | 2,510.010               |
| 44              | 1         | 30.000     | 900.000                 | 1           | 80.000     | 6,400.000               |
| 45              | 1         | 35.200     | 1,239.040               | 1           | 118.600    | 14,065.960              |
| sum             | 44        | 4,909.460  | 907,182.636             | 44          | 8,159.270  | 3,203,573.255           |
| SQRT            | 6.63325   |            |                         | 6.633249581 |            |                         |
| xbar            |           | 111.579    |                         |             | 185.438    |                         |
| SD <sup>2</sup> |           | 8,357.948  |                         |             | 39,314.765 |                         |
| SD              |           | 91.422     |                         |             | 198.280    |                         |
| R               |           | 391.000    |                         |             | 739.600    |                         |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_0(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_0(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_0(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $chi_0(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $chi_0(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $chi_0(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_1(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_1(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_1(0.95, 43)$  | = | 28.965 |
| $chi_1(0.05, 43)$  | = | 59.304 |
| $chi_1(0.975, 43)$ | = | 26.785 |
| $chi_1(0.025, 43)$ | = | 62.990 |

$84.5657 \leq \mu_0 \leq 138.5915$   
 $126.8512 \leq \mu_1 \leq 244.0247$

ตารางที่ ก-8 ค่าความชุ่น (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | ชุ่นบ่อ 2 |            |                         |
|-------------|-----------|------------|-------------------------|
|             | จำนวน     | ชุ่น บ่อ 2 | ชุ่น บ่อ 2 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 45.600     | 2,079.360               |
| 2           | 1         | 50.400     | 2,540.160               |
| 3           | 1         | 105.100    | 11,046.010              |
| 4           | 1         | 44.800     | 2,007.040               |
| 5           | 1         | 54.000     | 2,916.000               |
| 6           | 1         | 560.000    | 313,600.000             |
| 7           | 1         | 330.000    | 108,900.000             |
| 8           | 1         | 93.000     | 8,649.000               |
| 9           | 1         | 336.000    | 112,896.000             |
| 10          | 1         | 959.000    | 919,681.000             |
| 11          | 1         | 188.000    | 35,344.000              |
| 12          | 1         | 120.000    | 14,400.000              |
| 13          | 1         | 781.000    | 609,961.000             |

ตารางที่ ก-8 ค่าความชุ่น (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | ชั้นปอ 2   |            |                        |
|-----------------|------------|------------|------------------------|
|                 | จำนวน      | ชั้น ปอ 2  | ชั้น ปอ 2 <sup>2</sup> |
| 14              | 1          | 61.000     | 3,721.000              |
| 15              | 1          | 123.000    | 15,129.000             |
| 16              | 1          | 62.000     | 3,844.000              |
| 17              | 1          | 282.000    | 79,524.000             |
| 18              | 1          | 291.000    | 84,681.000             |
| 19              | 1          | 122.000    | 14,884.000             |
| 20              | 1          | 271.000    | 73,441.000             |
| 21              | 1          | 191.000    | 36,481.000             |
| 22              | 1          | 97.000     | 9,409.000              |
| 23              | 1          | 88.000     | 7,744.000              |
| 24              | 1          | 440.000    | 193,600.000            |
| 25              | 1          | 216.000    | 46,656.000             |
| 26              | 1          | 90.000     | 8,100.000              |
| 27              | 1          | 30.000     | 900.000                |
| 28              | 1          | 40.000     | 1,600.000              |
| 29              | 1          | 42.300     | 1,789.290              |
| 30              | 1          | 177.700    | 31,577.290             |
| 31              | 1          | 34.900     | 1,218.010              |
| 32              | 1          | 28.270     | 799.193                |
| 33              | 1          | 42.300     | 1,789.290              |
| 34              | 1          | 177.700    | 31,577.290             |
| 35              | 1          | 34.900     | 1,218.010              |
| 36              | 1          | 28.270     | 799.193                |
| 37              | 1          | 81.000     | 6,561.000              |
| 38              | 1          | 196.600    | 38,651.560             |
| 39              | 1          | 21.800     | 475.240                |
| 40              | 1          | 379.000    | 143,641.000            |
| 41              | 1          | 122.000    | 14,884.000             |
| 42              | 1          | 362.000    | 131,044.000            |
| 43              | -          | -          | -                      |
| 44              | 1          | 130.000    | 16,900.000             |
| 45              | 1          | 120.000    | 14,400.000             |
|                 |            |            |                        |
| sum             | 48         | 9,248.340  | 3,850,811.026          |
| SQRT            | 6.92820323 |            |                        |
| xbar            |            | 192.674    |                        |
| SD <sup>2</sup> |            | 44,019.121 |                        |
| SD              |            | 209.807    |                        |
| R               |            | 951.800    |                        |

|                    |   |        |
|--------------------|---|--------|
| $z_2(0.05/2)$      | = | 1.9600 |
| $z_2(0.05)$        | = | 1.6449 |
| $chi_2(0.95, 47)$  | = | 32.268 |
| $chi_2(0.05, 47)$  | = | 64.001 |
| $chi_2(0.975, 47)$ | = | 29.956 |
| $chi_2(0.025, 47)$ | = | 67.821 |

$133.3200 \leq \mu_2 \leq 252.0275$

ตารางที่ ก-8 ค่าความขุ่น (ต่อ)

| ตัวอย่างที่ | ชั้น ปอ 3 |           |                        | ชั้น ปอ 4 |           |                      |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|----------------------|
|             | จำนวน     | ชั้น ปอ 3 | ชั้น ปอ 3 <sup>2</sup> | จำนวน     | ชั้น ปอ 4 | pH ปอ 4 <sup>2</sup> |
| 1           | 1         | 4.700     | 22.090                 | 1         | 2.200     | 4.840                |
| 2           | 1         | 17.500    | 306.250                | 1         | 4.500     | 20.250               |
| 3           | 1         | 2.500     | 6.250                  | 1         | 3.100     | 9.610                |
| 4           | 1         | 3.500     | 12.250                 | 1         | 2.800     | 7.840                |
| 5           | 1         | 1.590     | 2.528                  | 1         | 2.040     | 4.162                |
| 6           | 1         | 1.590     | 2.528                  | 1         | 2.960     | 8.762                |
| 7           | 1         | 1.480     | 2.190                  | 1         | 1.030     | 1.061                |
| 8           | 1         | 3.880     | 15.054                 | 1         | 6.010     | 36.120               |
| 9           | 1         | 13.310    | 177.156                | 1         | 2.830     | 8.009                |
| 10          | 1         | 10.140    | 102.820                | 1         | 2.360     | 5.570                |
| 11          | 1         | 4.860     | 23.620                 | 1         | 0.820     | 0.672                |
| 12          | 1         | 4.240     | 17.978                 | 1         | 1.310     | 1.716                |
| 13          | 1         | 787.000   | 619,369.000            | 1         | 176.000   | 30,976.000           |
| 14          | 1         | 1.200     | 1.440                  | 1         | 0.510     | 0.260                |
| 15          | 1         | 2.020     | 4.080                  | 1         | 0.370     | 0.137                |
| 16          | 1         | 3.250     | 10.563                 | 1         | 0.670     | 0.449                |
| 17          | 1         | 4.250     | 18.063                 | 1         | 1.460     | 2.132                |
| 18          | 1         | 4.620     | 21.344                 | 1         | 1.180     | 1.392                |
| 19          | 1         | 86.000    | 7,396.000              | 1         | 1.650     | 2.723                |
| 20          | 1         | 96.000    | 9,216.000              | 1         | 2.470     | 6.101                |
| 21          | 1         | 49.000    | 2,401.000              | 1         | 1.980     | 3.920                |
| 22          | 1         | 2.370     | 5.617                  | 1         | 2.150     | 4.623                |
| 23          | 1         | 2.460     | 6.052                  | 1         | 7.360     | 54.170               |
| 24          | 1         | 2.040     | 4.162                  | 1         | 2.460     | 6.052                |
| 25          | 1         | 4.660     | 21.716                 | 1         | 3.360     | 11.290               |
| 26          | 1         | 5.100     | 26.010                 | 1         | 1.800     | 3.240                |
| 27          | 1         | 170.000   | 28,900.000             | 1         | 2.100     | 4.410                |
| 28          | 1         | 3.500     | 12.250                 | 1         | 0.900     | 0.810                |
| 29          | 1         | 6.200     | 38.440                 | 1         | 1.300     | 1.690                |
| 30          | 1         | 11.360    | 129.050                | 1         | 2.460     | 6.052                |
| 31          | 1         | 6.030     | 36.361                 | 1         | 2.310     | 5.336                |
| 32          | 1         | 6.160     | 37.946                 | 1         | 2.240     | 5.018                |
| 33          | 1         | 4.530     | 20.521                 | 1         | 0.620     | 0.384                |
| 34          | 1         | 9.400     | 88.360                 | 1         | 2.700     | 7.290                |
| 35          | 1         | 2.030     | 4.121                  | 1         | 1.780     | 3.168                |
| 36          | 1         | 13.400    | 179.560                | 1         | 0.710     | 0.504                |
| 37          | 1         | 5.800     | 33.640                 | 1         | 61.200    | 3,745.440            |
| 38          | 1         | 72.900    | 5,314.410              | 1         | 1.080     | 1.166                |
| 39          | -         | -         | -                      | -         | -         | -                    |
| 40          | 1         | 0.700     | 0.490                  | 1         | 0.300     | 0.090                |
| 41          | 1         | 0.800     | 0.640                  | 1         | 0.300     | 0.090                |
| 42          | 1         | 3.500     | 12.250                 | 1         | 3.300     | 10.890               |
| 43          | 1         | 11.900    | 141.610                | 1         | 0.100     | 0.010                |
| 44          | 1         | 6.400     | 40.960                 | 1         | 2.100     | 4.410                |
| 45          | 1         | 20.600    | 424.360                | 1         | 0.830     | 0.689                |

ตารางที่ก-8 ค่าความขุ่น (ต่อ)

| ตัวอย่างที่     | ขุ่น ป่อ 3 |            |                         | ขุ่น ป่อ 4  |            |                       |
|-----------------|------------|------------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|
|                 | จำนวน      | ขุ่น ป่อ 3 | ขุ่น ป่อ 3 <sup>2</sup> | จำนวน       | ขุ่น ป่อ 4 | pH ป่อ 4 <sup>2</sup> |
| sum             | 44         | 1,474.470  | 674,606.727             | 44          | 321.710    | 34,978.546            |
| SQRT            | 6.63325    |            |                         | 6.633249581 |            |                       |
| xber            |            | 33.511     |                         |             | 7.312      |                       |
| SD <sup>2</sup> |            | 14,539.447 |                         |             | 758.752    |                       |
| SD              |            | 120.580    |                         |             | 27.545     |                       |
| R               |            | 786.300    |                         |             | 175.900    |                       |

|                              |   |        |
|------------------------------|---|--------|
| Z <sub>3</sub> (0.05/2)      | = | 1.9600 |
| Z <sub>3</sub> (0.05)        | = | 1.6449 |
| chi <sub>3</sub> (0.95, 43)  | = | 28.965 |
| chi <sub>3</sub> (0.05, 43)  | = | 59.304 |
| chi <sub>3</sub> (0.975, 43) | = | 26.785 |
| chi <sub>3</sub> (0.025, 43) | = | 62.990 |

|                              |   |        |
|------------------------------|---|--------|
| Z <sub>4</sub> (0.05/2)      | = | 1.9600 |
| Z <sub>4</sub> (0.05)        | = | 1.6449 |
| chi <sub>4</sub> (0.95, 43)  | = | 28.965 |
| chi <sub>4</sub> (0.05, 43)  | = | 59.304 |
| chi <sub>4</sub> (0.975, 43) | = | 26.785 |
| chi <sub>4</sub> (0.025, 43) | = | 62.990 |

-2.1176 ≤ μ<sub>3</sub> ≤ 69.1390  
-0.8274 ≤ μ<sub>4</sub> ≤ 15.4506

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-9 การวิเคราะห์ค่าความชาวครั้งที่ 1

| Treatment | จำนวนซ้ำ |       |       | $y_i$    | $(y_i)^2$ | $y^2_i$    | mean  |
|-----------|----------|-------|-------|----------|-----------|------------|-------|
| 1         | 55.04    | 59.76 | 54.67 | 169.47   | 9,589.47  | 28,720.08  | 56.49 |
| 2         | 65.58    | 63.96 | 63.96 | 193.50   | 12,482.50 | 37,442.25  | 64.50 |
| 3         | 66.31    | 70.87 | 65.72 | 202.90   | 13,738.69 | 41,168.41  | 67.63 |
| 4         | 65.07    | 61.92 | 67.19 | 194.18   | 12,582.69 | 37,705.87  | 64.73 |
| 5         | 64.54    | 61.84 | 64.69 | 191.07   | 12,174.39 | 36,507.74  | 63.69 |
| 6         | 68.09    | 61.87 | 68.94 | 198.90   | 13,216.87 | 39,561.21  | 66.30 |
| 7         | 73.72    | 73.73 | 73.73 | 221.18   | 16,306.86 | 48,920.59  | 73.73 |
|           |          |       |       | 1,371.20 | 90,091.47 | 270,026.16 |       |

n = 3.00  
a = 7.00  
N = an = 21.00  
Alpha = a = 0.05  
N - a = 14.00  
SS<sub>T</sub> 558.6421  
SS<sub>Treatment</sub> 475.8897  
SS<sub>E</sub> 82.7524  
MS<sub>Treatment</sub> 79.31495  
MS<sub>E</sub> 5.910886  
F<sub>o</sub> 13.41846  
F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> = 2.85  
F<sub>0.05,6,14</sub> = 2.85  
a = จำนวนระดับของปัจจัย  
n = จำนวนซ้ำของการทดลอง  
N = an

ตารางที่ ข-10 การวิเคราะห์ค่าความยาวครั้งที่ 2

| Treatment | จำนวนซ้ำ |       |       | $y_i$    | $(y_i)^2$ | $y_i^2$    | mean  |
|-----------|----------|-------|-------|----------|-----------|------------|-------|
| 1         | 51.69    | 56.22 | 48.41 | 156.32   | 8,176.07  | 24,435.94  | 52.11 |
| 2         | 62.61    | 62.49 | 60.32 | 185.42   | 11,463.51 | 34,380.58  | 61.81 |
| 3         | 63.63    | 61.54 | 64.07 | 189.24   | 11,940.91 | 35,811.78  | 63.08 |
| 4         | 56.12    | 56.45 | 57.68 | 170.25   | 9,663.04  | 28,985.06  | 56.75 |
| 5         | 65.35    | 61.33 | 63.57 | 190.25   | 12,073.14 | 36,195.06  | 63.42 |
| 6         | 65.86    | 65.06 | 66.04 | 196.96   | 12,931.62 | 38,793.24  | 65.65 |
| 7         | 67.97    | 69.52 | 64.96 | 202.45   | 13,672.75 | 40,986.00  | 67.48 |
|           |          |       |       | 1,290.89 | 79,921.05 | 239,587.67 |       |

$$n = 3.00$$

$$a = 7.00$$

$$N = an = 21.00$$

$$\text{Alpha} = a = 0.05$$

$$N - a = 14.00$$

$$SS_T = 568.8162$$

$$SS_{\text{Treatment}} = 510.3174$$

$$SS_E = 58.49873$$

$$MS_{\text{Treatment}} = 85.05291$$

$$MS_E = 4.178481$$

$$F_o = 20.35498$$

$$F_{[\text{alpha}, (a-1), (N-a)]} = 2.85$$

$$F_{0.05, 6, 14} = 2.85$$



ตารางที่ ข-11 การวิเคราะห์ค่าความชาวครั้งที่ 3

| Treatment | จำนวนซ้ำ |       |       | $y_i$    | $(y_i)^2$ | $y^2_{i.}$ | mean  |
|-----------|----------|-------|-------|----------|-----------|------------|-------|
| 1         | 46.57    | 51.07 | 46.55 | 144.19   | 6,943.81  | 20,790.76  | 48.06 |
| 2         | 60.03    | 60.75 | 60.03 | 180.81   | 10,897.76 | 32,692.26  | 60.27 |
| 3         | 62.5     | 65.12 | 66.73 | 194.35   | 12,599.76 | 37,771.92  | 64.78 |
| 4         | 51.33    | 54.24 | 55.59 | 161.16   | 8,666.99  | 25,972.55  | 53.72 |
| 5         | 61.52    | 63.13 | 61.12 | 185.77   | 11,505.76 | 34,510.49  | 61.92 |
| 6         | 65.94    | 62.13 | 65.27 | 193.34   | 12,468.39 | 37,380.36  | 64.45 |
| 7         | 72.65    | 71.43 | 73.02 | 217.10   | 15,712.19 | 47,132.41  | 72.37 |
|           |          |       |       | 1,276.72 | 78,794.67 | 236,250.74 |       |

n =

3.00

a =

7.00

N = an =

21.00

Alpha =

a

=

0.05

N - a =

14.00

SS<sub>T</sub>

1174.959

SS<sub>Treatment</sub>

1130.534

SS<sub>E</sub>

44.42513

MS<sub>Treatment</sub>

188.4223

MS<sub>E</sub>

3.173224

F<sub>O</sub>

59.37883

F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> =

2.85

F<sub>0.05,6,14</sub> =

2.85

ตารางที่ ข-12    เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสังเกตระหว่างค่าเฉลี่ยแต่ละคู่

| ครั้งที่ | LSD    | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | y <sub>3</sub> | y <sub>4</sub> | y <sub>5</sub> | y <sub>6</sub> | y <sub>7</sub> |
|----------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1        |        | 56.49          | 64.50          | 67.63          | 64.73          | 63.69          | 66.30          | 73.73          |
|          | 4.2576 |                | 8.01           | 11.14          | 8.24           | 7.20           | 9.81           | 17.24          |
|          | 4.2576 |                |                | 3.13           | 0.23           | 0.81           | 1.80           | 9.23           |
|          | 4.2576 |                |                |                | 2.91           | 3.94           | 1.33           | 6.09           |
|          | 4.2576 |                |                |                |                | 1.04           | 1.57           | 9.00           |
|          | 4.2576 |                |                |                |                |                | 2.61           | 10.04          |
|          | 4.2576 |                |                |                |                |                |                | 7.43           |
| 2        | LSD    | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | y <sub>3</sub> | y <sub>4</sub> | y <sub>5</sub> | y <sub>6</sub> | y <sub>7</sub> |
|          |        | 52.11          | 61.81          | 63.08          | 56.75          | 63.42          | 65.65          | 67.48          |
|          | 3.5797 |                | 9.70           | 10.97          | 4.64           | 11.31          | 13.55          | 15.38          |
|          | 3.5797 |                |                | 1.27           | 5.06           | 1.61           | 3.85           | 5.68           |
|          | 3.5797 |                |                |                | 6.33           | 0.34           | 2.57           | 4.40           |
|          | 3.5797 |                |                |                |                | 6.67           | 8.90           | 10.73          |
|          | 3.5797 |                |                |                |                |                | 2.24           | 4.07           |
| 3        | LSD    | y <sub>1</sub> | y <sub>2</sub> | y <sub>3</sub> | y <sub>4</sub> | y <sub>5</sub> | y <sub>6</sub> | y <sub>7</sub> |
|          |        | 48.06          | 60.27          | 64.78          | 53.72          | 61.92          | 64.45          | 72.37          |
|          | 3.1195 |                | 12.21          | 16.72          | 5.66           | 13.86          | 16.38          | 24.30          |
|          | 3.1195 |                |                | 4.51           | 6.55           | 1.65           | 4.18           | 12.10          |
|          | 3.1195 |                |                |                | 11.06          | 2.86           | 0.34           | 7.58           |
|          | 3.1195 |                |                |                |                | 8.20           | 10.73          | 18.65          |
|          | 3.1195 |                |                |                |                |                | 2.52           | 10.44          |
| 3        | 3.1195 |                |                |                |                |                |                | 7.92           |

ตารางที่ ข-13 การวิเคราะห์ค่า Da ของสี บนผ้าที่ผ่านการย้อม ครั้งที่ 1

| Treatment | จำนวนซ้ำ |         |         | $y_i$  | $(y_i)^2$ | $y^2_i$   | mean  |
|-----------|----------|---------|---------|--------|-----------|-----------|-------|
| 1         | 14.7767  | 15.4167 | 15.0367 | 45.23  | 682.13    | 2,045.76  | 15.08 |
| 2         | 16.4067  | 15.3967 | 14.1867 | 45.99  | 707.50    | 2,115.09  | 15.33 |
| 3         | 12.0867  | 11.3667 | 11.5567 | 35.01  | 408.85    | 1,225.71  | 11.67 |
| 4         | 16.6867  | 16.5967 | 14.9167 | 48.20  | 776.40    | 2,323.25  | 16.07 |
| 5         | 10.8567  | 15.6167 | 10.3267 | 36.80  | 468.39    | 1,354.25  | 12.27 |
| 6         | 11.6367  | 11.8167 | 11.2967 | 34.75  | 402.66    | 1,207.57  | 11.58 |
| 7         | -3.9833  | -3.6833 | 7.6667  | 0.00   | 88.21     | 0.00      | 0.00  |
|           |          |         |         | 245.98 | 3,534.14  | 10,271.62 |       |

n =

3.00

a =

7.00

N = an =

21.00

Alpha =

a =

0.05

N - a =

14.00

SS<sub>T</sub>

652.8825

SS<sub>Treatment</sub>

542.6128

SS<sub>E</sub>

110.2697

MS<sub>Treatment</sub>

90.43547

MS<sub>E</sub>

7.876405

F<sub>O</sub>

11.48182

F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> =

2.85

F<sub>0.05,6,14</sub> =

2.85

a =

จำนวนระดับของปัจจัย

n =

จำนวนซ้ำของการทดลอง

N =

an

ตารางที่ ข-14 การวิเคราะห์ค่า Da ของสี บนผ้าที่ผ่านการย้อม ครั้งที่ 2

| Treatment | จำนวนซ้ำ |         |         | $y_i$  | $(y_i)^2$ | $y^2_i$  | mean  |
|-----------|----------|---------|---------|--------|-----------|----------|-------|
| 1         | 14.8267  | 14.5167 | 14.8167 | 44.16  | 650.10    | 1,950.11 | 14.72 |
| 2         | 10.6567  | 13.6867 | 13.8467 | 38.19  | 492.62    | 1,458.48 | 12.73 |
| 3         | 10.5767  | 10.6567 | 11.9067 | 33.14  | 367.20    | 1,098.27 | 11.05 |
| 4         | 10.8667  | 10.6567 | 11.0367 | 32.56  | 353.46    | 1,060.16 | 10.85 |
| 5         | 10.6467  | 10.2367 | 9.3067  | 30.19  | 304.76    | 911.44   | 10.06 |
| 6         | 11.0267  | 10.1267 | 11.1567 | 32.31  | 348.61    | 1,043.94 | 10.77 |
| 7         | -5.5933  | -4.2533 | -5.2633 | -15.11 | 77.08     | 228.31   | -5.04 |
|           |          |         |         | 195.44 | 2,593.83  | 7,750.72 |       |

n =

3.00

a =

7.00

N = an =

21.00

Alpha =

a =

0.05

N - a =

14.00

$SS_T$

774.9198

$SS_{Treatment}$

764.6648

$SS_E$

10.255

$MS_{Treatment}$

127.4441

$MS_E$

0.7325

$F_o$

173.9852

$F_{[\alpha,(a-1),(N-a)]} =$

2.85

$F_{0.05,6,14} =$

2.85

ตารางที่ ข-15 การวิเคราะห์ค่า Da ของสี บนผ้าที่ผ่านการย้อม ครั้งที่ 3

| Treatment | จำนวนซ้ำ |       |       | $y_i$  | $(y_i)^2$ | $y^2_i$   | mean  |
|-----------|----------|-------|-------|--------|-----------|-----------|-------|
| 1         | 15.29    | 15.57 | 15.19 | 46.05  | 706.95    | 2,120.60  | 15.35 |
| 2         | 17.03    | 16.5  | 16.87 | 50.40  | 846.87    | 2,540.16  | 16.80 |
| 3         | 17.61    | 16.53 | 16.52 | 50.66  | 856.26    | 2,566.44  | 16.89 |
| 4         | 16.18    | 15.98 | 18.32 | 50.48  | 852.78    | 2,548.23  | 16.83 |
| 5         | 16.52    | 16.36 | 16.6  | 49.48  | 816.12    | 2,448.27  | 16.49 |
| 6         | 15.65    | 17.21 | 16.1  | 48.96  | 800.32    | 2,397.08  | 16.32 |
| 7         | 0.26     | 0.48  | 0.07  | 0.81   | 0.30      | 0.66      | 0.27  |
|           |          |       |       | 296.84 | 4,879.59  | 14,621.44 |       |

n =

3.00

a =

7.00

N = an =

21.00

Alpha =

a =

0.05

N - a =

14.00

$SS_T$

683.6869

$SS_{Treatment}$

677.9081

$SS_E$

5.7788

$MS_{Treatment}$

112.9847

$MS_E$

0.412771

$F_o$

273.7222

$F_{[\alpha,(a-1),(N-a)]}$  =

2.85

$F_{0.05,6,14}$  =

2.85

ตารางที่ ข-16 การวิเคราะห์ค่า Db ของสี บนผ้าที่ผ่านการซัก ครั้งที่ 1

| Treatment | จำนวนซ้ำ |      |      | $y_i$ | $(y_i)^2$ | $y^2_{i.}$ | mean |
|-----------|----------|------|------|-------|-----------|------------|------|
| 1         | 5.75     | 6.23 | 5.15 | 17.13 | 98.40     | 293.44     | 5.71 |
| 2         | 5.44     | 4.78 | 4.54 | 14.76 | 73.05     | 217.86     | 4.92 |
| 3         | 3.87     | 3.82 | 3.97 | 11.66 | 45.33     | 135.96     | 3.89 |
| 4         | 6.32     | 6.11 | 5.47 | 17.90 | 107.20    | 320.41     | 5.97 |
| 5         | 3.47     | 6.07 | 3.12 | 12.66 | 58.62     | 160.28     | 4.22 |
| 6         | 3.14     | 3.64 | 3.65 | 10.43 | 36.43     | 108.78     | 3.48 |
| 7         | -2.61    | 0.14 | 2.47 | 0.00  | 12.93     | 0.00       | 0.00 |
|           |          |      |      | 84.54 | 431.96    | 1,236.72   |      |

$$\begin{aligned}
 n &= 3.00 \\
 a &= 7.00 \\
 N = an &= 21.00 \\
 \text{Alpha} &= a = 0.05 \\
 N - a &= 14.00 \\
 SS_T &= 91.62771 \\
 SS_{\text{Treatment}} &= 71.90631 \\
 SS_E &= 19.7214 \\
 MS_{\text{Treatment}} &= 11.98439 \\
 MS_E &= 1.408671 \\
 F_o &= 8.507581 \\
 F_{[\text{alpha},(a-1),(N-a)]} &= 2.85 \\
 F_{0.05,6,14} &= 2.85
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข-17 การวิเคราะห์ค่า Db ของสี บนผ้าที่ผ่านการซัก ครั้งที่ 2

| Treatment | จำนวนซ้ำ |      |       | $y_i$  | $(y_i)^2$ | $y^2_{i.}$ | mean |
|-----------|----------|------|-------|--------|-----------|------------|------|
| 1         | 9.33     | 8.36 | 8.24  | 25.93  | 224.84    | 672.36     | 8.64 |
| 2         | 7.32     | 7.8  | 8.27  | 23.39  | 182.82    | 547.09     | 7.80 |
| 3         | 6.32     | 7.93 | 7.95  | 22.20  | 166.03    | 492.84     | 7.40 |
| 4         | 6.99     | 7.34 | 6.49  | 20.82  | 144.86    | 433.47     | 6.94 |
| 5         | 6.74     | 6.46 | 6.96  | 20.16  | 135.60    | 406.43     | 6.72 |
| 6         | 7.06     | 6.2  | 8.33  | 21.59  | 157.67    | 466.13     | 7.20 |
| 7         | -0.4     | 0.58 | -0.18 | 0.00   | 0.53      | 0.00       | 0.00 |
|           |          |      |       | 134.09 | 1,012.34  | 3,018.32   |      |

$n$

=

3.00

$a$

=

7.00

$N = an$

=

21.00

$\text{Alpha}$

=

$a$

=

0.05

$N - a$

=

14.00

$SS_T$

=

156.1425

$SS_{\text{Treatment}}$

=

149.9111

$SS_E$

=

6.2314

$MS_{\text{Treatment}}$

=

24.98519

$MS_E$

=

0.4451

$F_o$

=

56.13387

$F_{[\text{alpha}, (a-1), (N-a)]}$

=

2.85

$F_{0.05, 6, 14}$

=

2.85

ตารางที่ ข-18 การวิเคราะห์ค่า Db ของสี บนผ้าที่ผ่านการย้อม ครั้งที่ 3

| Treatment | จำนวนซ้ำ |      |       | $y_i$  | $(y_i)^2$ | $y^2_{i.}$ | mean |
|-----------|----------|------|-------|--------|-----------|------------|------|
| 1         | 7.68     | 7.87 | 5.46  | 21.01  | 150.73    | 441.42     | 7.00 |
| 2         | 10.26    | 6.96 | 6.61  | 23.83  | 197.40    | 567.87     | 7.94 |
| 3         | 7.86     | 6.38 | 8.86  | 23.10  | 180.98    | 533.61     | 7.70 |
| 4         | 8.37     | 6.58 | 8.15  | 23.10  | 179.78    | 533.61     | 7.70 |
| 5         | 7.05     | 6.79 | 7.02  | 20.86  | 145.09    | 435.14     | 6.95 |
| 6         | 6.46     | 7.84 | 6.74  | 21.04  | 148.62    | 442.68     | 7.01 |
| 7         | -0.02    | 0.16 | -0.13 | 0.01   | 0.04      | 0.00       | 0.00 |
|           |          |      |       | 132.95 | 1,002.65  | 2,954.33   |      |

n =

3.00

a =

7.00

N = an =

21.00

Alpha =

a =

0.05

N - a =

14.00

SS<sub>T</sub>

160.9462

SS<sub>Treatment</sub>

143.0766

SS<sub>E</sub>

17.86953

MS<sub>Treatment</sub>

23.84611

MS<sub>E</sub>

1.276395

F<sub>O</sub>

18.68239

F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)] =</sub>

2.85

F<sub>0.05,6,14 =</sub>

2.85



ตารางที่ ข-19 การวิเคราะห์ค่า DL ของสี บนผ้าที่ผ่านการซัก ครึ่งที่ 1

| Treatment | จำนวนซ้ำ |         |        | $y_i$ | $(y_i)^2$ | $y^2_i$ | mean |
|-----------|----------|---------|--------|-------|-----------|---------|------|
| 1         | 2.6567   | 1.9667  | 4.4667 | 9.09  | 30.88     | 82.63   | 3.03 |
| 2         | 4.5267   | 4.8567  | 5.4267 | 14.81 | 73.53     | 219.34  | 4.94 |
| 3         | 5.3667   | 2.3267  | 2.3767 | 10.07 | 39.86     | 101.41  | 3.36 |
| 4         | 3.9967   | 4.4867  | 4.3467 | 12.83 | 55.00     | 164.61  | 4.28 |
| 5         | 4.0167   | 2.0467  | 5.0667 | 11.13 | 45.99     | 123.88  | 3.71 |
| 6         | 5.5767   | 4.0967  | 2.7667 | 12.44 | 55.54     | 154.76  | 4.15 |
| 7         | -1.1633  | -0.0233 | 1.1867 | 0.00  | 2.76      | 0.00    | 0.00 |
|           |          |         |        | 70.37 | 303.56    | 846.62  |      |

n = 3.00  
a = 7.00  
N = an = 21.00  
Alpha = a = 0.05  
N - a = 14.00  
SS<sub>T</sub> 67.74891  
SS<sub>Treatment</sub> 46.39631  
SS<sub>E</sub> 21.3526  
MS<sub>Treatment</sub> 7.732719  
MS<sub>E</sub> 1.525186  
F<sub>O</sub> 5.070018  
F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> = 2.85  
F<sub>0.05,6,14</sub> = 2.85

ตารางที่ ข-20 การวิเคราะห์ค่า DL ของสี บนผ้าที่ผ่านการซัก ครึ่งที่ 2

| Treatment | จำนวนซ้ำ |         |         | $y_i$ | $(y_i)^2$ | $y^2_i$ | mean |
|-----------|----------|---------|---------|-------|-----------|---------|------|
| 1         | 2.5333   | 3.8533  | 5.1633  | 11.55 | 47.93     | 133.40  | 3.85 |
| 2         | 2.2433   | 6.0133  | 3.5033  | 11.76 | 53.47     | 138.30  | 3.92 |
| 3         | 4.2733   | 0.4433  | 1.5533  | 6.27  | 20.87     | 39.31   | 2.09 |
| 4         | 2.9333   | 2.7133  | 3.5133  | 9.16  | 28.31     | 83.90   | 3.05 |
| 5         | 4.8433   | 5.1733  | 2.4233  | 12.44 | 56.09     | 154.75  | 4.15 |
| 6         | 2.5433   | 4.6733  | -0.7467 | 6.47  | 28.87     | 41.86   | 2.16 |
| 7         | 0.3433   | -0.0467 | -0.2967 | 0.00  | 0.21      | 0.00    | 0.00 |
|           |          |         |         | 57.65 | 235.74    | 591.52  |      |

n = 3.00  
a = 7.00  
N = an = 21.00  
Alpha = a = 0.05  
N - a = 14.00  
SS<sub>T</sub> 77.47792  
SS<sub>Treatment</sub> 38.91472  
SS<sub>E</sub> 38.5632  
MS<sub>Treatment</sub> 6.485787  
MS<sub>E</sub> 2.754514  
F<sub>O</sub> 2.354603  
F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> = 2.85  
F<sub>0.05,6,14</sub> = 2.85

ตารางที่ ข-21 การวิเคราะห์ค่า DL ของสี บนผ้าที่ผ่านการซัก ครึ่งที่ 3

| Treatment | จำนวนซ้ำ |        |         | $y_i$ | $(y_i)^2$ | $y^2_i$ | mean |
|-----------|----------|--------|---------|-------|-----------|---------|------|
| 1         | 2.6733   | 1.8833 | 5.7633  | 10.32 | 43.91     | 106.50  | 3.44 |
| 2         | -2.5867  | 3.7833 | 3.7033  | 4.90  | 34.72     | 24.01   | 1.63 |
| 3         | 1.3333   | 4.7333 | -1.2467 | 4.82  | 25.74     | 23.23   | 1.61 |
| 4         | 0.4233   | 4.2033 | 1.0133  | 5.64  | 18.87     | 31.81   | 1.88 |
| 5         | 4.6133   | 3.9533 | 4.3633  | 12.93 | 55.95     | 167.18  | 4.31 |
| 6         | 0.7733   | 1.5333 | 1.2233  | 3.53  | 4.45      | 12.46   | 1.18 |
| 7         | -0.2267  | 0.1733 | 0.0533  | 0.00  | 0.08      | 0.00    | 0.00 |
|           |          |        |         | 42.14 | 183.72    | 365.19  |      |

n = 3.00  
a = 7.00  
N = an = 21.00  
Alpha = a = 0.05  
N - a = 14.00  
SS<sub>T</sub> 99.15867  
SS<sub>Treatment</sub> 37.17247  
SS<sub>E</sub> 61.9862  
MS<sub>Treatment</sub> 6.195411  
MS<sub>E</sub> 4.427586  
F<sub>O</sub> 1.399275  
F<sub>[alpha,(a-1),(N-a)]</sub> = 2.85  
F<sub>0.05,6,14</sub> = 2.85

## ประวัติคณะวิจัย

1. **หัวหน้าโครงการ**      นางชนิษฐา เจริญลาก
- ตำแหน่ง**                      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
- ที่อยู่**                              2 ถนนนางลิ้นจี่ หุ่่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120
- สถานที่ทำงาน**              สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- E.mail**                              Khanit\_C@hotmail.com

### ประวัติการศึกษา

| คุณวุฒิ   | สถานศึกษา     | สาขาวิชาเอก            | ปริญญา | ปีที่จบ |
|-----------|---------------|------------------------|--------|---------|
| ปริญญาตรี | ม.ศิลปากร     | เคมี                   | วท.บ.  | 2529    |
| ปริญญาโท  | ม.เกษตรศาสตร์ | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วท.ม.  | 2539    |

### ผลงานวิจัย

| เรื่อง                                                                                                            | หน่วยงาน<br>สนับสนุนทุน                      | ปี<br>พ.ศ. | สถานภาพ                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------|-----------------------------|
| การกำจัดสีย้อมสี สีนํ้าเขียว และสีรีแอคทีฟจาก<br>น้ำเสียย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี                         | สถาบันเทคโนโลยี<br>ราชมงคล                   | 2543       | หัวหน้าโครงการ              |
| การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสี<br>จากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดดิเว็ดเต็ดสลิคส์<br>และระบบตกตะกอนทางเคมี | สถาบันเทคโนโลยี<br>ราชมงคล                   | 2544       | หัวหน้าโครงการ              |
| การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจาก<br>อุตสาหกรรมสิ่งทอ                                                     | สำนักงานกองทุน<br>สนับสนุนการวิจัย<br>(สกว.) | 2544       | ผู้ร่วมโครงการ              |
| อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์                                                                           | สำนักงานกองทุน<br>สนับสนุนการวิจัย<br>(สกว.) | 2545       | หัวหน้าโครงการ              |
| การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของห้างหุ้นส่วน<br>จำกัด เจริญชัยการย้อมให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้ง<br>โดยมีค่าใช้จ่ายลดลง | สำนักงานกองทุน<br>สนับสนุนการวิจัย<br>(สกว.) | 2546       | อาจารย์ที่ปรึกษา<br>โครงการ |

## ผลงานวิจัย

| เรื่อง                                         | หน่วยงาน<br>สนับสนุนทุน    | ปี<br>พ.ศ. | สถานภาพ        |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------|----------------|
| การพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อม<br>ผ้า | สถาบันเทคโนโลยี<br>ราชมงคล | 2547       | หัวหน้าโครงการ |

## ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2544. การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเร็กต์ และสีรีแอคทีฟ จากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดย  
กระบวนการตกตะกอนทางเคมี. คัลเลอร์เวย์, 7(34) : 32-38

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2545. เทคโนโลยีสะอาดกับการลดต้นทุนในกระบวนการเตรียมสิ่งทอ.  
คัลเลอร์เวย์, 8(41) : 23-26

บุญศรี คู่สุขธรรม, ขนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2546. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำ  
ทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอน 1. คัลเลอร์เวย์, 8(45) : 18-20

บุญศรี คู่สุขธรรม, ขนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2546. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำ  
ทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอนจบ. คัลเลอร์เวย์, 8(46) : 47-50

ขนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจาก  
โรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเวตเต็ดสลิudgeและระบบตกตะกอนทางเคมี . คัลเลอร์เวย์,  
10(47) .

ขนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจาก  
โรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเวตเต็ดสลิudgeและระบบตกตะกอนทางเคมี . คัลเลอร์เวย์,  
11(47) .

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2547. ระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม. คัลเลอร์เวย์, 9(47) : 23-26

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2547. แนวทางการเลือกใช้สารเคมี . คัลเลอร์เวย์, 9(47) : 65-67

ขนิษฐา เจริญลาภ. 2548. อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์. คัลเลอร์เวย์, 10(48) :  
40-45

กนิษฐา บุญภาวนิชกุล,กาญจนา ไพรยสุรินทร์,ขนิษฐา เจริญลาภ และ ธนกร เผ่ามหานาคะ.  
2548. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานฟอกย้อมให้อยู่ในมาตรฐานของกรม โรงงาน  
อุตสาหกรรม โดยมีค่าใช้จ่ายลดลง.คัลเลอร์เวย์, 11(48) : 84-89

## 2. ผู้ร่วมโครงการ นายพรชัย วินิจเขตคำณวน

**ตำแหน่ง** อาจารย์ 1 ระดับ 5

**ที่อยู่** 286 ซิดิวัฒณ์ซอย 3 ถนนประชาชื่น แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ  
กรุงเทพฯ 10800

**สถานที่ทำงาน** สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

### ประวัติการศึกษา

| คุณวุฒิ                         | สถานศึกษา                                 | สาขาวิชาเอก        | วุฒิ  | ปีที่จบ |
|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|-------|---------|
| ประกาศนียบัตร<br>วิชาชีพชั้นสูง | วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ                    | เคมีสิ่งทอ         | ปว.ส. | 2525    |
| ปริญญาตรี                       | สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล                    | วิศวกรรมเคมีสิ่งทอ | วศ.บ. | 2529    |
| ปริญญาโท                        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>พระนครเหนือ | วิศวกรรมอุตสาหกรรม | วศ.ม. | 2544    |

### ผลงานวิจัย

| เรื่อง                                                                                                        | หน่วยงาน<br>สนับสนุนทุน                               | ปี<br>พ.ศ. | สถานภาพ        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------|----------------|
| การพัฒนาความเป็นไปได้ของการขยายขนาด<br>การศึกษา เพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านการดูด<br>ความชื้นของผ้าพอลิเอสเตอร์ | สำนักงานพัฒนา<br>วิทยาศาสตร์ และ<br>เทคโนโลยีแห่งชาติ | 2541       | ผู้ร่วมโครงการ |

### 3. ผู้ร่วมโครงการ นายพริยะ แก่นทับทิม

ตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 5

ที่อยู่ 20 / 23 หมู่ 6 ซอยวัดสุขใจ ถนนนิมิตรใหม่ แขวงทรายกองดิน  
เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ

สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

#### ประวัติการศึกษา

| คุณวุฒิ                         | สถานศึกษา              | สาขาวิชาเอก                                        | วุฒิ  | ปีที่จบ |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|-------|---------|
| ประกาศนียบัตร<br>วิชาชีพชั้นสูง | วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ | เคมีสิ่งทอ                                         | ปว.ส. | 2525    |
| ปริญญาตรี                       | สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล | วิศวกรรมเคมีสิ่งทอ                                 | วศ.บ. | 2528    |
| ปริญญาโท                        | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  | วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์<br>และเทคโนโลยีสิ่งทอ | วท.ม. | 2548    |

#### ผลงานวิจัย

| เรื่อง                                                                                                             | หน่วยงาน<br>สนับสนุนทุน                               | ปี<br>พ.ศ. | สถานภาพ        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------|----------------|
| การพัฒนาความเป็นไปได้ของการขยายขนาด<br>การศึกษา เพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านการดูด<br>ความชื้นของผ้าพอลิเอสเตอร์      | สำนักงานพัฒนา<br>วิทยาศาสตร์ และ<br>เทคโนโลยีแห่งชาติ | 2541       | ผู้ร่วมโครงการ |
| การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสี<br>จากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดติเว็ดเตดสัลต์จี้<br>และระบบตกตะกอนทางเคมี | สถาบันเทคโนโลยี<br>ราชมงคล                            | 2544       | ผู้ร่วมโครงการ |

#### ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจาก  
โรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดติเว็ดเตดสัลต์จี้และระบบตกตะกอนทางเคมี . คัลเลอร์เวย์,  
10(47) .

ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจาก  
โรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดติเว็ดเตดสัลต์จี้และระบบตกตะกอนทางเคมี . คัลเลอร์เวย์,  
11(47) .