

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสี่อ้อมคอง โกรตในน้ำเสยสังเคราะห์โดยวิธีไอโซเนชัน



นายรัฐวุฒิ รุ่งนิยม  
นายวัชร ประภาชัย

๒๑  
๒๕๔๙  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**62652**  
วัน,เดือน,ปี...**21 ส.ค. 2549**

b. 11๕๗๓๕๑๒  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF CONGO RED DYE IN SYNTHETIC WASTEWATER  
BY OZONATION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF  
ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF  
ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |   |              |                               |
|--------------------|---|--------------|-------------------------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การบำบัดสีข้อมก่อง โกรเดคในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีโอโซนเนชัน |              |                               |
| นักศึกษา           | นายณัฐวุฒิ  | รุ่งนิยม     | รหัสประจำตัวนักศึกษา 46015533 |
|                    | นายวัชร   | ประภาชัย     | รหัสประจำตัวนักศึกษา 46015546 |
| ปริญญา             | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต   |              |                               |
| สาขาวิชา           | วิศวกรรมเคมี  |              |                               |
| ปีการศึกษา         | 2548  |              |                               |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | ดร. สุชาติณี  | เนรมิตตกพงศ์ |                               |

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี



ประธานกรรมการ  
(รศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)

กรรมการ  
(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวนิชย์กุล)

กรรมการ  
(ดร. สุชาติณี เนรมิตตกพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์               | การบำบัดสีย้อมคองโกเรดในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีไอโซเนซัน   |
| โดย                              | นายณัฐภูมิ รุ่งนิยม<br>นายวัชระ ประภาชัย  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา<br>ปริญญานิพนธ์ | ดร. สุธาสนี เนรมิตคกพงศ์<br>วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี<br>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิดเอไอโซ ชื่อ “คองโกเรด” ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีไอโซเนซัน ปัจจัยที่ศึกษาคือ ผลของค่าความเป็นกรด - ด่าง ของสารละลาย และการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตในสารละลายสีย้อมต่อการบำบัดสีและการลดลงของค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี พบว่าสารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่างที่ 10 ใช้เวลาในการกำจัดสีเร็วกว่าสารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่างที่ 4 และ 7 ตามลำดับ และทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีลดลงเช่นเดียวกัน โดยสารละลายสีย้อมที่มีสภาพเป็นกรดหรือด่าง สามารถกำจัดค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ดีกว่าสารละลายสีย้อมที่มีสภาพเป็นกลางและเกลือโซเดียมซัลเฟตมีผลทำให้ระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น

Report Title      Removal Congo Red Dye in Synthetic Wastewater by Ozonation  
By                    Mr. Natthawut   Rungniyom  
                          Mr. Watchara   Prapachai  
Advisor            Dr. Sutasinee   Neramittagapong  
Report for        Bachelor of Chemical Engineering  
                          Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering  
                          King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project is to study for a removal of azo dye (Congo red) in synthetic waste water by ozonation. The effects of pH of solution and a presence of sodium sulphate salt on the decolorization and degradation of synthetic waste water were studied. It has been found that pH 10 was effective for color and COD removal that gave shorter time than pH 4 and 7. Acid or base solution exhibited more effective for COD removal than neutralized solution. The presence of sodium sulphate salt had an effect on the ozonation efficiency which showed longer decolorization time?

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุราสินี เนมิตตคพงษ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษาและ คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ดร.พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล และ อ.บุญชัย โชควิวิริยวณิชย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อนุเคราะห์สื่อย้อมคองโกเรด มาใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินชีวิตและการปฏิบัติตัวให้เป็นคนดีในสังคม

ขอขอบคุณ คุณวัชรภรณ์ ปราณี นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในอุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ทดลอง และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในช่วงระหว่างการดำเนินวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                       | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                    | II   |
| กิตติกรรมประกาศ                                       | III  |
| สารบัญ  | IV   |
| สารบัญตาราง   | VI   |
| สารบัญรูป   | VII  |
| บทที่ 1 บทนำ  |      |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                    | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาการบำบัดสีย้อม             | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                 | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา                                | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                         | 3    |
| บทที่ 2 ทฤษฎี   |      |
| 2.1 สีย้อมผ้า (Dyestuff)                              | 4    |
| 2.2 การจำแนกประเภทของสีย้อม                           | 5    |
| 2.3 สีย้อมคองโกเรด                                    | 6    |
| 2.4 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม                 | 6    |
| 2.4.1 น้ำเสีย (Water pollution)                       | 6    |
| 2.4.2 ลักษณะคุณสมบัติน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม          | 7    |
| 2.4.3 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม                  | 8    |
| 2.5 แนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม | 9    |
| 2.6 การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้า       | 10   |
| 2.7 โอโซน (Ozone)                                     | 12   |
| 2.7.1 คุณสมบัติของ โอโซน                              | 12   |
| 2.7.2 ประสิทธิภาพของ โอโซน                            | 12   |
| 2.7.3 ผลกระทบต่อการใช้อโอโซน                          | 13   |
| 2.7.4 รายละเอียดของระบบจ่ายโอโซน                      | 13   |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                             | 13   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย   |      |
| 3.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมทองโกเรดที่ความเข้มข้นต่างๆ  | 14   |
| 3.2 การทดลองป้อนอัตราการไหลของออกซิเจนคงที่ที่ 1800 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีข้อมทองโกเรดเปรียบเทียบกับเวลา  | 15   |
| 3.3 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีข้อมทองโกเรด   | 16   |
| 3.4 การทดลองศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟตที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีข้อมทองโกเรด  | 17   |
| 3.5 การทดลองศึกษาการเกิดออกซิเดชันสีข้อมทองโกเรดในสารละลายสีข้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีข้อม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของเกลือที่ใกล้เคียงกับสภาพน้ำเสียในโรงงานฟอกข้อม | 19   |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง   | 21   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ  | 28   |
| เอกสารอ้างอิง  | 30   |
| ภาคผนวก ก  | 31   |
| ภาคผนวก ข  | 32   |
| ภาคผนวก ค  | 39   |
| ภาคผนวก ง  | 40   |
| ภาคผนวก จ  | 46   |

## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์   | 8    |
| ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับทดสอบแก้วทดลองขนาด<br>ต่างๆ  | 36   |
| ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับค่าการดูดกลืน<br>แสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร  | 40   |
| ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรดกับเวลาที่ใช้ในการ<br>บำบัดสีย้อม  | 40   |
| ตารางที่ ง.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่าง<br>ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4.0  | 41   |
| ตารางที่ ง.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่าง<br>ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7.0  | 41   |
| ตารางที่ ง.5 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่าง<br>ที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10.0   | 42   |
| ตารางที่ ง.6 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่<br>ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลาย<br>อยู่ 0.5 กรัมต่อลิตร  | 42   |
| ตารางที่ ง.7 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่<br>ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลาย<br>อยู่ 0.5 กรัมต่อลิตร  | 43   |
| ตารางที่ ง.8 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่<br>ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟต<br>ละลายอยู่ 0.5 กรัมต่อลิตร | 43   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

|  |    |
|--|----|
| ตารางที่ ง.9 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8.2 ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร | 44 |
| ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม   | 46 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสี่ข้อมคองโกเรต  | 6    |
| รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกซิไดส์สารละลายสี่ข้อมคองโกเรตด้วยโอโซน  | 16   |
| รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรตกับ<br>ค่าการดูดกลืนแสง   | 21   |
| รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรตกับ<br>เวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม  | 22   |
| รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรต<br>และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม<br>ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4.0   | 23   |
| รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรต<br>และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม<br>ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7.0   | 23   |
| รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรตและ<br>ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อมที่ค่า<br>ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 10.0  | 24   |
| รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรต<br>และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม<br>ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม<br>ต่อลิตร | 25   |
| รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรต<br>และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม<br>ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม<br>ต่อลิตร | 25   |
| รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อมคองโกเรต<br>และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสี่ข้อม<br>ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 10.0 และมีเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5<br>กรัมต่อลิตร | 26   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีลี่ยมคอง โกรเรดที่<br>ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าความต้องการออกซิเจนทาง<br>เคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดซีลี่ยมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ<br>8.22 และมีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร | 27   |
| รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรี<br>ฟลักซ์แบบปิด  | 36   |
| รูปที่ ข.2 การเปลี่ยนสีของตัวอย่างน้ำเมื่อไทเทรตด้วย FAS   | 37   |
| รูปที่ ข.3 แผนผังการวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรีฟลักซ์<br>แบบปิด  | 38   |
| รูปที่ ข.4 ชุดทดลองการบำบัดซีลี่ยมคอง โกรเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีไอโซ<br>เนชัน   | 39   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกระบวนการบำบัดน้ำเสียในงานอุตสาหกรรมมีความสำคัญมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นกระบวนการแยกสารทั้งทางกายภาพและทางเคมี น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณและความเข้มข้นสูง โดยน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานนั้นมีสารต่างๆ ปนอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น สารซักฟอก กรดแอซิดิก เกลือประเภทต่างๆ กรดซัลฟิวริก และสีย้อม เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียเหล่านี้พบว่ามีปัญหาในการกำจัดสีย้อมเป็นอย่างมาก เพราะว่าแม้จะเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณของสีย้อมเพียงเล็กน้อยแต่ก็สามารถที่จะมองเห็นได้โดยง่ายและเป็นที่น่ารังเกียจ [1]

การบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมการฟอกย้อมมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physicochemical) การตกตะกอน การบำบัดทางชีวภาพ แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายในการออกแบบและก่อสร้างสูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้าที่มีขนาดเล็ก และในขณะเดียวกันก็มีอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ คือ การใช้ตัวออกซิไดส์ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีมาเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีนและสารประกอบคลอรีน โอโซน เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะปรับสภาพของสารมลพิษในน้ำเสียให้มีปริมาณที่ลดลงหรือทำให้ไม่มีมลพิษเลย [2]

การกำจัดสีย้อม โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมด้วย โอโซนนั้น เป็นวิธีการที่ใช้งานง่ายและใช้ระยะเวลาในการบำบัดสั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธี โอโซนชันเพื่อให้สามารถที่จะนำมาประยุกต์ในการใช้งานได้จริง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาการบำบัดสีย้อม

1. ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่อการบำบัดสีย้อมของ โกรดด้วย โอโซน
2. ศึกษาอิทธิพลของเกลือ โซเดียมซัลเฟตต่อการบำบัดสีย้อมของ โกรดด้วย โอโซน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดสีด้วยโอโซน สีย้อมที่ใช้ในการทดลองคือ สีย้อมคอง โกรเรทที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมคอง โกรเรทด้วยโอโซน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้

2.1 ค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายสีย้อมคอง โกรเรท

ทดลองออกซิเดชันสารละลายสีย้อมโดยเปลี่ยนค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆ คือ 4, 7 และ 10

2.2 ความเข้มข้นของเกลือ

ทดลองออกซิเดชันสารละลายสีย้อมที่มีเกลือ โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) โดยใช้ ความเข้มข้นที่ 0.5 กรัมต่อลิตร และทดลองที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 4, 7 และ 10

3.วิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ของน้ำเสียสังเคราะห์หลังการบำบัดด้วยโอโซน

4.วัดปริมาณไนเตรทหลังทำการทดลอง

### 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมชนิดคอง โกรเรทที่ความเข้มข้นต่างๆ

3. ทดลองการออกซิเดชันสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่างต่างๆ และวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี

4. ทดลองการออกซิเดชันสีย้อมที่มีเกลือ โซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายสีย้อม ที่ค่าความเป็นกรด - ด่างต่างๆ และวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี

5. ทดลองการออกซิเดชันสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด - ด่าง ความเข้มข้นของเกลือที่มีสมบัติของน้ำเสียใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมและวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดสีด้วยการหาปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีที่ลดลง

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสียโดยวิธีโอโซนชัน
2. ได้ข้อมูลพื้นฐานของการกำจัดสีข้อมโดยวิธีโอโซนชันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมในอนาคต
3. เป็นการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สีย้อมผ้า (Dyestuff)

โดยทั่วไปโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก สีย้อมที่ดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดสีขึ้นอย่างถาวร สีย้อมทุกชนิดต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่อิ่มตัวและบางส่วนของโมเลกุลของสีย้อมจะเป็นวงอะโรมาติกส์ เช่น เบนซีน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอิน แนฟทาลีน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมาจะมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใยและกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การที่จะนำสีย้อมมาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำ เราจะสามารถทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้รวมตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติดเส้นใยได้เอง (Substantity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดกันแน่น

สีย้อมประกอบด้วยโครงสร้างที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า โครโมเจน (Chromogen) ส่วนของโมเลกุลที่ทำให้สีย้อมมีสมบัติทางด้านการละลายและมีสมบัติในการย้อมติดสี เรียกว่า ออกโซโครม (Auxochrome) ซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โครงสร้างของสีย้อมจะประกอบด้วยทั้งสองส่วนรวมกัน โครโมเจนเป็นส่วนของโครงสร้างอะโรมาติกส์ ซึ่งในโมเลกุลของสีย้อมและหมู่ที่ให้สี ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophore) และเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ให้สีโดยการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นแสงที่มองเห็น (Visible spectrum) และหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไปมีดังนี้

1. หมู่ไนโตรโซ  $-N=O$  หรือ  $=N-OH$
2. หมู่ไนโตร  $-NO_2$  หรือ  $=NOOH$
3. หมู่เอโซ  $-N=N-$  หรือ  $-N \equiv N$
4. หมู่เอทิลีน  $>C=C<$
5. หมู่คาร์บอนิล  $>C=O$
6. หมู่คาร์บอนิล-ไนโตรเจน  $>C=NH$  หรือ  $-CH=N-$
7. หมู่คาร์บอน-ซัลเฟอร์  $C-S-S-C<$  หรือ  $>C=S$

หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะเพิ่มความสามารถในการเกิดสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติกส์ โดยจะเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มการดูดซับสีในช่วงคลื่นของการมองเห็น นอกจากนี้หมู่โครโมฟอร์สามารถจะใช้เป็นพื้นฐานในการจำแนกชนิดของสีย้อมด้วย โมเลกุลของสีย้อมบางตัวจะลดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของสีหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลของสีย้อมอ้อมตัว หมู่ออกโซโครมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลของสีย้อมและจะเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดการยึดติดกับวัสดุที่ทำการย้อม

## 2.2 การจำแนกประเภทของสีย้อม

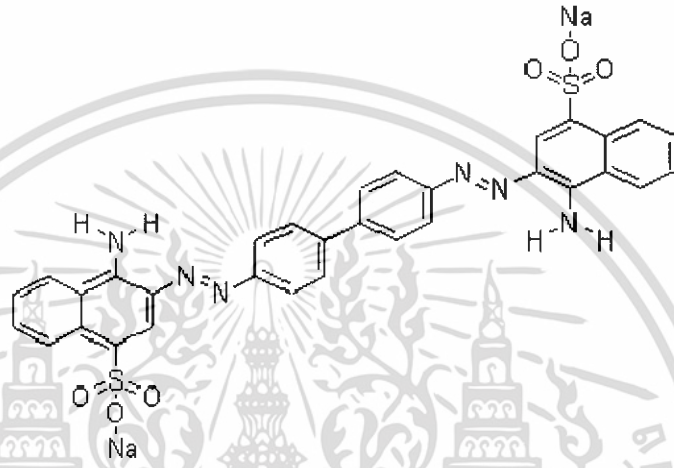
การจำแนกประเภทของสีย้อมมีหลายระบบด้วยกัน เช่น การจำแนกตามแหล่งกำเนิด ตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้างหรือการใช้งาน ระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้ดัชนีสีที่แบ่งตามการใช้งาน ดังนี้

1. สีแอซิด (Acid)
2. สีแอโซอิก (Azoic or Naphthol)
3. สีเบสิก (Basic or cationic)
4. สีไคเร็ค (Direct)
5. สีดิสเพิร์ส (Dispersed)
6. สีมอร์แดนท์ (Mordant)
7. สีแวต (Vat)
8. สีซัลเฟอร์ (Sulfur)
9. สีรีแอคทีฟ (Reactive)

สีเหล่านี้จะมีแรงกระทำในการจับยึดไฟเบอร์และโมเลกุลของสีย้อมทั้งทางกายภาพและแรงทางเคมี นั่นคือแรงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals's force) แรงไอออนิก (Ionic force) และพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กำลังแรงเหล่านี้มักทำหน้าที่เพียงลำพังในการยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบด้วยสองชนิดขึ้นไป [2]

## 2.3 สีย้อมคองโกเรด

สีย้อมคองโกเรด เป็นเกลือ โซเดียมของ Benzdinediazo-bis-1-Naphtylamine-4-Sulfonic Acid เป็นสีชนิดไดเอโซ สามารถละลายในน้ำได้ร้อยละ 40 ซึ่งเป็นสารละลายที่สำคัญสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการย้อม สีย้อมคองโกเรด เมื่อละลายในน้ำจะมีสีแดงเข้ม และเหมาะสำหรับใช้ในการย้อมผ้าฝ้าย สีย้อมคองโกเรดมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงและกรด มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 696.66 มีสูตร โครงสร้างคือ  $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสีย้อมคองโกเรด [3]

## 2.4 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

### 2.4.1 น้ำเสีย (Water pollution)

น้ำเสียเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมฟอกย้อม น้ำเสียจากการฟอกย้อมจะมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนของการเตรียมผ้า ขั้นตอนของการให้สี และขั้นตอนของการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก สิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี ไขมัน กรด - ด่าง สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้นจึงทำให้มีปริมาณสารพิษในน้ำเสียค่อนข้างสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำเสียที่เกิดจากการใช้น้ำในกระบวนการฟอกย้อม น้ำที่ใช้ส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้าง ในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.1 น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ค่อนข้างสูง

1.2 น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมากแต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่โดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

### 2. น้ำที่ใช้ในระบบหม้อไอน้ำ

กระบวนการการฟอกย้อมมักมีการใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรงก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อมและถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

### 3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อมของโรงงานเหล่านี้มีบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่

### 4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมและในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

### 5. น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจจะมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้จากคณงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น [2]

## 2.4.2 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

จากการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Grap sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแขวนลอย (SS) และปริมาณค่าสีโดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum cobalt method) ซึ่งได้สรุปผลค่าประเมินต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์ [4]

| ผลิตภัณฑ์ที่<br>ฟอกย้อม        | ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด |                 |                 |                |                     | จำนวน<br>ข้อมูล |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------------|
|                                | pH                                   | BOD<br>(มก./ล.) | COD<br>(มก./ล.) | SS<br>(มก./ล.) | สี<br>(หน่วย Pt Co) |                 |
| ฟอกย้อมด้าย                    | 8.2                                  | 120             | 300             | 43             | 450                 | 13              |
| ฟอกย้อมผ้าฝ้าย                 | 9.0                                  | 110             | 370             | 50             | 570                 | 16              |
| ฟอกย้อมผ้าทอ                   | 8.6                                  | 400             | 1,200           | 140            | 670                 | 41              |
| ฟอกย้อมด้ายและผ้า<br>หรืออื่นๆ | 9.1                                  | 230             | 713             | 65             | 400                 | 30              |

### 2.4.3 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะสมบัติน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมประเภทต่างๆ จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของของสมบัติน้ำเสียในแต่ละโรงงานยังขึ้นอยู่กับเวลาและฤดูกาล แต่โดยทั่วไปมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

#### 1. บีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดี คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน ในโรงงานฟอกย้อมบีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากการเอาแป้งออกจากเนื้อผ้าหรือขั้นตอนการลอกแป้ง (Desizing) ซึ่งหากเป็นแป้งธรรมชาติ (Starch) นั้นจะมีความสกปรกในรูปของบีโอดีสูงมากเมื่อเทียบกับแป้งสังเคราะห์ (PVA, CMC, PVOH) หากพิจารณาจากการฟอกย้อมผ้าฝ้ายทอ (Woven fabrics) ความสกปรกในรูปของบีโอดีจากกระบวนการลอกแป้งจะคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50 ของความสกปรกทั้งหมดในกระบวนการฟอกย้อม นอกจากค่าสกปรกในรูปบีโอดีเกิดจากกระบวนการฟอกย้อมต่างๆ ของสารจำพวกโปรตีน กรดอินทรีย์ ฯลฯ

#### 2. ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ โดยจะใช้โพแทสเซียมไดโครเมท ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในสารละลายที่เป็นกรด ในกระบวนการฟอกย้อมค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีเกิดจากสารช่วยย้อม สารสี สารตกแต่งและสารซักฟอก รวมทั้งสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปบีโอดี และสารอื่นๆ ที่เป็นตัวรับออกซิเจน (Reducing agent) เกือบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่สามารถกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) ได้ แล้วอบให้แห้ง ของแข็งแขวนลอยมีผลทำให้ค่าบีโอดี และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีสูงขึ้นด้วย ของแข็งแขวนลอยในน้ำของโรงงานฟอกย้อม ได้แก่ เศษเส้นใย

### 4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาวะในการทำมาสะอาดผ้า การฟอกขาว และสารย้อมสี ค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำ

### 5. สีในน้ำทิ้ง

สีในน้ำทิ้งเป็นสิ่งที่ให้ผลกระทบได้ง่ายต่อความรู้สึกของผู้คนที่ได้พบเห็น แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ยังคงถูกจัดว่าเป็นน้ำเสียอยู่ดี [4]

## 2.5 แนวทางการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

อาจทำได้หลายวิธีการ ดังนี้

### 1. การเลือกใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสม

เนื่องจากสารเคมีและสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมมีความหลากหลายทั้งในด้านความเป็นพิษ ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความยากง่ายในการบำบัด ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีและสีย้อมที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำและง่ายต่อการบำบัดนั้น จะสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะของโรงงานและยังเป็นการลดมลภาวะในการบำบัดด้วย

### 2. การนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในโรงงาน

เทคโนโลยีสะอาด หมายถึง เทคโนโลยีการผลิตที่ปราศจากของเสียหรือมีของเสียน้อยที่สุด แม้ว่าเทคโนโลยีเหล่านี้จะมีราคาแพง และอาจต้องใช้เวลาในการปรับปรุงโรงงานเพื่อให้ใช้เทคโนโลยีใหม่นี้ค่อนข้างนาน แต่ในระยะยาวการเลือกใช้เทคโนโลยีนี้จะเป็นทางออกที่ดีที่สุด

### 3. การลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้ง

เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งนั้นแปรผันตามปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้ง ดังนั้นในการลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้งย่อมสามารถที่จะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานลงได้ วิธีลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำด้วยความประหยัด การเลือกใช้สีที่มีค่าการดูดติดในเส้นใยที่สูง เป็นต้น

### 4. การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง

เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมมีความหลากหลายมาก ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณดังนั้นจึงควรที่จะเลือกใช้กรรมวิธีการบำบัดที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของแต่ละโรงงาน เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



พรุน (Porous) พวกเซลล์โลส-แอซิเตด หรือโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1.034 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำ และตะกอนเล็กที่มีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 500 - 500,000 และขนาดตั้งแต่  $2 \times 10^{-6}$  ถึง  $1 \times 10^{-2}$  มิลลิเมตรได้สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซิส สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่  $4 \times 10^{-7}$  ถึง  $6 \times 10^{-5}$  มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ ด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane)

#### 4. คลอรีเนชัน (Chlorination)

คลอรีเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดส์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือปริมาณสีลดลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซ คลอรีนสารประกอบ ไฮโปคลอไรต์ และคลอรีนไดออกไซด์

#### 5. โอโซนเนชัน (Ozonation)

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน ( $O_3$ ) เป็นตัวออกซิไดส์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับคลอรีน แต่โอโซนจะมีความสามารถในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีนเกือบเท่าตัว การผลิตโอโซนเนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรแตกกระจายไปเป็นออกซิเจนได้รวดเร็วมากหลังจากการผลิตโอโซนขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องนำเครื่องผลิตโอโซนติดตั้งไว้ที่โรงบำบัดน้ำเสีย

เครื่องผลิตโอโซนใช้หลักการนำออกซิเจนบริสุทธิ์หรืออากาศเข้าในเครื่อง โดยให้  $O_2$  กับ  $O^\circ$  มารวมตัวกันจนได้ก๊าซ  $O_3$  ภายในระบบจะเป็นการให้ไฟฟ้าแรงดันสูงผ่านช่องว่างของระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งจะเกิด  $O^\circ$  แยกตัวออกจาก  $O_2$  หรือจากอากาศ แล้ว  $O^\circ$  จึงไปรวมตัวกับ  $O_2$  จึงได้โอโซน ( $O_3$ ) ได้พบว่าถ้าใช้อากาศจะได้โอโซนประมาณ 0.5 ถึง 3 % โดยน้ำหนัก และถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์จะได้โอโซนประมาณ 1 ถึง 6 % โดยน้ำหนัก [5]

## 2.7 โอโซน (Ozone)

### 2.7.1 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซนเป็นสารที่ถูกใช้ครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศสในโรงงานผลิตน้ำประปา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900 และในปัจจุบันการใช้โอโซนได้ถูกใช้มากขึ้น และนับวันจะมีมากขึ้นเรื่อยๆ แม้กระทั่งในสระว่ายน้ำก็ได้มีการใช้มากขึ้น โอโซนช่วยฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ช่วยกำจัดกลิ่นและรส ช่วยกำจัดสีได้ และยังกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้อีกด้วย

โอโซนอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ  $O_3$  เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างแรงสำหรับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยโอโซนมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| น้ำหนักโมเลกุล                                   | 48                            |
| จุดเดือด (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)                 | -111.9 องศาเซลเซียส           |
| จุดหลอมเหลว (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)              | -192.7 องศาเซลเซียส           |
| อุณหภูมิวิกฤติ                                   | -12.1 องศาเซลเซียส            |
| ปริมาตรวิกฤติ                                    | 0.147 ลิตรต่อ โมล             |
| ความดันวิกฤติ                                    | 54.6 บรรยากาศ                 |
| ความหนาแน่น (ก๊าซ ที่ 0 องศาเซลเซียส)            | 2.144 กรัมต่อลิตร             |
| ความหนาแน่น (ของเหลว ที่ -183 องศาเซลเซียส)      | 1.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร |
| ความตึงผิว (ที่ -183 องศาเซลเซียส)               | 38.4 ไดน์ต่อเซนติเมตร         |
| ความหนืด (ของเหลว ที่ -183 องศาเซลเซียส)         | 1.55 เซ็นติพอยด์              |
| เอนทัลปีของการระเหย (-122 องศาเซลเซียส)          | 75.6 แคลอรีต่อกรัม            |
| สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น | 254 นาโนเมตร                  |

### 2.7.2 ประสิทธิภาพของโอโซน [6]

โอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ (Oxidant) ที่ดีมาก ซึ่งสามารถกำจัดแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆ ได้ดี ด้วยการไปทำลายกำแพงเซลล์ก่อน นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดเชื้อโรคได้ดีอีกด้วย และพบว่าโอโซนมีความสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียได้ดีกว่าคลอรีน

เมื่อใช้โอโซนกับน้ำเสียจะไม่ไปเพิ่มค่าสารละลายแขวนลอยในน้ำทิ้ง และจะไม่ถูกผลกระทบจากสารแอมโมเนียในน้ำเสีย และไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียเข้าเปลี่ยนแปลง เมื่อใช้โอโซนก็ไม่จำเป็นต้องใช้ระบบคลอรีนเหมือนกับระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 ผลกระทบต่อการใช้อิโอโซน [6]

โอโซนนอกจากจะมีประโยชน์แล้วก็ยังมีโทษด้วยเช่นกัน และจากการศึกษาพิษของโอโซนกับสัตว์ทดลองพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การบีบรัดของหลอดเลือดและปอด การทำลายเม็ดเลือดแดง การเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อในเซลล์ต่างๆ ผลต่อการสร้างภูมิคุ้มกัน

การใช้อิโอโซนจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำคือมีพิษแบบเฉียบพลัน แต่อย่างไรก็ตามโอโซนจะสามารถสลายตัวออกได้โดยง่ายและรวดเร็วมาก จึงทำให้ไม่พบโอโซนในแหล่งรับน้ำทิ้ง นอกจากนี้โอโซนยังสามารถก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งขึ้นได้ แต่สารดังกล่าวจะไม่เสถียร แตกกระจายรวดเร็ว

### 2.7.4 รายละเอียดของระบบจ่ายโอโซน [6]

ระบบที่ใช้ผลิตโอโซนมีความสำคัญ คือ ใช้อากาศหรือจากออกซิเจนบริสุทธิ์ โดยควรใช้ภาชนะสัมผัสที่มีรูปร่างภาชนะลึกและปิดมิดชิด นอกจากนี้ควรมีการจ่ายโอโซนด้วยหัวจ่ายแบบกระจาย ซึ่งควรพ่นโอโซนจากกันภาชนะให้ลอยขึ้นผิวน้ำ เพื่อให้ได้การกวนที่ดีและการถ่ายเทโอโซนลงน้ำมีประสิทธิภาพ ถ้าออกแบบระบบหัวจ่ายดีก็จะได้การถ่ายเทโอโซนลงน้ำได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อก๊าซโอโซนถูกปล่อยออกจากภาชนะสัมผัสจะต้องทำการบำบัดก่อน เพราะโอโซนจะมีผลทำให้เกิดการระคายเคืองและเป็นก๊าซพิษ

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของนางสาวนัม จงเทพ และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาและทดลองการดูดซับสารละลายสีข้อมคองโกเรดโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติ พบว่าวัสดุทางธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซับสารละลายสีข้อมได้ ซึ่งในการทดลองนี้ ต้นข่ามีความสามารถในการดูดซับสูงสุด จึงได้นำมาเปรียบเทียบกับวิธีโอโซนเห็น ว่าวิธีใดเหมาะสมในการกำจัดสีข้อมคองโกเรดได้ดีที่สุด

งานวิจัยของนายนราวุธ ศรีจันทร์ และนายพัฒนศักดิ์ วานิช [2] ได้ศึกษาการกำจัดสีข้อมชนิดเอโซพบว่าสามารถกำจัดสารละลายสีข้อมฟาสบลูบีได้หมด และมีการศึกษาอัตราการไหลของออกซิเจนที่เข้าเครื่องผลิตโอโซนเพื่อหาอัตราการไหลของโอโซนที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อม ซึ่งได้ค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมคือ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการไหลที่ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

**ตอนที่ 3.1** การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย สีข้อมอง โกรดที่ความเข้มข้นต่างๆ กันจะสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารละลายสีข้อมอง โกรด (LABCHEM) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV / Vis Spectrophotometer)
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด
3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
4. ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีข้อมอง โกรด ที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับโดยใช้ปิเปตดูดสารละลายสีข้อมเข้มข้น 100 มิลลิตร มา 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายสีข้อมอง โกรดที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร
3. บันทึกผลที่ได้และนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง

**ตอนที่ 3.2** ทดลองป้อนอัตราการไหลของออกซิเจนคงที่ ที่ 1800 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายซีลียมคองโกเรดเปรียบเทียบกับเวลา

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารละลายซีลียมคองโกเรด (LABCHEM) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

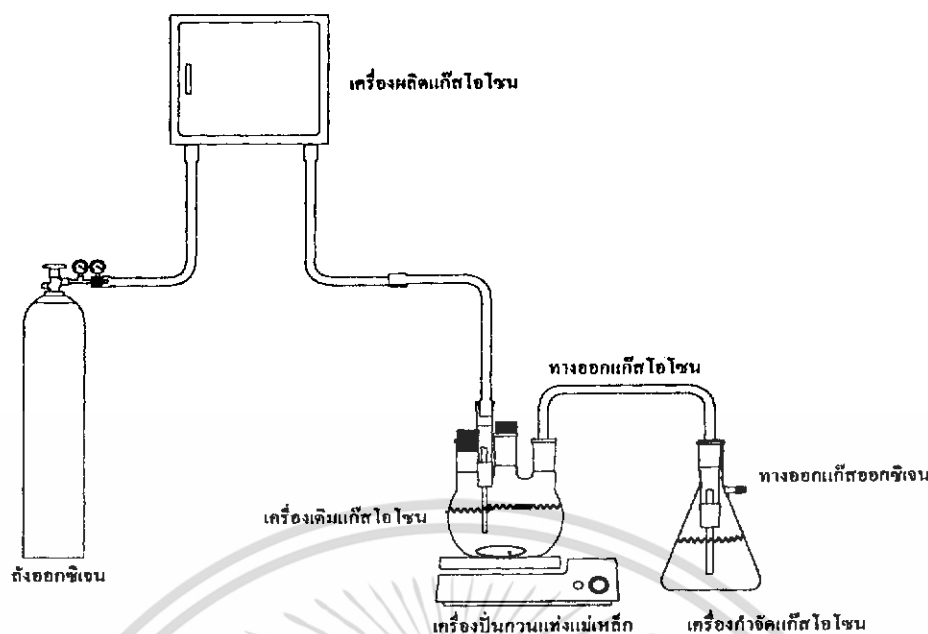
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model : OZ - 732)
2. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
3. ถังออกซิเจน
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV / Vis Spectrophotometer)
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
8. บีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
2. เติมสารละลายซีลียมคองโกเรดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตรลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
3. เก็บตัวอย่างสารละลายซีลียมคองโกเรดประมาณ 20 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง
4. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน โดยปรับอัตราการป้อนของออกซิเจนให้เท่ากับ 1800 มิลลิลิตรต่อนาที
5. เปิดสวิตช์เครื่องผลิตโอโซน แล้วปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
6. เก็บตัวอย่างสารละลายซีลียมคองโกเรดทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งสารละลายซีลียมไอไม่มีสี
7. นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร
8. บันทึกผลและนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดออกเดชันกับเวลาที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกซิไดส์สารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วยโอโซน [7]

ตอนที่ 3.3 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมคองโกเรด และวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาค่าความเป็นกรด - ด่างที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมคองโกเรด โดยทดลองที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10 เพื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมคองโกเรดให้หมดไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมคองโกเรด (LABCHEM) ที่เข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.05 โมลาร์
3. สารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.05 โมลาร์
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model: OZ - 732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (Hanna รุ่น Piccolo)

#### วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิตร
2. ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ตามที่กำหนดโดยไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดมีค่าเป็นกรดมากเกินไป หรือไทเทรตกับสารละลายไฮโดรคลอริก เมื่อสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดมีค่าเป็นด่างมากเกินไป
3. ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ของสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดให้เท่ากับ 4
4. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดเพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่ข้อม และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
5. เติมสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
6. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการไหลให้เท่ากับ 1,800 มิลลิตรต่อนาที
7. เปิดสวิทช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
8. เก็บตัวอย่างสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี
9. นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร
10. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไปวัดค่าไนเตรทและวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี
11. ทดลองซ้ำโดยปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็น 7 และ 10 ตามลำดับ

**ตอนที่ 3.4** การทดลองศึกษาผลกระทบของค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟต และค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรด และวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาความเข้มข้นของเกลือที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสี่ข้อมก่องโกเรดในการทดลองนี้จะใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตซึ่งจะทดลองที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร [8]

### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสี่อ้อมคองโกเรด (LABCHEM) ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม
3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์

### อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิต โอโซน (Ozzon model: OZ - 732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (Hanna รุ่น Piccolo)

### วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสี่อ้อมคองโกเรดความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิตร
2. เติมโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม ลงในสารละลายสี่อ้อมคองโกเรด แล้วปรับค่าความเป็นกรด - ด่างให้มีค่าเท่ากับ 4
3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสี่อ้อมคองโกเรดเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายสี่อ้อม และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
4. เติมสารละลายสี่อ้อมคองโกเรด ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
5. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการไหลให้เท่ากับ 1,800 มิลลิตรต่อนาที
6. เปิดสวิทช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
7. เก็บตัวอย่างสารละลายสี่อ้อมคองโกเรดทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี
8. นำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร และนำไปวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี
9. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี และปริมาณไนเตรท ดังภาคผนวก ข
10. ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง เป็น 7 และ 10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 3.5 การทดลองศึกษาออกซิเดชันสีของคองโกเรดในสารละลายสีข้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีข้อม ค่าความเป็นกรด - ด่าง และความเข้มข้นของเกลือที่ใกล้เคียงกับสภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม**

การทดลองนี้เป็นการทดลองออกซิเดชันสีของคองโกเรดในสารละลายสีข้อมที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 8.0 - 9.0 และใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด - ด่าง และเกลือของสารละลายสีข้อมมีค่าใกล้เคียงกับสภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีข้อมคองโกเรด (LABCHEM) ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม
3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไฮโดรคลอริก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model: OZ - 732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (Hanna รุ่น Piccolo)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีข้อมคองโกเรดเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. เติมโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัม ลงในสารละลายสีข้อมคองโกเรดและปรับค่าความเป็นกรด - ด่างให้อยู่ในช่วง 8.0 - 9.0
3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมคองโกเรด เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมคองโกเรด และความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
4. เติมสารละลายสีข้อมคองโกเรดลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลผ่านเข้าเครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการไหลให้เท่ากับ 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที
6. เปิดสวิตช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
7. เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมคองโกเรดทุกๆ 20 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลาย และเก็บทุกๆ 40 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี
8. ทำการทดลองจนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี
9. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท และปริมาณความความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข

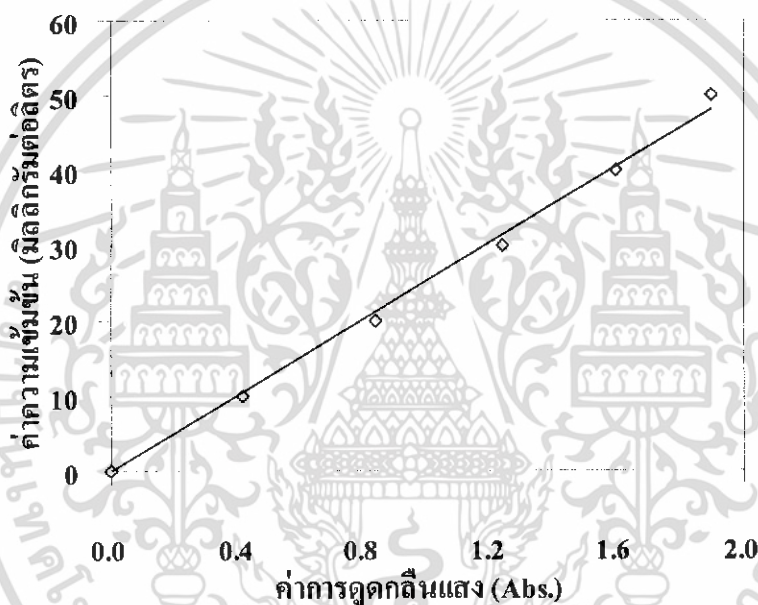


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดสารละลายสีข้อมองโกเรตที่ได้ศึกษา คือ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ความเข้มข้นของเกลือ สำหรับที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ ความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมนั้นสามารถหาได้จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 479 นาโนเมตร



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมองโกเรต กับค่าการดูดกลืนแสง

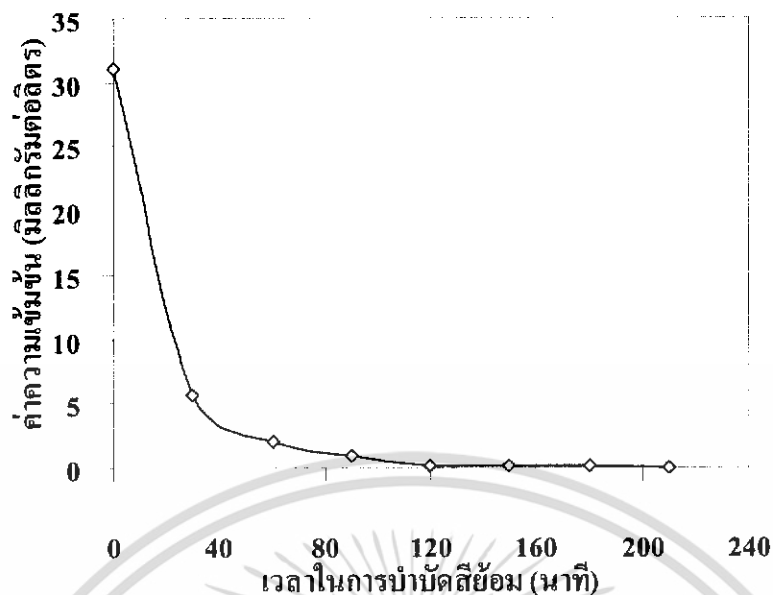
จากรูปที่ 4.1 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมได้ดังนี้

$$C_A = 25.313 \times \text{Abs} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $C_A$  = ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมองโกเรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)

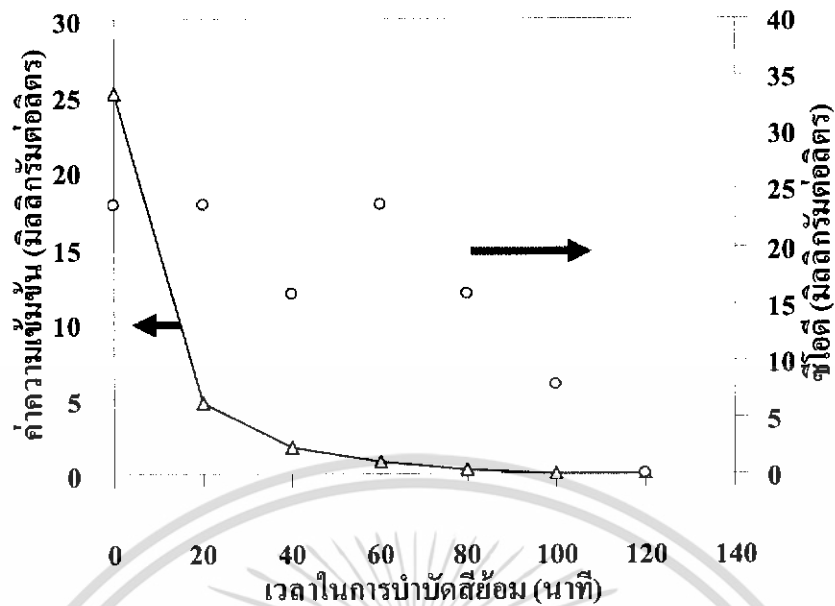
Abs. = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 479 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

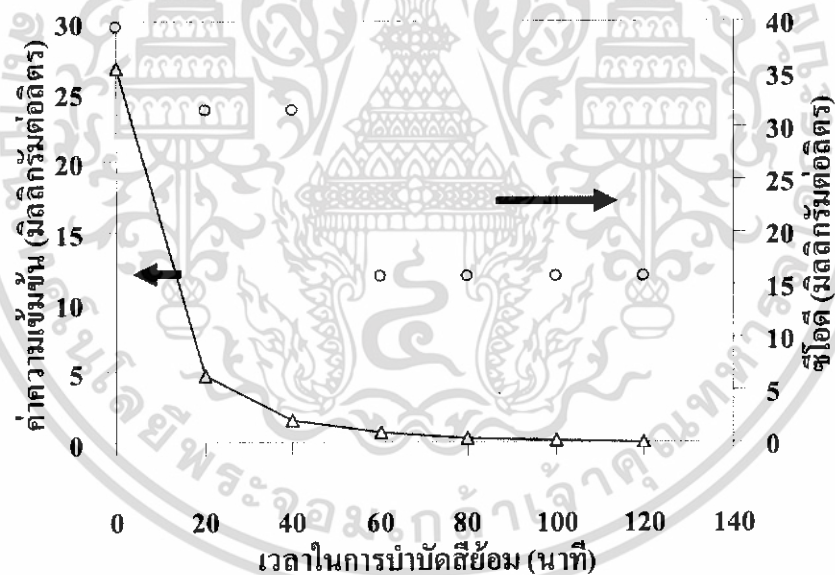


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมทอง โกรเรด กับเวลาที่ใช้ในการบำบัด

จากรูปที่ 4.2 ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบว่าโอโซนสามารถทำลายสีย้อมทอง โกรเรดได้หรือไม่ จากการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า โอโซนสามารถบำบัดสีย้อมได้อย่างรวดเร็วใน 30 นาทีแรก และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง โอโซนสามารถบำบัดสีย้อมทอง โกรเรด ได้หมด



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีไอซีของ โกรเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดเสียที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4



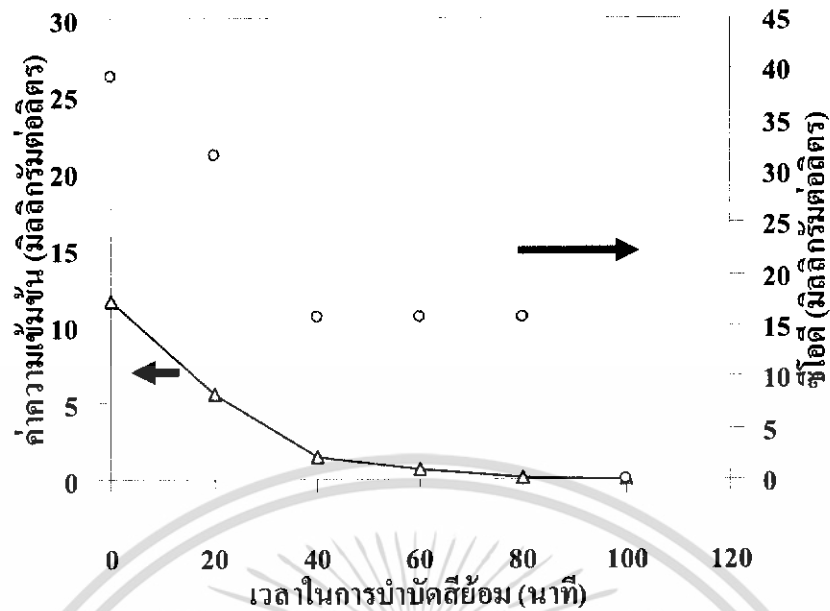
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีไอซีของ โกรเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดเสียที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

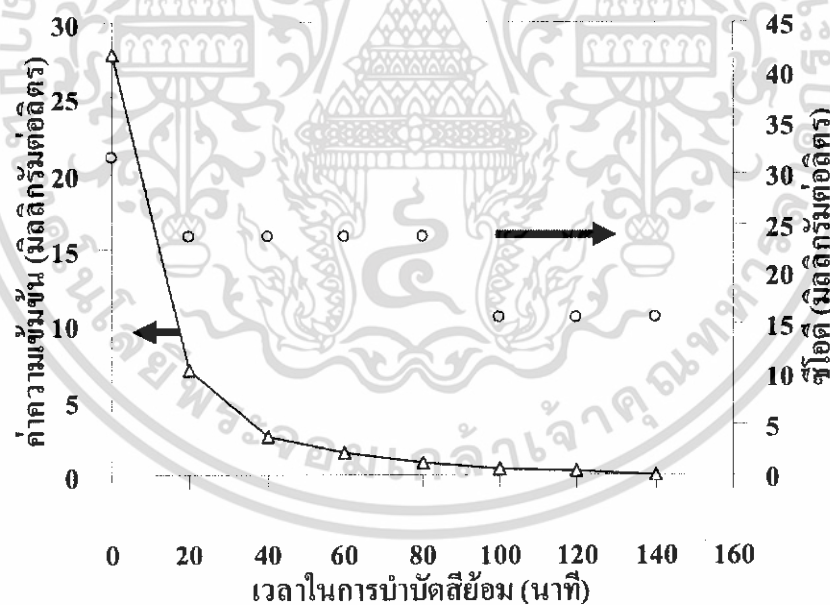


**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคลอโรฟิลล์ ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 10

จากรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคลอโรฟิลล์และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4, 7 และ 10 ตามลำดับ พบว่าที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 4 และ 10 จะใช้เวลาในการบำบัดเร็วกว่าที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 7 ซึ่งจากกราฟในช่วงแรกความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคลอโรฟิลล์จะลดลงเร็วมากและจะค่อยๆ คงที่ ส่วนค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีนั้นจะคงที่ในช่วงแรกและลดลงเรื่อยๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ แต่ที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7 นั้นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจะลดลงในช่วงแรกและจะคงที่ไม่ลดลงอีก การลดลงของสีในช่วงแรกโดยค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีคงที่นั้น แสดงถึงพันธะของหมู่เอโซ (-N=N-) นั้นจะถูกทำลายแต่สารอินทรีย์ยังไม่ถูกออกซิไดซ์ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพันธะของหมู่เอโซถูกทำลายไปแล้ว จึงมีการลดลงของค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี แสดงถึงการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์จากโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก และสารประกอบอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด สังเกตได้จากค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำเสียมีผลกระทบต่ออัตราการสลายพันธะของหมู่เอโซน้อยแต่มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์มากกว่าทราบได้จาก ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีที่มีแนวโน้มในการลดลงที่แตกต่างกัน

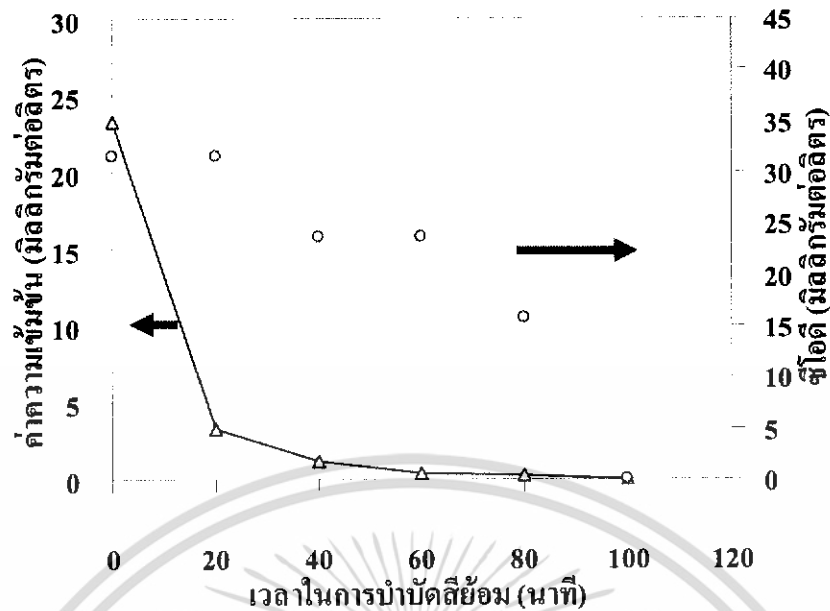


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีไอดีของโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดซีไอดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 4 และเติมเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร



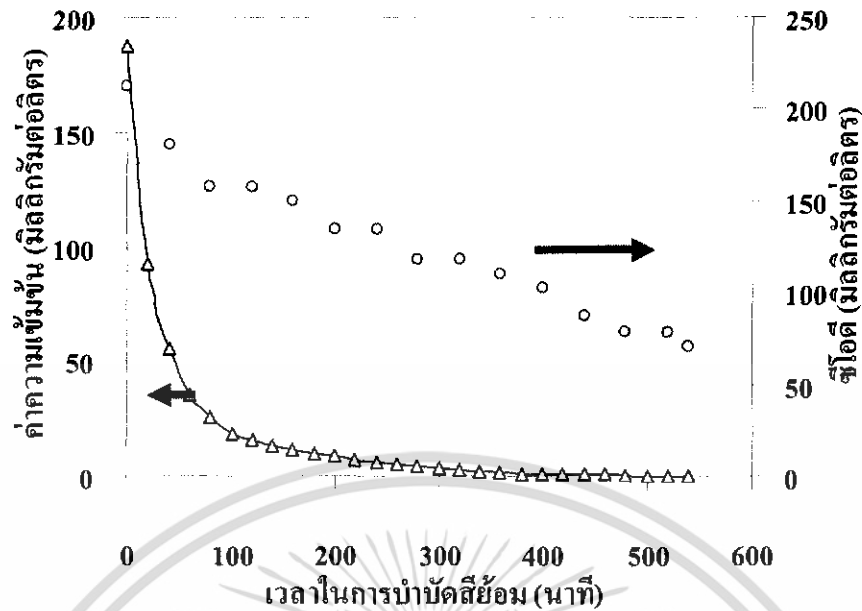
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีไอดีของโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดซีไอดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 7 และเติมเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 10 และเติมเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 เป็นการทดลองเติมเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร พบว่า เวลาที่ใช้จะนานขึ้น ซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ที่เกิดจากการละลายของโซเดียมซัลเฟตจะไม่ทำปฏิกิริยากับไอโซน แต่ซัลเฟตไอออนจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลฟรีเรดิคัลเกิดเป็นซัลเฟตเรดิคัล (Sulphate radical) และเปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟตไอออน (Peroxydisulphate ions) ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมเมื่อมีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายสีย้อมมากกว่าระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมในสารละลายที่ไม่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจะมีค่าสูงกว่าสารละลายสีย้อมที่ไม่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ ซึ่งเมื่อใช้เวลาในการบำบัดมากขึ้นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีก็จะลดลงจนหมด แต่ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีนั้นลดลงมาเล็กน้อย และค่อนข้างจะคงที่ และที่ความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4 ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นมีค่าน้อยอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดกับสีย้อม ซึ่งสารละลายสีย้อมจะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดและแสง เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีที่มีเกลือละลายอยู่ในน้ำนั้น พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างที่ 4 และ 10 เท่านั้นที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ทั้งหมด



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8.2 ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.9 เป็นการทดลองออกซิเดชันสีย้อมคองโกเรดในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8.2 และใช้เกลือ โซเดียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะใช้เวลา 540 นาที และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี มีค่าลดลงเมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป และมีแนวโน้มว่าถ้าหากทำการบำบัดต่อไป ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีน่าจะลดลงได้อีก

## สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ

จากการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการบำบัดสีย้อมคองโกเรดในสารละลายสีย้อม พบว่า ความเป็นกรด - ด่างของสารละลายสีย้อม มีผลต่อการนำบัดสีย้อม โดยพบว่าสารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 10 ใช้เวลาในการบำบัดสีย้อมเร็วกว่าสารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4 และ 7 ตามลำดับ และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี มีค่าลดลงด้วย ซึ่งจากผลการทดลอง สารละลายสีย้อมที่มีสภาพเป็นกรดหรือด่าง จะสามารถทำการกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ดีกว่าสารละลายที่มีสภาพเป็นกลาง สารละลายที่มีสภาพเป็นกลางจะสามารถกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น

เมื่อเติมเกลือ โซเดียมซัลเฟต ลงในสารละลายสีย้อมจะทำให้ระยะเวลาในการบำบัดสารละลายสีย้อมนานขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่าความเป็นกรด - ด่างที่ค่าต่างๆ กัน พบว่า สารละลายสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 7 จะใช้ระยะเวลาในการบำบัดนานกว่าค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ 4 และ 10 และจะสามารถกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ส่วนสารละลายสีย้อมที่มีสภาพเป็นกรด - ด่าง ที่ 4 และ 10 จะสามารถทำการกำจัดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ดีกว่า

จากการทดลองวิเคราะห์หาไนเตรทในสารละลายสีย้อมคองโกเรด พบว่าไม่สามารถวัดค่าไนเตรทในสารละลายสีย้อมได้ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดค่าได้ จากผลการทดลองเราสามารถบำบัดสีย้อมคองโกเรดในสารละลายสีสังเคราะห์ได้ และจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น หากวิเคราะห์จากปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดด้วยวิธีโอโซนชั้นน่าจะเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ เพราะปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี มีค่าลดลง แสดงว่าคาร์บอนแตกตัวได้หมด กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ และปริมาณไนเตรทที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก โดยผลิตภัณฑ์ที่เหลือน่าจะเป็นสารพวกคีโตน กรดแอซิดิก เป็นต้น และจากงานวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการฟอกย้อมได้

แนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ จากการวิจัยไม่ได้ตรวจสอบอย่างชัดเจนว่าสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดด้วยวิธีโอโซนชั้น เป็นสารชนิดใดมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตหรือไม่ ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการออกซิเดชัน ว่าเป็นสารชนิดใด มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตหรือไม่ ควรศึกษาถึงตัวแปรอื่นๆ ว่ามีผลกระทบต่อการใช้บำบัดสีย้อมหรือไม่ และควรศึกษาชนิดหรือประเภทของสีย้อมที่มีผลต่อการบำบัดด้วยวิธีโอโซนชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นิ่ม จงเทพ และคณะ. “การดูดซับสารละลายสีย้อมคองโกเรดโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติ”  
 ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547
- [2] นราวุธ ศรีจันทร์ และพัฒนศักดิ์ วานิช. “การกำจัดสีย้อมชนิดเอโซในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอ  
 โซเนชัน.” ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547
- [3] Available : [http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/CO/congo\\_red.html](http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/CO/congo_red.html)
- [4] สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอก. กรุงเทพฯ :  
 สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2542
- [5] คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3 (ปรับปรุงครั้งที่ 2).  
 สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.). 2540
- [6] ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. “วิศวกรรมกำจัดน้ำเสีย (เล่มที่ 5).” มหาวิทยาลัยรังสิต, 2545
- [7] นที ตั้งอมรสฤษดิ์ และยินดี สุทธิสวาท. “การแยกตะกั่วและแคดเมียมออกจากน้ำเสียด้วยวิธีโอ  
 โซเนชัน.” ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545
- [8] S. Salam Ashraf., Muhammad A. Rauf, Seham Alhadrami “Degradation of Methyl Red  
 using Fenton’s reagent and the effect of various salts.” Ashraf et. Al., Dyes and  
 Pigments 69, 2006.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารเคมี

การเตรียมสารละลายทุกอย่างจะต้องใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากสิ่งเจือปนต่างๆ

1. วิธีเตรียมสารละลายสี่อ้อมคอง โกรเดเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร  
ละลายสี่อ้อมคอง โกรเดจำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์  
ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจำนวน 25.0 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. วิธีเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก  
ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่นละลาย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์  
ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. วิธีเตรียมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์  
นำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก มา 1.838 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมี

การวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เป็นการคำนวณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยสารเคมีจะมีความสามารถในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี จากตัวอย่างบางชนิด สามารถหาค่าความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี สารอินทรีย์คาร์บอน หรือสารอินทรีย์ต่างๆ เพื่อใช้ในการติดตามและควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ วิธีรีฟลักซ์โดยใช้ไดโครเมทเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าการใช้สารออกซิเดนต์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการออกซิไดส์ใช้ได้กับตัวอย่างชนิดอื่นๆ และวิธีวิเคราะห์ง่าย ออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ ได้ประมาณ 95 ถึง 100% แต่สำหรับไพรีนและอนุพันธ์จะทนต่อการถูกออกซิไดส์ และพวกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายจะถูกออกซิไดส์เมื่อสัมผัสกับสารออกซิไดส์เท่านั้น แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำเสียหรือถูกปล่อยออกจากสารอินทรีย์จะไม่ถูกออกซิไดส์ ถ้าไม่มีประจุคลอรีนอิสระจำนวนมากเพียงพอ

#### ความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจะใช้ในการบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด ตรวจสอบปริมาณอากาศที่ต้องเติมลงไปจนถึงเติมอากาศ และภาวะสารอินทรีย์ที่เข้าระบบทางชีวะ ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีรวมถึงสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (วัดค่าบีโอดีไม่ได้) และสารพิษซึ่งยับยั้งการทดสอบความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังนั้นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจึงไม่สามารถวัดอัตราเร็วในการย่อยสลายทางชีววิทยาของน้ำเสียและน้ำในแหล่งน้ำได้ ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีใช้ตรวจวัดความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งวิธีการจะแตกต่างจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี ข้อดีของการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมี คือ สามารถรู้ผลได้ในเวลา 2-3 ชั่วโมง จึงนิยมใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

#### การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดและวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open reflux) สามารถใช้ได้กับของเสียชนิดต่างๆ ที่สามารถเก็บตัวอย่างจำนวนมากได้ ส่วนวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux) จะประหยัดกว่าในการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเกลือโลหะ แต่ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีเนื้อเดียวกัน (Homogenous) มิฉะนั้นจะทำให้ได้ค่าที่คาดเคลื่อน

ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกใช้วิธีฟลักซ์แบบปิดในการวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เนื่องจากมีความสะดวกกว่า เพราะใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง และประหยัดกว่าเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าวิธีฟลักซ์แบบเปิด แต่จะต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยให้เข้ากันให้ดีเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และวิธีนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ระเหยได้มากกว่าเนื่องจากน้ำตัวอย่างสามารถสัมผัสกับสารโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ได้นานกว่า เหมาะสมกับน้ำตัวอย่างที่มีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

### การวิเคราะห์ซีโอดีโดยวิธีฟลักซ์แบบปิด

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ จะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าในระบบเปิด เพราะมีระยะเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจสอบฝาปิดหลอดทดลองว่ามีรอยแตกตรงรอยต่อของฝาปิดหรือไม่ ฝาปิดของหลอดทดลองที่อาจเกิดการชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในตู้อบ จะทำให้การปนเปื้อนและทำให้เกิดการสูญหายทางอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวัง สำหรับการย่อยสลายในตู้อบจะใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดทดลองขึ้นอยู่กับความไว (Sensitivity) ที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำกว่าควรใช้หลอดทดลองขนาด  $25 \times 150$  มิลลิเมตร เพราะจะต้องใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่มาก

### ข้อจำกัดและสิ่งรบกวนของการวิเคราะห์

สารประกอบพวกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ จะถูกออกซิไดส์เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากสารระเหยเหล่านี้อยู่ในสถานะที่เป็นไอระเหย ทำให้ไม่สัมผัสโดยตรงกับสารออกซิไดส์ สารประกอบเหล่านี้จะถูกออกซิไดส์ได้ดีขึ้นถ้ามีซิลเวอร์ซัลเฟต ร่วมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย

อย่างไรก็ดี ซิลเวอร์ซัลเฟตเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์โบรมไนด์และไอโอดีน เกิดเป็นตะกอน ซึ่งจะถูกออกซิไดส์เป็นบางส่วน แต่สามารถแก้ไขถึงแม้จะไม่สมบูรณ์ได้โดยการผสมเมอร์คิวริกซัลเฟตก่อนทำการฟลักซ์ แม้ว่าเมอร์คิวริกซัลเฟต 1 กรัม จะถูกกำหนดให้ใช้กับตัวอย่าง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่สามารถใช้น้อยลงได้ ถ้าปริมาณตัวอย่างคลอไรด์มีปริมาณต่ำกว่า 2000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

## เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digerster vessels) ควรใช้หลอดแก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกต ขนาด  $20 \times 150$  มิลลิเมตร ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อกกล่องอลูมิเนียมตัน ลึก 45 - 50 มิลลิเมตร มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว หรือขาตั้งใส่หลอดแก้ว
3. บล็อกฮีทติ้ง (Block heater) หรือตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส การใช้ตู้อบต้องแน่ใจว่าการอบ 2 ชั่วโมงที่ 150 องศาเซลเซียส จะไม่ทำให้ฝาหลอดแก้วเสียหาย

## สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 0.1 N : ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) (ซึ่งอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ ) 167 มิลลิลิตร และเติมเมอร์คิวริกซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็น แล้วจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก : ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) 5.5 กรัม ลงในซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ ) 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1 - 2 วัน ให้ซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) ละลาย
3. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ : ละลาย 1, 10 - ฟีนานโทลีนโมโนไฮเดรต ( $C_{12}H_8H_2.N_2O$ ) 1.485 กรัม และซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต : นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต ( $HOOC_6H_4COOK$ ) มาบด แล้วอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส ชั่งมา 0.425 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร โดยโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต 1 กรัม มีความต้องการออกซิเจนทางเคมีเท่ากับ 1.176 กรัมออกซิเจน และสารละลายนี้จะมีซีไอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้
5. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต (FAS) 0.10 N : ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [ $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$ ] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.  $H_2SO_4$ ) 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร นำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตทุกครั้งที่ใช้

## การควบคุมคุณภาพ

1. วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพลาเตด (KHP) เพื่อเช็คความถูกต้องของเทคนิคการวิเคราะห์ (KHP 0.425 กรัมต่อลิตร มีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2. สารเอฟเอเอส (FAS) ต้องถูกตรวจวัดความเข้มข้นที่ถูกต้องด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

3. สารมาตรฐานต้องถูกอบแห้งในตู้อบก่อนชั่ง

4. กำจัดคลอไรด์ด้วยเมอร์คิวรีซัลเฟต ( $\text{HgSO}_4$ )

5. อัตราส่วนปริมาตรน้ำตัวอย่าง (รวมน้ำกลั่น) : ไดโครเมต : กรด = 5 : 3 : 7

## ข้อควรระวัง

1. ผสมสารทุกอย่างให้เข้ากันก่อนให้ความร้อน เพราะถ้าเกิดขึ้นของกรดที่กั้นขวดความ ต้องการออกซิเจนทางเคมีที่มีความร้อนจะทำให้ของผสมพุ่งออกมาได้

2. ถ้าใช้ตัวอย่างปริมาตรอื่นให้ใช้อัตราส่วนน้ำตัวอย่าง ปริมาตรและนอร์มัลลิตีของ สารเคมี เพื่อให้ได้อัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่ถูกต้องตามตาราง ข.1

## การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

เติมสารเคมีทุกชนิดตามตารางที่ ข.1 ลงในหลอดแก้วทดลองตามขนาดที่ใช้ โดยใช้น้ำ กลั่นแทนตัวอย่างน้ำทิ้งให้เย็นลง เติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS

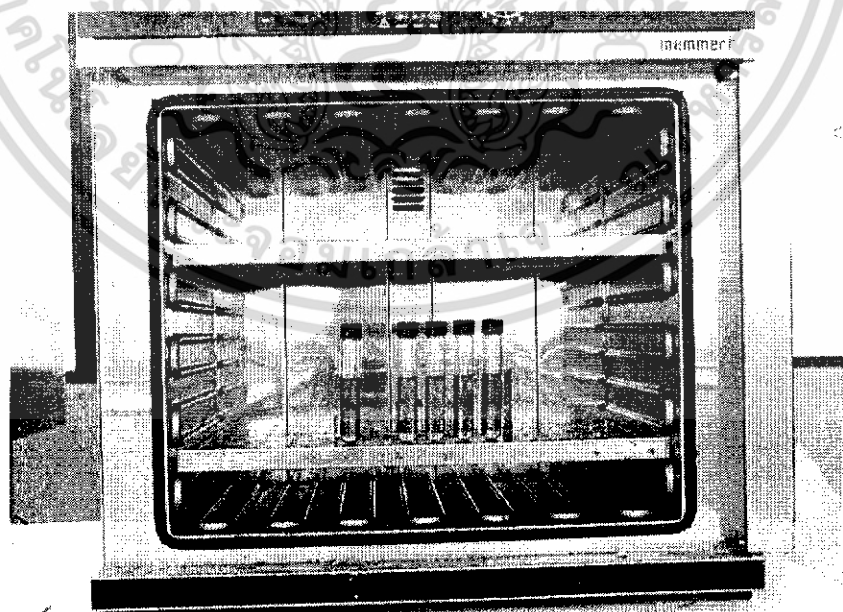
$$\text{นอร์มอลลิตีของสารละลาย FAS} = \frac{\text{ปริมาตรของ } 0.1 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (มิลลิลิตร)} \times 0.1}{\text{ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)}} \quad (\text{ข.1})$$

### ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

| หลอดย่อยสลาย<br>(ขนาดของ<br>หลอดแก้ว) | ปริมาณน้ำ<br>ตัวอย่าง<br>(มิลลิลิตร) | ปริมาณสารละลาย<br>โพแทสเซียมไดโครเมต<br>สำหรับย่อยสลาย<br>(มิลลิลิตร) | สารละลาย<br>กรดซัลฟิวริก<br>(มิลลิลิตร) | ปริมาตรรวม<br>(มิลลิลิตร) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------|
| 16 x 100 มิลลิเมตร                    | 2.5                                  | 1.5   | 3.5                                     | 7.5                       |
| 20 x 150 มิลลิเมตร                    | 5.0                                  | 3.0   | 7.0                                     | 15.0                      |
| 25 x 150 มิลลิเมตร                    | 10.0                                 | 6.0   | 14.0                                    | 30.0                      |

### วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีตามตารางที่ ข.1 โดยเติมตัวอย่างน้ำลงไป  
ในหลอดแก้ว แล้วเติมสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย แล้วจึงค่อยๆ  
เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้เกิดชั้นกรดยุติที่ก้นหลอดแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วแกว่งขวดจน  
ไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี (ถ้าความต้องการออกซิเจนทางเคมีมีค่ามากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อ  
ลิตร ให้ลดปริมาณน้ำตัวอย่างลง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบตามตาราง)
2. นำหลอดแก้วใส่ลงในขวดใส่หลอดแก้ว แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศา  
เซลเซียส แล้วอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

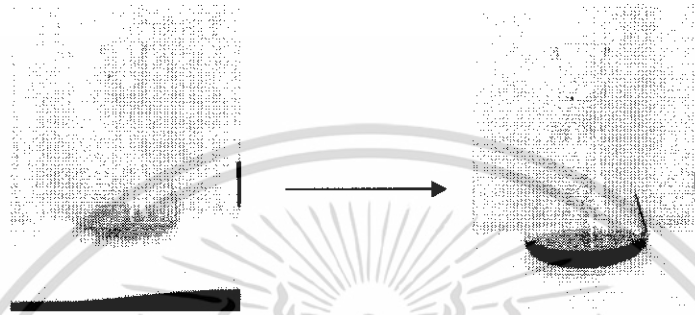


รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดฝาหลอดแก้วทดสอบตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยดและไทเทรตด้วย 0.10 N FAS จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแดง (B) ดังรูปที่ ข.2

4. ทำตัวอย่างเปรียบเทียบด้วยทุกครั้ง โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่างและทำการวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างน้ำ ดังแสดงแผนผังการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีฟลักซ์แบบปิดในรูปที่ ข.3



A  
สารละลายสีเหลือง

B  
สารละลายสีน้ำตาลแดง

รูปที่ ข.2 การเปลี่ยนสีของน้ำตัวอย่างเมื่อไทเทรตด้วย FAS

การคำนวณ

$$\text{COD (ml)} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{V \text{ (ml)}} \quad (\text{ข.2})$$

เมื่อ

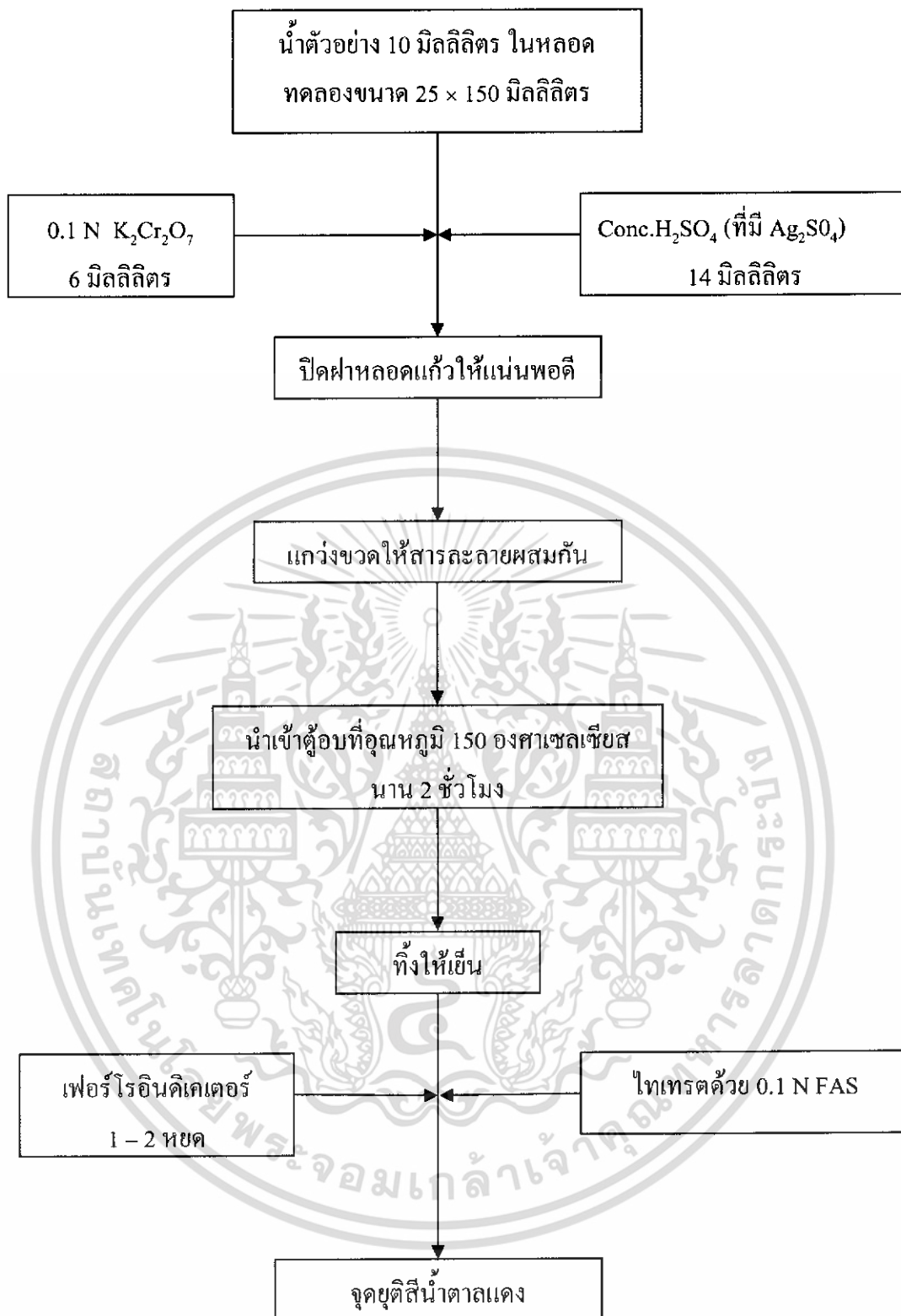
A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างเปรียบเทียบ

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง

N = นอร์มอลิตีของ FAS

V = มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



\* หมายเหตุ การทำตัวอย่างเปรียบเทียบโดยใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างน้ำและทำทุกขั้นตอนเหมือนตัวอย่าง

### รูปที่ ข.3 แผนผังการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

# ชุดการทดลองการบำบัดด้วยโอโซนและรูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.1 ชุดทดลองการบำบัดสีข้อมคองโกเรดในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซนชั้น

\* หมายเหตุ ชื่ออุปกรณ์อ้างอิงตามหมายเลข

1. ตู้ดูดควัน
2. เครื่องผลิต โอโซน
3. ถังก๊าซออกซิเจน
4. เครื่องกวนแม่เหล็ก
5. ชุดปฏิกรณ์แบบกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมองโกเรคกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 497 นาโนเมตร

| ความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสง<br>(Abs) |
|--|---------------------------|
| 0  | 0                         |
| 10   | 0.418                     |
| 20   | 0.839                     |
| 30   | 1.237                     |
| 40   | 1.598                     |
| 50   | 1.900                     |

ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมองโกเรคกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีข้อม

| เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีข้อม<br>(นาที) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|--------------------------------------|---|
| 0                                    | 31.084  |
| 30                                   | 5.619   |
| 60                                   | 2.076   |
| 90                                   | 0.987   |
| 120                                  | 0.228   |
| 150                                  | 0.126   |
| 180                                  | 0.101   |
| 210                                  | 0.025   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่ความเป็นกรด - ค่าเท่ากับ 4.0

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|-----------------------------------|--|--|
| 1        | 0                                 | 25.085   | 23.616   |
| 2        | 20                                | 4.658  | 23.616   |
| 3        | 40                                | 1.721  | 15.744   |
| 4        | 60                                | 0.835  | 23.616   |
| 5        | 80                                | 0.228  | 15.744   |
| 6        | 100                               | 0.051  | 7.872  |
| 7        | 120                               | 0  | 0  |

ตารางที่ ง.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่ความเป็นกรด - ค่าเท่ากับ 7.0

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาที) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|-----------------------------------|--|--|
| 1        | 0                                 | 26.680   | 39.360   |
| 2        | 20                                | 4.759  | 31.488   |
| 3        | 40                                | 1.544  | 31.488   |
| 4        | 60                                | 0.785  | 15.744   |
| 5        | 80                                | 0.329  | 15.744   |
| 6        | 100                               | 0.101  | 15.744   |
| 7        | 120                               | 0  | 15.744   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี และเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่างที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10.0

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาท) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|----------------------------------|--|--|
| 1        | 0                                | 24.987   | 31.488   |
| 2        | 20                               | 3.721  | 31.488   |
| 3        | 40                               | 1.139  | 31.488   |
| 4        | 60                               | 0.506  | 31.488   |
| 5        | 80                               | 0.203  | 31.488   |
| 6        | 100                              | 0.101  | 7.872  |
| 7        | 120                              | 0  | 0  |

ตารางที่ ๓.6 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมคองโกเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมของแต่ละตัวอย่าง ที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4.0 และมีความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อม (นาท) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|----------------------------------|--|--|
| 1        | 0                                | 11.619   | 39.360   |
| 2        | 20                               | 5.468  | 31.488   |
| 3        | 40                               | 1.443  | 15.744   |
| 4        | 60                               | 0.709  | 15.744   |
| 5        | 80                               | 0.177  | 15.744   |
| 6        | 100                              | 0  | 0  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.7 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมอง โกรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีข้อมองของแต่ละตัวอย่าง ที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7.0 และมีความเข้มข้นเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการ<br>บำบัดสีข้อมอง<br>(นาที) | ค่าความเข้มข้นของ<br>สารละลายสีข้อมอง<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมี<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|--|---|---|
| 1        | 0  | 27.895  | 31.488  |
| 2        | 20   | 6.986   | 23.616  |
| 3        | 40   | 2.582   | 23.616  |
| 4        | 60   | 1.418   | 23.616  |
| 5        | 80   | 0.785   | 23.616  |
| 6        | 100  | 0.380   | 15.744  |
| 7        | 120  | 0.253   | 15.744  |
| 8        | 140  | 0   | 15.744  |

ตารางที่ ๗.8 ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมอง โกรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดสีข้อมองของแต่ละตัวอย่าง ที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 10.0 และมีความเข้มข้นเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการ<br>บำบัดสีข้อมอง<br>(นาที) | ค่าความเข้มข้นของ<br>สารละลายสีข้อมอง<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการ<br>ออกซิเจนทางเคมี<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|--|---|---|
| 1        | 0  | 23.339  | 31.488  |
| 2        | 20   | 3.291   | 31.488  |
| 3        | 40   | 1.139   | 23.616  |
| 4        | 60   | 0.430   | 23.616  |
| 5        | 80   | 0.253   | 15.744  |
| 6        | 100  | 0   | 0   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีลียมของ โกรเรค ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดซีลียมของแต่ละตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8.2 ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดซีลียม (นาที) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายซีลียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|-----------------------------------|--|--|
| 1        | 0                                 | 187.822  | 212.544  |
| 2        | 20                                | 92.266   | -  |
| 3        | 40                                | 55.689   | 181.056  |
| 4        | 60                                | 34.805   | -  |
| 5        | 80                                | 25.819   | 157.440  |
| 6        | 100                               | 18.909   | -  |
| 7        | 120                               | 15.922   | 157.440  |
| 8        | 140                               | 13.467   | -  |
| 9        | 160                               | 11.568   | 149.568  |
| 10       | 180                               | 9.923  | -  |
| 11       | 200                               | 8.379  | 133.824  |
| 12       | 220                               | 7.467  | -  |
| 13       | 240                               | 6.328  | 133.824  |
| 14       | 260                               | 5.164  | -  |
| 15       | 28                                | 4.379  | 118.080  |
| 16       | 300                               | 3.316  | -  |
| 17       | 320                               | 2.633  | 118.080  |
| 18       | 340                               | 1.974  | -  |
| 19       | 360                               | 1.418  | 110.208  |
| 20       | 380                               | 1.190  | -  |
| 21       | 400                               | 0.886  | 102.336  |
| 22       | 420                               | 0.734  | -  |
| 23       | 440                               | 0.557  | 86.592   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๙.๑ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายซีลียมของ โกรเรด ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เวลาที่ใช้ในการบำบัดซีลียมของแต่ละตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 8.22 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร (ต่อ)

| ตัวอย่าง | เวลาที่ใช้ในการบำบัดซีลียม (นาที) | ค่าความเข้มข้นของสารละลายซีลียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|----------|-----------------------------------|--|--|
| 24       | 460                               | 0.481  | -  |
| 25       | 480                               | 0.405  | 78.720   |
| 26       | 500                               | 0.203  | -  |
| 27       | 520                               | 0.177  | 78.720   |
| 28       | 540                               | 0.051  | 70.848   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ  
นิคมอุตสาหกรรม

ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

| ดัชนีคุณภาพน้ำ                                  | ค่ามาตรฐาน  | วิธีวิเคราะห์  |
|---|---|--|
| 1. ค่าความเป็นกรดและ ด่าง (pH value)            | 5.5-9.0   | pH Meter   |
| 2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) | -ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่จะ<br>ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ<br>โรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุม<br>มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล.<br><br>-น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม<br>(Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดี<br>เอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ใน<br>แหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก/ล. | -ระเหยแห้งที่<br>อุณหภูมิ 103-105°C<br>เป็นเวลา 1 ชั่วโมง  |
| 3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)                | -ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่<br>ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ<br>โรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบ<br>บำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>เห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.   | -กรองผ่านกระดาษ<br>กรองใยแก้ว (Glass<br>Fiber Filter Disc) |
| 4. อุณหภูมิ (Temperature)                       | -ไม่เกิน 40°C   | -เครื่องวัดอุณหภูมิ<br>วัดขณะทำการเก็บ<br>ตัวอย่างน้ำ      |
| 5. สีหรือกลิ่น                                  | -ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ  | -ไม่ได้กำหนด   |
| 6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H <sub>2</sub> S)        | -ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   | Titrate  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

| ดัชนีคุณภาพน้ำ  | ค่ามาตรฐาน  | วิธีวิเคราะห์   |
|---|---|---|
| 7. ไซยาไนด์<br>(Cyanide as HCN)   | -ไม่เกิน 0.2 มก./ล.   | -กลั่นและตามด้วย<br>วิธี Pyridine<br>Barbituric Acid              |
| 8. น้ำมันและไขมัน<br>(Fat, Oil and<br>Grease)                                     | -ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่<br>ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของ<br>โรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุม<br>มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน<br>15 มก./ล. | -สกัดด้วยตัวทำ<br>ละลาย แล้วแยกหา<br>น้ำหนักของน้ำมัน<br>และไขมัน |
| 9. ฟอรัมาลดีไฮด์<br>(Formaldehyde)  | -ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   | Spectrophotometry   |
| 10. สารประกอบฟีนอล<br>(Phenols)   | -ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   | -กลั่นและตามด้วย<br>วิธี 4-Aminoantipy<br>rine                    |
| 11. คลอรีนอิสระ<br>(Free Chlorine)  | -ไม่เกิน 1.0 มก./ล.   | Iodometric Method   |
| 12. สารที่ใช้ป้องกัน<br>หรือกำจัด ศัตรูพืช<br>หรือสัตว์(Pesticide)                | -ต้องตรวจ ไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด   | Gas-Chromato<br>graphy  |
| 13. ค่าบีโอดี (5 วันที่<br>อุณหภูมิ 20 °C<br>(Biochemical Oxygen<br>Demand : BOD) | -ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภท<br>ของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน<br>อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ<br>เห็นสมควร แต่ไม่เกิน<br>60 มก./ล.    | Azide Modification<br>ที่อุณหภูมิ 20°C<br>เป็นเวลา 5 วัน          |
| 14. ค่าทีเคเอ็น (TKN<br>หรือ Total Kjeldahl<br>Nitrogen)                          | -ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่<br>ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของ<br>โรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุม<br>มลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล. | Kjeldahl  |

ที่มา: <http://www.industry.go.th/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้