

จังหวัดหล่มสักกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี ซีไอดี บีไอดี และ
ค่าการดูดกลืนแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่
ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม



วฟ.
๖๒๒๗๓
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62153**
วัน,เดือน,ปี. **3 1 ก.ค. 2549**

๒.....**11610384**
๓.....

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Correlation of TOC, COD, BOD and UV_{254nm} in determination of organic compounds in
textile wastewater**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL RESOURCE
OF CHEMISTRY**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ไอซี ซีไอดี บีไอดี และค่าการคุกกลืนแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

นักศึกษา นางสาว วรพรรณ ชินฉลองพร
นางสาว วีรยา เพ็ญผล
นางสาว ศวรรยา เลหาประภานนท์

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา คร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
กรรมการ คร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	



(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ไอซี ซีไอดี บีไอดี และค่าการ ดูคลิ่นแสงยูวีของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงาน ฟอกย้อม
นักศึกษา	น.ส. วรพรรณ ชินฉลองพร น.ส. วีรยา เพ็ญผล น.ส. ศวรรรยา เลหาประภานนท์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการทดสอบปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำระหว่างค่าที่ไอซี ซีไอดี บีไอดีและค่าการดูคลิ่นแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยศึกษาจากตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุลและสารอินทรีย์ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั้งที่ยังไม่ผ่านการบำบัดและที่ผ่านการบำบัด มาทำการวิเคราะห์หาค่า TOC จะหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเผาไหม้ โดยช่วงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 0-300 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร การวิเคราะห์ค่า COD หาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ การวิเคราะห์ค่า BOD วิเคราะห์หาค่าออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการวัดการดูคลิ่นแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรซึ่งจะวัดค่าการดูคลิ่นแสงของพันธะคู่ของคาร์บอนในโมเลกุลของสารอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับค่า COD และ BOD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) ส่วนค่า TOC กับค่า UV_{254} พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ค่าการดูคลิ่นแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซีไอดี ทีไอซี น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม บีไอดี และสารประกอบอินทรีย์

Thesis Title	Correlation of TOC, COD, BOD and UV _{254nm} in determination of organic compounds in textile wastewater
Students	Miss Vorapan Chinchalongporn Miss Weraya Phianphon Miss Sawanya Laohaprapanon
Programme	Environmental Resource of Chemistry
Year	2004
Thesis advisor	Dr. Chalor Jarusutthiruk

ABSTRACT

This research studied the correlation of analytical methods for organic compounds, including TOC, COD, BOD and UV_{254nm}. The organic materials contained in known compounds and in textile wastewaters, both influent and effluent were investigated. In the study, the TOC value, in range of 0-300 mgC/ L, was determined by TOC analyzer with combustion method. The COD value was measured on the basis of oxygen requirement for oxidation reaction of organic compounds. The BOD value was analyzed using oxygen consumption by bacteria. The UV_{254nm} was shown by UV absorption at a wavelength of 254 nm. by carbon double bonds (C=C) in organic compounds. The data were plotted to investigate the correlations between TOC, COD, BOD and UV_{254nm} values of every types of samples. The analytical results of organic compounds in textile wastewater samples showed positive correlations between TOC, COD and BOD at a confidence limit of 95% ($\alpha=0.05$). However, TOC and UV_{254nm} values did not show any significant correlation.

Keywords: BOD, COD, Organic compounds, Textile wastewater, TOC, UV_{254nm}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน โดยบุคคลแรกคือ ดร.ชลอ จารุสุทธีรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ซึ่งมีวิสัยทัศน์กว้างไกล คอยให้คำแนะนำ เอาใจใส่ช่วยเหลือตลอดมา รวมถึงคณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษเล่มนี้ ซึ่งขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัทชินโงะ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดเก็บน้ำตัวอย่างจากโรงงานที่ใช้ในการวิจัยนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ คอยอำนวยความสะดวก และให้ความร่วมมือในการจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้เป็นอย่างดีเสมอมา

และขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยให้ความสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

วรพรรณ ชินทองพร
วีรยา เพ็ญผล
ศวรรยา เล้าประภานนท์
มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย	5
2.2 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)	6
2.2.1. นิยามความหมาย	6
2.2.2. ความสำคัญของค่าบีโอดี	9
2.2.3. หลักการหาค่าบีโอดี	11
2.3 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)	15
2.3.1. นิยามความหมาย	15
2.3.2. หลักการหาค่าซีโอดี	16
2.4 ค่าทีโอซี (Total Organic Carbon: TOC)	19
2.4.1. นิยามความหมาย	19
2.4.2. การหาค่าทีโอซี	20
2.5 การวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำด้วยการดูดกลืนแสงยูวี $\lambda = 254 \text{ nm}$	22
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี ซีโอดี บีโอดีและการดูดกลืนแสงยูวี $\lambda = 254 \text{ nm}$	23
2.6.1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดี	25
2.6.2. ความสัมพันธ์ระหว่างทีโอซีและซีโอดี	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV_{254nm} และค่า COD หรือ DOC	26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 ตัวอย่างสารอินทรีย์	30
3.1.1. กลุ่มสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุล ประกอบด้วย	30
3.1.2. การเตรียมตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุล	30
3.1.3. สารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมฟอกย้อม	30
3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	31
3.2.1. การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำ (Total organic carbon)	31
3.2.2. การตรวจวัดค่า BOD	32
3.2.3. การตรวจวัดค่า COD	33
3.2.4. การวิเคราะห์ค่า UV_{254nm}	34
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	35
3.3.1. ตั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง	35
3.3.2. เปิดตาราง $t_{\alpha, df(n-2)}$	36
3.4 ศึกษาผลการทดลอง	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	37
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ของตัวอย่างที่ทราบสูตร โมเลกุล	37
4.1.1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ NPOC	37
4.1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ COD	39
4.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	40
4.1.4. ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm} ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	42
4.1.5. ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	43
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ของน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม	44
4.2.1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC, NPOC ของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	45
4.2.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC, COD และ BOD	47
4.2.3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm}	48
4.2.4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD	49
4.3 การทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1. ความสัมพันธ์ของ TOC, COD, BOC และ UV_{254nm} ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล	51
4.3.2. ความสัมพันธ์ของ TOC, COD, BOC และ UV_{254nm} ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอซียม	52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะการทดลอง	54
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	60
ภาคผนวก ค	65
ภาคผนวก ง	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ค่าบีโอดีที่กำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพของน้ำในแม่น้ำสหราชอาณาจักร	10
ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบวิธีหาค่าบีโอดี ซีโอดี และทีโอดี	24
ตารางที่ 2-3 ค่า BOD, COD, TOC และอัตราส่วนต่างๆ ของน้ำเสียอุตสาหกรรมบางอย่าง	26
ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะโดยทั่วไปของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม	45
ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุล	51
ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดของ อุตสาหกรรมฟอกย้อม	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2-1 เส้นโค้งบีโอดี	7
รูปที่ 2-2 ปริมาณแร่ธาตุในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งผ่านการอบภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน 8	
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีกับเวลา	14
รูปที่ 2-4 เครื่องวิเคราะห์ทีโอซี (TOC Analyzer)	20
รูปที่ 2-5 การวิเคราะห์ค่า TOC ด้วยวิธี Combustion / NDIR	22
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ TOC-NPOC ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	38
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ TOC-COD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	40
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ TOC-BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง	41
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ TOC-UV _{254nm} ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล	43
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ COD-BOD ของสารอินทรีย์	44
รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ NPOC	46
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ TOC, COD และ BOD	47
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ TOC-UV _{254nm}	49
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ COD-BOD	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีกลุ่มสารเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เรียกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) อยู่ ซึ่งสารอินทรีย์ธรรมชาตินั้นมีทั้งที่เป็นสารฮิวมิก (Humic) และที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (Non Humic) พบว่ากว่าร้อยละ 50 ของสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon, TOC) ที่ละลายในแหล่งน้ำเป็นสารฮิวมิกที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ (มันสิน, 2544) ส่วนในน้ำเสียอาจพบสารอินทรีย์ในรูปของโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันซึ่งจะแตกต่างกันไปตามกิจกรรมที่ทำและตามแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย แต่ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือสารอินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำเสียต่างก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับแหล่งน้ำทั้งสิ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อาศัยในแหล่งน้ำจะใช้สารอินทรีย์ต่างๆ เป็นแหล่งอาหารในการดำรงชีวิต เมื่อเกิดการย่อยสลายออกซิเจนในแหล่งน้ำจะถูกใช้ไปจนอาจทำให้เกิดการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตลอดจนเกิดการล้มตายของสัตว์น้ำต่างๆ เนื่องจากการขาดออกซิเจน

จากบทความทางสิ่งแวดล้อมจำนวนมากแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสารอินทรีย์ที่มีในแหล่งน้ำ เนื่องจากจำนวนสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งหากมีการปล่อยสารปนเปื้อนที่มีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ในแหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลงจนเกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จึงถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำและน้ำเสีย สำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยทีโอซี เป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยตรง โดยทำการวัดสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจากการเผาหรือออกซิไดส์สารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แล้ววัดปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นโดยใช้ Non Dispersive Infrared Detector (NDIR) ตัววัดเตลเตอร์จะคำนวณปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นให้เป็นค่าทีโอซี ดังนั้นการวัดทีโอซี จึงนับเป็นวิธีที่สามารถตรวจวิเคราะห์ในระยะเวลาสั้น ได้ผลการทดลองที่รวดเร็วประมาณ 7 นาทีต่อตัวอย่าง มีความแม่นยำและถูกต้องสูง อีกทั้งใช้ขนาดตัวอย่างที่น้อยมาก

นอกจากการตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำด้วยค่าทีโอซี แล้ว ยังสามารถใช้ในการย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อหาค่าความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oxygen demand, BOD) ในการตรวจวัดค่าบีโอดี เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน (ประมาณ 5-7 วัน) และมีข้อผิดพลาดค่อนข้างสูง จึงมีการพัฒนาวิธีเคมีที่ใช้หาค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand, COD) ค่าซีโอดีใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์ประมาณ 3 ชั่วโมง และได้ผลที่มีความถูกต้องมากกว่าค่าบีโอดี ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้ ออกซิโดซิงเจนต์มีสองวิธี คือ วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดและรีฟลักซ์แบบปิด สำหรับการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิดนั้นเหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวอย่างน้ำ ทำให้ใช้ตัวอย่างน้ำที่น้อยและประหยัดสารเคมี อย่างไรก็ตามวิธีการวัดค่าซีโอดี อาจยังมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์, ค่าซีโอดีไม่สามารถบ่งบอกอัตราที่สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายหรือออกซิไดส์ทางชีวภาพได้สถานะตามธรรมชาติ ทำให้ไม่ทราบว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียสลายตัวตามธรรมชาติได้ยากง่ายเพียงใด เป็นต้น ทั้งค่าบีโอดี และค่าซีโอดีเป็นการบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ทางอ้อม เนื่องจากการวัดค่าความต้องการออกซิเจน ดังนั้นวิธีการวัดทีโอซี เพื่อแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำจึงเป็นวิธีการที่ให้ผลแม่นยำอีกทั้งใช้ระยะเวลาสั้น (ยุพดี วยุคณา, 2542) ส่วนการวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำด้วยการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (UV_{254nm}) นั้น ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร อาศัยการวัดความสามารถในการดูดกลืนรังสียูวีของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณพันธะคู่ของคาร์บอนในโมเลกุล

จากที่กล่าวไปข้างต้นหากมีสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำปริมาณมากจะก่อให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำเน่าเสียได้จึงมีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) โดยกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งตามพารามิเตอร์ต่างๆ อันได้แก่ ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งควรมีค่าซีโอดี ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร (<http://www.pcd.go.th>) ส่วนค่าทีโอซี นั้นยังไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดตามกฎหมาย แต่อาจใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ซีโอดี และ ทีโอซี แสดงออกมาในรูปแบบการที่มีความเฉพาะเจาะจงตามแหล่งกำเนิดน้ำเสียนั้นๆ

อย่างไรก็ตามน้ำเสียจากหลายแหล่งจะให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ที่แตกต่างกันไป ซึ่งในการวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม (ที่มักจะพบสารอินทรีย์จำพวกกลุ่มอะโรมาติกปะปนอยู่ในน้ำเสียเป็นจำนวนมากกว่าสารอินทรีย์กลุ่มอื่นๆ) ศึกษาเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ในกลุ่มที่ทราบสูตรโมเลกุลแน่นอน อันได้แก่ กลุ่มเอมีน, กลุ่มแอลกอฮอล์, กลุ่มคีโตน, กลุ่มกรดอินทรีย์, กลุ่มอะโรมาติก และน้ำตาล เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร อันจะนำไปสู่การใช้ทีโอซี ในการวิเคราะห์น้ำเสียร่วมกับการวิเคราะห์ค่าบีโอดี และซีโอดีได้ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้อาจนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาหลักการการทำงานและการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ในน้ำด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอน
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จากสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ฟอกย้อมเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ประเภทต่างๆที่ทราบสูตรโมเลกุลแน่นอน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการการทำงานและการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ในน้ำจนได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมและได้ค่าทีโอซี จากการวิเคราะห์ที่แม่นยำที่สุด
- 2) หาค่า COD จากวิธี Closed Reflux ด้วยโคโครเมตรรวมทั้งหาค่า BOD และ UV_{254nm}
- 3) ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ในตัวอย่างน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยทำการศึกษาจากตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียและหลังผ่านการบำบัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างโดยวิธี Grab Sample 2 สัปดาห์/ครั้ง
- 4) ศึกษาค่า ทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของสารเคมีที่ทราบสูตรโมเลกุลแน่นอนโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้
 - 4.1) Aliphatic Group : Acetone, Glucose, Sucrose Acetic acid, Citric acid, Oxalic acid, Methanol, Ethanol และ Iso-propanol
 - 4.2) Aromatic Group : Phenol, Remazol Brilliant Blue และ Remazol Brilliant Violet F5

ปริมาณทีโอซีที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วงระหว่าง 0-300 mgC/L ณ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งหมดโดยหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r ; Pearson Correlation) ด้วยค่า t -test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) นำความสัมพันธ์ระหว่างทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ไปประยุกต์ใช้ในงานสิ่งแวดล้อมได้
- 2) สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาค่าทีโอซี เพื่อใช้ประกอบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ปัญหาใหญ่ของน้ำเสียมักเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียทำให้ต้องมีการบำบัดน้ำเสียชีวภาพเกิดขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์มักย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีความต้องการออกซิเจน เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต นั่นคือจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ (เหมือนกับมนุษย์หรือสัตว์อื่นๆ) ความต้องการใช้ปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไปทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำธรรมชาติไม่พอเพียง สภาพอากาศจึงเกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเน่าเหม็นของแหล่งน้ำและการเสียชีวิตของสัตว์น้ำต่างๆ ที่ขาดออกซิเจน สารอินทรีย์ในน้ำจึงมีบทบาทสำคัญในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสารอินทรีย์ในน้ำและน้ำเสียมียุหลายตัว เช่น

- 1) บีโอดี (BOD)
- 2) ซีโอดี (COD)
- 3) ทีโอดี (TOC)
- 4) ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (UV_{254nm})
- 5) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS)

ในส่วนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM, Natural Organic Matter) จะหมายถึง กลุ่มสารเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่พบในน้ำธรรมชาติ บทบาทของ NOM ในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นประเด็นที่วิศวกรสิ่งแวดล้อมต้องให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจาก NOM มีผลต่อกลไกการบำบัดน้ำหลายกระบวนการ เช่น ออกซิเดชัน โคลแอกกูเลชัน การดูดติดผิว ฯลฯ และมีผลต่อการฆ่าเชื้อโรค นอกจากนี้ NOM ยังส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางชีวภาพของน้ำ ภาพรวมที่มองเห็นจากผลกระทบของ NOM คือ ทำให้น้ำประปามีคุณภาพต่ำ เช่น เกิดสารอินทรีย์ที่เป็นสารก่อมะเร็งหรือ DBP (Disinfection By Product) เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเส้นท่อประปา เกิดสี กลิ่น และรสในน้ำประปา เป็นต้น

NOM สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ สารฮิวมิกและสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก (Non Humic) ส่วนแรกมีลักษณะเป็นสารไฮโดรโฟบิกมากกว่าและประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟัลลิก ส่วนที่ 2 มีลักษณะเป็นสารไฮโดรฟิลิกมากกว่าและประกอบด้วยสารอินทรีย์อื่นๆ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้ง ฯลฯ ในน้ำธรรมชาติประมาณ 50% ของ TOC ที่ละลายน้ำ (หรือ DOC) เป็นสารชีวโมเลกุล ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ สารชีวโมเลกุลสามารถพบได้ทั่วไปในทุกสถานที่ เช่น พื้นดิน น้ำหรือดินก้นบ่อ ป่าพรุก็เป็นแหล่งกำเนิดสารชีวโมเลกุลแหล่งใหญ่ สารชีวโมเลกุลแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1) ฮิวมิน เป็นสารชีวโมเลกุลที่ละลายน้ำตลอดช่วงค่าพีเอช 0-14
- 2) กรดฮิวมิก เป็นสารชีวโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำที่พีเอชน้อยกว่า 2
- 3) กรดฟัลวิก เป็นสารชีวโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ตลอดช่วงค่าพีเอช 0-14 (มันสิน , 2544)

2.2 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

2.2.1 นิยามความหมาย

ค่าบีโอดี คือ ค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำเสีย (waste) ที่หาได้โดยกระบวนการทางชีววิทยา ใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนกระบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลลัพธ์สุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอาหารเหล่านี้จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร ในกรณีเช่นนี้ออกซิเจนที่ถูกใช้ไปคือค่าดีโอ (DO) ซึ่งหากมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ค่าดีโอจะลดลงถึงศูนย์ ซึ่งจะทำให้น้ำเน่าเสีย เนื่องจากอยู่ในสภาพไร้อากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์จะไม่ได้คาร์บอนไดออกไซด์ ในเตลด และซัลเฟต แต่จะได้แก๊สมีเทน แก๊สแอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แทน

เนื่องจากแบคทีเรียต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดนั้นๆ จนถึงสภาวะเสถียร ซึ่งหากวัดปริมาณออกซิเจนได้ย่อมสามารถจัดการไม่ให้เกิดสภาพน้ำเน่าเสียเมื่อทิ้งสารอินทรีย์ชนิดนั้นลงในแหล่งน้ำ

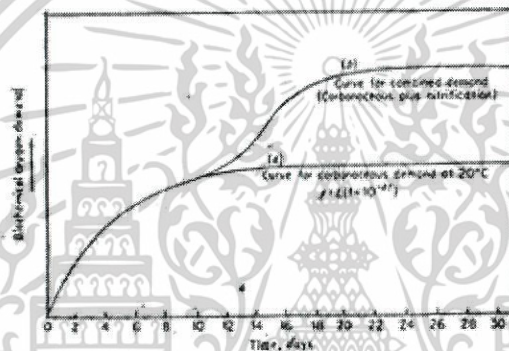
ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการในการออกซิไดซ์ สารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีอากาศอย่างพอเพียงคือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีหรือเรียกโดยย่อว่า บีโอดี (BOD) ดังนั้นการวัดบีโอดีจึงเป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Organic Material) โดยอ้อมนั่นเอง

โดยปกติปริมาณบีโอดีเฉลี่ยในบ่อปลาอยู่ในช่วงประมาณ 0.2-0.7 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นในรอบ 12 ชั่วโมงตอนกลางคืน

ปริมาณออกซิเจนละลายจะถูกใช้ไปประมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าหากบ่อปลานั้นมีปริมาณออกซิเจนเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนในตอนบ่ายเท่ากับ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะเหลือเพียง 1 มิลลิกรัมต่อลิตรในตอนเช้า จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับปลาน้ำจืดของไทยบางชนิดพบว่าระดับต่ำสุดของปริมาณออกซิเจนที่ทำให้ปลาตายอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 0.1-2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ปลาน้ำจืดมีความต้องการออกซิเจนต่ำ เนื่องจากมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ ซึ่งจะใช้ออกซิเจนจากอากาศบนผิวน้ำได้โดยตรง (ยุพดี, 2542)

การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ซึ่งอาจแสดงได้ด้วยเส้นโค้งบีโอดี ดังรูป



รูปที่ 2-1 เส้นโค้งบีโอดี

- 1) เส้นโค้งสำหรับค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (CBOD)
- 2) เส้นโค้งรวมค่าซีบีโอดีและปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

(กรรณิการ์ สิริสิงห์ 2538 : 197)

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ



ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างที่ลดลงเนื่องจากถูกแบคทีเรียใช้ไปคือค่าบีโอดีที่หาได้

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียมไนโตรเจน เปลี่ยนเป็นไนเตรต



โดยใช้แบคทีเรียพวกออโตโทรฟิก (Autotrophic Bacteria) ชื่อไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำโสโครก (Raw Sewage) ในสภาวะปกติทั่วไปการย่อยสลายสารอินทรีย์จนกระทั่งได้สารเสถียรที่ไม่สลายตัว อาจใช้เวลานาน อย่างน้อย 20 วัน

เอกสารนี้โดยประมาณ โดยเฉพาะการแบ่งตัวของแบคทีเรียมีน้อยมากที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่าบีโอดี ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ใน ช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีจึงน้อยมาก หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารแอมโมเนีย ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรตในตัวอย่าง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ดังรูป



รูปที่ 2-2 แสดงปริมาณแร่ธาตุในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งผ่านการอบภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (กรรมกิจ สิริสิงห 2538: 198)

ค่าบีโอดีจะบอกถึงกำลังความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ ในเทอมของออกซิเจน การหาค่าบีโอดียังมีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำต่างๆ เพราะค่าบีโอดีจะบอกถึงองศาของความสกปรกของแหล่งน้ำนั้นได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ในการออกแบบในการกำจัดน้ำเสียด้วย

การหาค่าบีโอดีเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติที่สุด เพื่อที่จะให้การวิเคราะห์เป็นปริมาณวิเคราะห์ จึงต้องทำให้ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายคงที่ นั่นคือ ค่าบีโอดี มาตรฐานจะใช้เวลาที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว เพราะที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับของน้ำทั่วไป และไนตริฟิเคชันแบคทีเรีย เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้นั้นมักจะพบอยู่ทั่วไปไปตามธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าสารอินทรีย์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกย่อยได้เกือบหมดในเวลา 20 วัน หรือประมาณร้อยละ 59-99 แต่ในการวิเคราะห์นั้น ระยะเวลาทดลองนานเกินไปอาจไม่ทันกับสถานการณ์ ดังนั้นจึงกำหนดเวลา 5 วัน ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายได้และในระยะเวลา 5 วันนี้ค่าที่ได้จะเป็นค่าที่ไม่ถูกรบกวนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ค่าบีโอดีทั้งหมด (Ultimate BOD หรือ UBOD) จากการวัดค่าออกซิเจนในรูปบีโอดีในระยะเวลา 5 วัน (BOD หรือ BOD₅) ถ้าวัดค่าออกซิเจนภายหลังการบ่มเป็นเวลา 60-90 วัน จะเป็นค่าบีโอดีทั้งหมด (UBOD) ค่าที่วัดความต้องการออกซิเจนจากปริมาณทั้งหมดของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และหรือความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจน ดังนั้นค่าบีโอดีในระยะเวลา 5 วัน จึงเป็นค่าของส่วนหนึ่งของบีโอดีทั้งหมด ส่วนจะเป็นร้อยละเท่าใดของบีโอดีทั้งหมดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของแบคทีเรียที่มีอยู่และธรรมชาติของสารอินทรีย์ด้วย ในกรณีของน้ำทิ้งบ้านเรือนพบว่าค่าบีโอดีในระยะเวลา 5 วัน จะมีค่าประมาณร้อยละ 70-80 ของบีโอดีทั้งหมด

ค่าซีบีโอดี (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand : CBOD) หมายถึง ค่าความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยแบคทีเรียพวกซาโปรไฟติก (Saprophytic Bacteria) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในเวลา 20 วัน (ซึ่งไม่รวมปริมาณการใช้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียพวกออโตโทรฟิก) ถ้าหากมีการปล่อยให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนานเกินกว่า 5 วันไปแล้ว ค่าที่ได้อาจผิดพลาดเนื่องจากออกซิเจนจะถูกใช้โดยพวกแบคทีเรียชนิดไนตริฟายอิง ทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงกว่าปกติ ดังนั้นในการหาค่าซีบีโอดีจึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียก่อน หรือใส่สารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียไนตริฟายอิง

การนำน้ำเสียมามันบำบัดก่อนอาจใช้วิธีการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ (Pasturization) หรือการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (Chlorination) หรือด้วยการเติมกรด (Acid Treatment) หรือการใส่สารยับยั้ง เช่น เมทิลีนบลู (Methylene Blue) ไทโอยูเรีย (Thiourea) เป็นต้น สารเหล่านี้จะถูกเติมลงไปเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียพวกไนตริฟายอิง

2.2.2 ความสำคัญของค่าบีโอดี

ค่าบีโอดีเป็นลักษณะสำคัญที่สุดที่ใช้เป็นมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำลำคลอง น้ำในลำน้ำ หากค่าบีโอดีสูงเกินกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำจะเน่าเสียเพราะแบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในน้ำหมด นอกจากนี้ค่าบีโอดีมีความสำคัญที่สุดในการกำจัดน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่มีสารอินทรีย์ และการควบคุมปัญหาภาวะมลพิษทางน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายที่
ต้องใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาจะขึ้นอยู่กับค่าบีโอดีที่จะเข้าสู่ระบบบำบัด เพื่อให้การ
ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำได้โดยปลอดภัย ไม่ทำให้ค่าดีไอของแหล่งน้ำต่ำลงจนเป็นอันตราย
ต่อสภาพแวดล้อม จึงมีการกำหนดค่าบีโอดีของน้ำทิ้งไว้เป็นมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น บีโอดี
ของน้ำทิ้งกำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรมมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

ในประเทศต่างๆ มีการกำหนดค่าบีโอดีของแหล่งน้ำเป็นมาตรฐานไว้แตกต่างกัน เช่น
คณะกรรมการแหล่งน้ำของออนตาริโอ (Ontario Water Resources Commission)
กำหนดค่าบีโอดีสูงสุดที่ยอมรับได้ของแหล่งน้ำธรรมชาติจะต้องไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
สำหรับใน สหราชอาณาจักรได้กำหนดมาตรฐานความสะอาดของน้ำไว้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ค่าบีโอดีที่กำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพของน้ำในแม่น้ำสหราชอาณาจักร

คุณภาพน้ำ	BOD ₅ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สะอาดมาก	1
สะอาด	2
สะอาดปานกลาง	3
สะอาดน้อย	4
สะอาดน้อยมาก	5

(ศุภมาส พลณิชศักดิ์พัฒนา 2539: 29)

นอกจากนี้ค่าบีโอดียังเป็นตัวกำหนดประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน ดังตัวอย่างการ
กำหนดแหล่งน้ำผิวดินในประเทศสหราชอาณาจักร ดังนี้ แหล่งน้ำประเภทที่ 1A มีค่าบีโอดี
มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นประเภทที่มีมลสารน้อยที่สุด ถ้าค่าบีโอดีมากกว่า 5 มิลลิกรัม
ต่อลิตรเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 1B ค่าบีโอดี 9 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ซึ่งมี
มลสารเพิ่มขึ้น แต่สามารถกลับสู่สภาวะที่เหมาะสมได้ภายหลังที่มีการบำบัดน้ำเสียแล้ว และ
ถ้าค่าบีโอดีถึง 17 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ
ต่ำสิ่งมีชีวิต เช่น ปลา อาศัยอยู่ได้เพียงเล็กน้อย

จากข้อมูลข้างต้นพอสรุปเป็นความสำคัญของค่าบีโอดีได้ดังนี้

- 1) เพื่อหาค่าถึงความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ ในเทอมของออกซิเจนที่ต้องการ เพื่อ
ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ใช้หาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ เพื่อนำไปหาอัตราการออกซิโดซ์ที่เกิดหรือเพื่อหาอัตราที่บีโอดีถูกใช้ไป
- 3) ใช้ในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำ ว่าควรจะทำจัดการอินทรีย์ที่จะทิ้งลงน้ำแค่ไหน เพื่อที่จะให้มีระดับออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่ตามต้องการ
- 4) ใช้วัดความสามารถของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกโดยธรรมชาติ
- 5) ใช้ตรวจคุณภาพของน้ำทิ้งที่ปล่อยทิ้งลงน้ำ
- 6) ใช้หาประสิทธิภาพของโรงกำจัดน้ำโสโครก
- 7) ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.3 หลักการหาค่าบีโอดี

การหาค่าบีโอดี เป็นวิธีการเก่าแก่ที่ใช้กันมานานหลายศตวรรษแล้ว ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับบทบาททางชีววิทยาของแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำนั้น การหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ค่าบีโอดีจะบอกถึงคุณลักษณะของน้ำเสียนั้นว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มากน้อยแค่ไหน ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มากค่าบีโอดีก็จะมาก และในทำนองเดียวกันถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อยค่าบีโอดีก็จะน้อย วิธีการโดยย่อของการวิเคราะห์หาปริมาณบีโอดีมีดังนี้ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์ทางเคมีว่ามีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณเท่าใด แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ทำการวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำในวันเริ่มต้นลบด้วยค่าออกซิเจนที่เหลืออยู่ในวันที่ห้า ผลที่ได้รับคือค่าบีโอดีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อควรคำนึงในการหาค่าบีโอดี ในการหาค่าบีโอดีของน้ำทิ้งควรคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่จะทำให้ค่าบีโอดีที่ได้มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ ดังต่อไปนี้

- 1) ใช้อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ในการอบเป็นเวลา 5 วัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองจะต้องคงที่ตลอดเวลา 5 วัน จากการทดลองพบว่าถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มหรือลดค่าบีโอดีประมาณร้อยละ 4.7 ตามลำดับ
- 2) ไม่ควรให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศและแสงสว่าง จะต้องป้องกันการเติมออกซิเจนจากภายนอก และการหนีหายของออกซิเจนภายในขวดทดลองจึงจำเป็นต้องใช้ขวดพิเศษที่เรียกว่าขวดบีโอดี เป็นขวดที่มีจุกชนิดพิเศษ (Ground Glass Stopper) ปากขวดจะบานออกเล็กน้อย เมื่อปิดจุกแล้วจะมีน้ำหล่ออยู่ จุกขวดจะต้องปิดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นและใช้น้ำกลั่นหล่อบนจุดขวดเสมอ เก็บไว้ในตู้อบที่มีดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียว

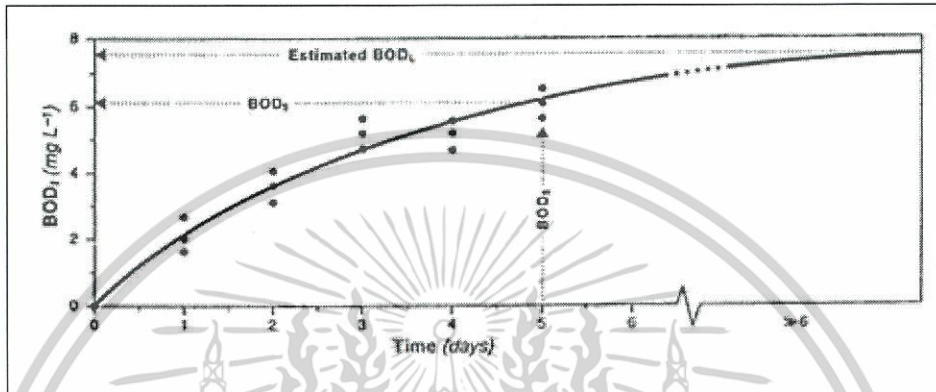
- 3) ความเข้มข้นอิมตัวของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีได้ไม่เกิน 9 มิลลิกรัมต่อลิตร หมายความว่า ค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำในขวดจะต้องน้อยกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในการใช้งานจริง เช่น ในน้ำทิ้ง มักมีค่าบีโอดีสูงมาก ดังนั้นในการหาค่าบีโอดีจึงต้องนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น เพื่อลดค่าบีโอดีให้ต่ำกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการเจือจางตัวอย่างน้ำทิ้งจึงต้องรู้ค่าคร่าวๆ ของบีโอดีก่อนการประมาณค่าบีโอดีนี้อาจอาศัยประสบการณ์หรืออาศัยค่าซีโอดี (COD) คือ อัตราส่วนซีโอดีต่อบีโอดี (COD:BOD) ของน้ำทิ้งชนิดหนึ่งอาจมีค่าได้ตั้งแต่ 1.5:1 ถึง 10:1 ดังตาราง ข-1 แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำสกปรกหรือน้ำทิ้งที่ควรใช้สำหรับหาค่าบีโอดี (ภาคผนวก ข) โดยการทำให้เจือจางขนาดร้อยละต่างๆ กัน เนื่องจากการหาค่าบีโอดีต้องอาศัยค่าบีโอดีที่ประมาณได้ ในขั้นแรกค่าบีโอดีที่หาได้จากตัวอย่างน้ำที่เจือจางแล้วในขวดอาจมากกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือน้อยจนเกินไป ในกรณีแรกปริมาณออกซิเจนละลายในขวดเมื่อครบ 5 วัน จะมีค่าเป็นศูนย์ สำหรับกรณีหลังปริมาณออกซิเจนละลายเมื่อครบ 5 วัน อาจมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่หาได้ในวันแรก จนค่าที่แตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งอาจเป็นค่าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความบกพร่องในการวิเคราะห์ ดังนั้นการหาค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจึงควรทำอย่างน้อย 3 ชุด แต่ละชุดใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งเจือจางต่างๆ กัน
- 4) ค่าบีโอดีจะเชื่อถือได้ต่อเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายหลังจากครบ 5 วัน เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลต่างปริมาณออกซิเจนละลายหรือค่าบีโอดีของน้ำตัวอย่างที่เจือจางต้องเกินกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 5) การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี เป็นวิธีการทางชีววิทยา ดังนั้นสิ่งแวดล้อมในขวดบีโอดีจะต้องเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหาบีโอดี ดังนั้นน้ำที่จะใช้สำหรับเจือจางน้ำตัวอย่างต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ
 - 5.1) ต้องปราศจากสารซึ่งไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ทองแดง คลอรีน
 - 5.2) ต้องมีค่าพีเอชไม่ต่างจาก 7 มากนัก และค่าพีเอชต้องไม่เปลี่ยนแปลงง่าย โดยมีสารเคมีที่เป็นบัฟเฟอร์ละลายปนอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.3) ต้องมีแร่ธาตุต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในปริมาณที่พอเหมาะ ธาตุเหล่านี้ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ต้องอิมตัวด้วยออกซิเจน
- 6) เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับใช้เจือจางไม่มีสารหรือสิ่งที่จะไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทุกครั้งที่ทำจึงควรมีตัวอย่างที่มาตรฐาน เช่น ใช้กลูโคสหรือกรดกลูตามิกทำควบคู่ไปกับตัวอย่างน้ำด้วย
- 7) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีจุลินทรีย์อยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย ในการหาค่าบีโอดีจึงจำเป็นต้องเติมจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งลงไป (Seed) เพื่อให้มีแบคทีเรียเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ตัวอย่างน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เช่น น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงเป็นกรดหรือด่างแรง จะต้องเติมเชื้อลงในน้ำที่ใช้เจือจาง น้ำเชื้อมาตรฐานเตรียมได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนที่ปล่อยให้ตกตะกอนและใส่ไว้ในตู้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง จึงดูดเอาน้ำส่วนบนมาใช้ โดยทั่วไปแล้วใช้น้ำเชื้อมาตรฐาน 1-2 มิลลิลิตรค่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1 ลิตร น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดที่มีสารอินทรีย์ที่เชื้อแบคทีเรียจากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนไม่สามารถย่อยสลายได้ ในกรณีเช่นนี้จะต้องเตรียมน้ำเชื้อจากดิน ทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำทิ้งชนิดนั้นเสียก่อน หรือเก็บจากแหล่งรับน้ำใต้ดินที่ทิ้งน้ำเสียนั้น (โดยปกตินิยมเก็บที่ระยะ 2-3 กิโลเมตร) การทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำเสียที่ต้องการจะหาค่าบีโอดีลงไปทุกวันจนกระทั่งได้เชื้อที่เคยชินกับน้ำเสียนั้นเจริญขึ้นจนเป็นที่พอใจ น้ำเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้น้ำเจือจางมีค่าบีโอดีจำนวนหนึ่ง ค่าบีโอดีของน้ำเจือจางจะต้องนำไปหักออกจากค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง น้ำเจือจางที่ดีควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 8) น้ำทิ้งบางชนิดอาจมีจุลินทรีย์พวกไนตริฟายอิง แบคทีเรีย ซึ่งจะใช้ออกซิเจนไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอมโมเนีย ดังนั้นจะทำให้ค่าบีโอดีสูงเกินไป จึงต้องป้องกันปฏิกิริยาของแบคทีเรียพวกนี้โดยใช้เมทิลินบลู หรืออัลลิลไทโอยูเรีย หรือคลอรีน

สมการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาบีโอดี การย่อยสลายของสารอินทรีย์เนื่องจากแบคทีเรียในน้ำภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนนี้จัดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First Order Reaction) กล่าวคือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาเป็นปฏิภาคกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลานั้นๆ เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อยๆ ทำนองเดียวกับออกซิเจนในน้ำที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้เขาไปเซปเรชันด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง (เพราะต้องใช้ออกซิเจนไปย่อยสลายสารอินทรีย์) และค่าบีโอดีก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสารถูกย่อยสลายหมด ค่าบีโอดีที่ได้จะเป็นค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำนั้น (ยูบีโอดี) เขียนแทนด้วยอักษรแอล (BOD_L) ดังรูป



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดีกับเวลา (Peper, Gerba and Brusseau 1991, 198)

แสดงให้เห็นว่าค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำใดก็เปรียบได้กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำที่ถูกออกซิไดซ์ อาจเขียนสมการของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้ดังนี้

$$\frac{-dC}{dt} = k'C$$

เมื่อ C เป็นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเมื่อเริ่มต้นเวลา t

k' เป็นค่าคงที่

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอาจใช้ L ซึ่งเป็นค่ายูบีโอดี หรือค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำแทน C และ $\frac{-dL}{dt}$ จะแทนอัตราเร็วซึ่งสารอินทรีย์ถูกทำลาย เนื่องจากออกซิเจนใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ ดังนั้น จึงอาจบอกค่า L ในรูปสารอินทรีย์ในน้ำหรือในรูปของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปก็ได้ สมการเป็นดังนี้

$$\frac{-dL}{dt} = k'L \quad (2.4)$$

$$-\int \frac{1}{L} dL = \int k' dt \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln \frac{Lt}{L} = -k't \quad (2.6)$$

$$\frac{Lt}{L} = e^{-k't} = 10^{-k't} \quad (2.7)$$

เมื่อ $k = \frac{k'}{2.303}$ จากสมการที่ 2.4 จะทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์หรือบีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำที่เวลา t ถ้าต้องการจะทราบค่าบีโอดีที่ถูกใช้ไปก็หาได้โดยดัดแปลงสมการที่ 2.4 ดังนี้

$$1 - \frac{Lt}{L} = 1 - e^{-k't}$$

$$L - Lt = L(1 - e^{-k't})$$

ถ้า $y = L - Lt =$ บีโอดีที่ถูกใช้ไปในเวลา t

$$y = L(1 - e^{-k't})$$

$$y = L(1 - 10^{-k't})$$

ในสมการ 2.4 นี้ $y =$ ค่าบีโอดีที่เวลา t หรือ คือปริมาณออกซิเจนเป็นมิลลิกรัม ต่อลิตรที่ถูกใช้ไปในเวลา t

$k =$ ค่าคงที่ซึ่งแปรผันไปตามอุณหภูมิของน้ำ ชนิดของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ อาจหาได้จากการทดลองมีค่าประมาณ 0.05 – 0.3 ต่อวัน ปกติ 0.1 ต่อวัน

$L =$ บีโอดีทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

2.3.1 นิยามความหมาย

กำลังความสกปรกของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอาจบอกได้จากค่าซีโอดี ซึ่งเป็นค่าความต้องการออกซิเจนทั้งหมด เพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (ยกเว้นสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน บางตัว เช่น เบนซีน โทลูอิน และไพรีดีน จะไม่ถูกออกซิไดซ์ด้วยวิธีนี้) สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง (Strong Chemical Oxidant) ในสารละลายที่เป็นกรด ดังนั้นค่าซีโอดีจึงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดในน้ำเสียทั้งที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ (Biodegradable Organic Compound) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบได้ดำเนินการคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

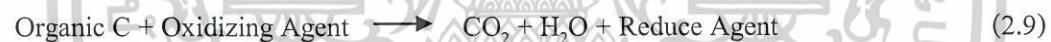
ที่เบคที่เรียยย่อยสลายไม่ได้ (Non – Biodegradable Organic Compound) โดยปกติค่าซีโอดีจะสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอ

2.3.2 หลักการหาค่าซีโอดี

หลักการทั่วไปโดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรดพวกอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และพวกสารอินทรีย์ไนโตรเจนก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต ดังสมการ



สมการข้างต้นนี้เกิดขึ้นทั้งในปฏิกิริยาของบีโอดีและซีโอดี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการหาค่าซีโอดีคล้ายกับบีโอดีคือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำต่างกันที่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้ตัวเติมออกซิเจนดังสมการ



จากปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้ สารเติมออกซิเจนที่ใช้ในการหาค่าซีโอดีของน้ำเสียมีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เซริกซัลเฟต โพแทสเซียมไฮโอเคต และโพแทสเซียมไดโครเมต แต่ละตัวมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป จะกล่าวถึงการหาค่าซีโอดี 2 วิธีเท่านั้นคือ

การหาค่าซีโอดีโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต วิธีนี้เป็นวิธีเก่าปัจจุบันไม่นิยมใช้ เนื่องจากการออกซิเดชันที่เกิดจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะแปรผันไปตามชนิดของสารประกอบ นอกจากนี้องค์ของการออกซิเดชันยังแปรผันไปตามกำลังของรีเอเจนต์ที่ใช้ ประการสุดท้ายคือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสลายตัวได้ง่าย ค่าที่หาได้จะต่ำกว่าค่าที่เป็นจริงมากและน้อยกว่าค่าบีโอดี ซึ่งแสดงว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่สามารถที่จะทำการออกซิเดชันดำเนินไปจนถึงจุดสิ้นสุดใดๆ หลักของวิธีนี้คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ทราบความเข้มข้น ในสภาวะที่เป็นกรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไทเทรตโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมออกซาลेट ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นดังนี้



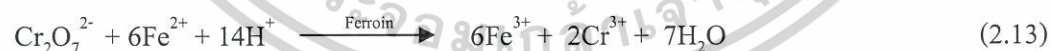
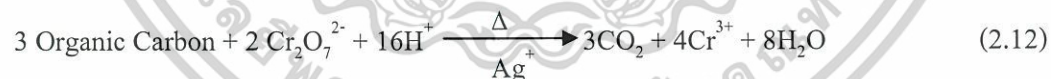
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากปริมาณของออกซาลेटที่ใช้คำนวณกลับไปหาปริมาณเปอร์แมงกาเนตที่ใช้เพื่อออกซิไดซ์ สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำซึ่งสมมูลกับปริมาณของออกซิเจนได้

การหาค่าซีไอดีโดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต วิธีนี้นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน นอกจากนี้โพแทสเซียมไดโครเมตยังราคาถูกและสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้มากชนิดจนเกือบสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การวัดปริมาณของไดโครเมตที่เกินพอทำได้ง่ายและได้ผลแน่นอน ข้อดีของโพแทสเซียมไดโครเมตอีกข้อหนึ่งคือ ถ้าใช้โพแทสเซียมไดโครเมตชนิดเกรดสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical Grade) เามาอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส ก่อนเตรียมรีเอเจนต์จะได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (หมายความว่าต้องชั่งให้ได้น้ำหนักละเอียดตามต้องการ รวมทั้งเติมน้ำจนได้ปริมาตรเท่าที่กำหนดให้) หลักการของวิธีนี้คือ โพแทสเซียมไดโครเมตจะไปออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนในสถานะที่เป็นกรดอย่างแรง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงใช้การรีฟลักซ์ (Reflux) เพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารที่ระเหยได้ซึ่งมีอยู่เดิมในตัวอย่างหรือเกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาไทเทรตโพแทสเซียมไดโครเมตที่เกินพอด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ใช้ Ag^+ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โพแทสเซียมไดโครเมต สามารถออกซิไดซ์พวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ (มีจำนวนคาร์บอนน้อย) อย่างไรก็ตามพวกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และไฟลิติน จะไม่ถูกออกซิไดซ์ภายใต้สภาวะนี้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



ได้จุดยุติเป็นสีออกแดงน้ำตาล ซึ่งเห็นได้ชัดว่าสีเขียวของเกลือโครมิกที่เกิดขึ้น จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับสารอินทรีย์คาร์บอนได้

ข้อดี-ข้อเสียของซีไอดี

1) ข้อดี

- การหาค่าซีไอดีใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชั่วโมงก็จะทราบผลรวดเร็วกว่าการหาค่าบีไอดีซึ่งใช้เวลาถึง 5 วัน

- มีตัวแปรผันน้อยเมื่อเทียบกับการหาค่าบีโอดีและค่าซีไอที่มีความแน่นอน น่าเชื่อถือกว่า
- สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการหาค่าบีโอดีเหมาะสำหรับงานประจำ
- สารมีพิษไม่ขัดขวางการหาค่าซีไอ ดังนั้นจึงเป็นวิธีเดียวที่ใช้หาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งมีสารมีพิษ ค่าซีไอที่สามารถใช้ประมาณค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย

2) ข้อเสีย

- ค่าซีไอไม่สามารถที่จะใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ทางชีวะหรือไม่ถูกออกซิไดซ์ทางชีวะออกจากกันได้ โดยปกติแล้วค่าซีไอจะสูงกว่าค่าบีโอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยต้องอาศัยความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Assimilability) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคสและลิกนินจะถูกออกซิไดซ์ทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส น้ำเสียจากโรงงานกระดาษมีสารลิกนินอยู่สูงมาก มีค่าซีไอสูงกว่าบีโอดี
- ค่าซีไอไม่สามารถให้ข้อคิดใดๆ เกี่ยวกับอัตราที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายหรือออกซิไดซ์ทางชีวะภายใต้สภาวะตามธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะการสลายสารอินทรีย์โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงไม่เป็นไปตามธรรมชาติเหมือนการทำลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในการหาค่าบีโอดี จึงทำให้ไม่อาจทราบได้ว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียสลายตัวตามธรรมชาติได้ยากง่ายเพียงใด

การวิเคราะห์หาค่าซีไอจะสามารถออกซิไดซ์ ส่วนใหญ่ของสารประกอบคาร์บอนที่ละลายในตัวอย่างน้ำรวมทั้งพวกซัลไฟด์ ซัลไฟด์ สารประกอบของไนโตรเจน และสารประกอบเฟอรัส และเช่นเดียวกับค่าบีโอดี คือ จะไม่สามารถย่อยสลายพวกสารอินทรีย์ทุกชนิดในตัวอย่างได้สมบูรณ์

โดยทั่วไปสำหรับน้ำทิ้งชุมชนจะมีค่าบีโอดีประมาณร้อยละ 75 ของค่าซีไอ ในบางกรณีอาจมีค่าประมาณร้อยละ 60 ของค่าซีไอ แต่สัดส่วนของซีไอต่อบีโอดี (COD/ BOD) ไม่ใช่ค่าตายตัวขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำเสียแต่ละชนิดเป็นสำคัญ เช่น น้ำเสียอย่างหนึ่งอาจมีค่าซีไอต่อบีโอดีมากกว่าน้ำเสียอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งแสดงว่าน้ำเสียอย่างแรกมีสารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่น้อยกว่าอย่างหลังเมื่อเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ทั้งหมด นอกจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการสลายตัวของน้ำเสียค่าซีโอดีต่อบีโอดีจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีปริมาณลดลง

2.4 ค่าที่ไอซี (Total Organic Carbon: TOC)

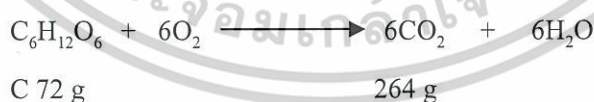
การหาค่าที่ไอซีอาศัยกระบวนการเผาไหม้ซึ่งสารประกอบคาร์บอนทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยแสงอินฟราเรด จากค่าที่วัดได้นี้ลบด้วยค่าที่วัดได้จากสารอนินทรีย์คาร์บอนก็จะได้ค่าที่ไอซีที่เกิดจากสารอินทรีย์คาร์บอนจริงๆ

เทคนิคของที่ไอซีจะสามารถวัดหาค่าสารอินทรีย์คาร์บอนได้ทั้งที่ละลายในน้ำและที่เป็นตะกอนในน้ำ แต่ค่าที่ไอซีจะไม่รวมพวกที่ไม่ใช่สารประกอบคาร์บอน เช่น ซัลเฟอร์และสารประกอบไนโตรเจน เทคนิคนี้ใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น แต่ต้องลงทุนซื้อเครื่องมือราคาแพง

2.4.1 นิยามความหมาย

ค่าที่ไอซี คือ ปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย หาได้โดยการพ่นตัวอย่างน้ำเสียปริมาณหนึ่งเข้าไปในเตาอุณหภูมิสูง ให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนจะกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยใช้แสงอินฟราเรด คาร์บอนในสารอินทรีย์บางชนิดจะไม่สลายตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังนั้นค่าที่ไอซีที่วัดได้จะต่ำกว่าปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่จริง (Theoretical Organic Carbon: ThOC หรือ ThOC) เล็กน้อย การหาค่าที่ไอซินิยมใช้กันมากขึ้น เพราะสามารถหาได้รวดเร็วและค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าบีโอดี

ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่า ThOC ของ $C_6H_{12}O_6$ สามารถแสดงได้ดังนี้



$$\begin{aligned} \text{ThOC} &= \text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน} = \frac{264}{44} \frac{\text{g}}{(\text{g/mol})} = 6 \text{ mol} \\ &= 6 \text{ mol} \times 12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 72 \text{ g} \end{aligned}$$

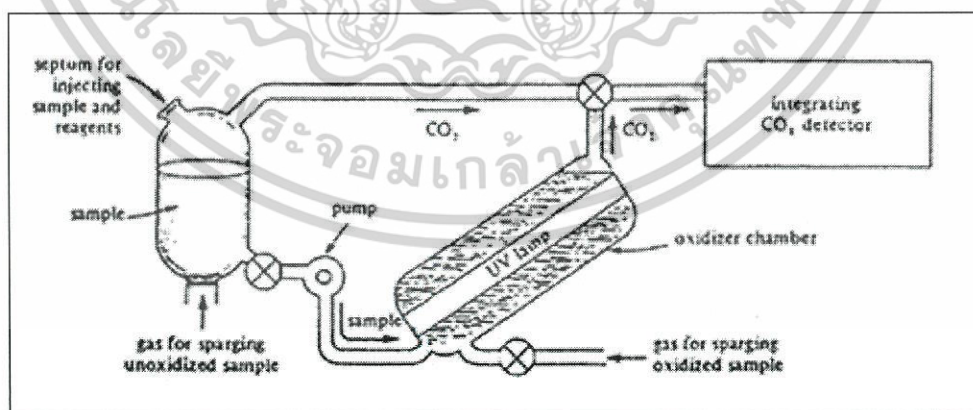
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การหาค่าที่ไอซี

ที่ไอซีเป็นวิธีหนึ่งของการหาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้เครื่องมือทันสมัยและดีกว่าวิธีหาค่าซีไอดี วิธีหาค่าที่ไอซีนี้ใช้ออกซิไดซ์เชิงแคโทดที่ถูกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต นิยมเลือกโพแทสเซียมเปอร์โรซีไดซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) เติมลงในน้ำตัวอย่าง กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ก็นิยมเติมลงในน้ำตัวอย่างเช่นกัน ซึ่งจะสปาร์กกับอากาศหรือแก๊สไนโตรเจนเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ในสารละลาย หลังจากสปาร์กแล้วน้ำตัวอย่างจะถูกปั๊มเข้าสู่ออกซิไดซ์เซอร์แซมเบอร์ (Oxidizer Chamber) ซึ่งบรรจุหลอดยูวีที่เปล่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ 184.9 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้จะให้อนุมูลอิสระ (Free Radical) เช่น อนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical:HO) ซึ่งสามารถทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved Organic Compound) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว ดังสมการต่อไปนี้



หลังจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกสปาร์กจากระบบและตรวจวัดได้จากดีเทกเตอร์ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี หรือโดยการวัดการดูดกลืนแสงในน้ำที่ผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ต แล้วตามด้วยการตรวจวัดการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำ ดังรูป



รูปที่ 2-4 เครื่องวิเคราะห์ที่ไอซี (TOC Analyzer)

การหาค่าที่ไอซีโดยวิธีสันดาปด้วยอินฟราเรด วิธีนี้ใช้ได้กับน้ำตัวอย่างหลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

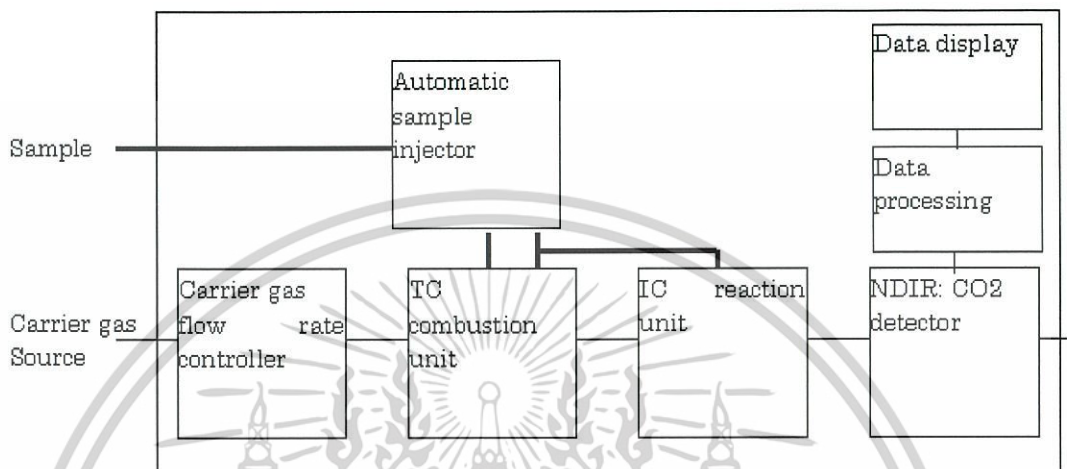
(Syringes) ที่มีรูขนาดเล็ก วิธีนี้เหมาะกับน้ำตัวอย่างที่มีค่าที่ไอซีเท่ากับหรือมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($\text{TOC} \geq 1 \text{ mg/L}$) เตรียมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าจำเป็นให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นใหม่ๆ เสียก่อนแล้วฉีดจำนวนเล็กน้อย (ขนาดไมโครลิตร) เข้าไปในแชมเบอร์ซึ่งบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โคบอลต์ออกไซด์ น้ำจะระเหยส่วนคาร์บอนในสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์จะถูกส่งผ่านไปกับไอของแก๊สพา (Carrier-Gas Streams) และวัดปริมาณได้จากเครื่องวิเคราะห์อินฟราเรด (Infrared Analyzer)

การหาค่าที่ไอซีโดยวิธีเปอร์ซัลเฟต – อัลตราไวโอเลตออกซิเดชัน วิธีนี้คาร์บอนในสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารเปอร์ซัลเฟตในภาวะที่มีแสงอัลตราไวโอเลต วัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยตรงจากเครื่องวิเคราะห์อินฟราเรดหรืออาจใช้รีดิวส์เป็นแก๊สมีเทน และวัดปริมาณได้จากเครื่องเปลวไอออนไนซ์-ชันดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector) หรือใช้วิธีไทเทรตกับสารเคมี

การหาค่าที่ไอซีโดยวิธี Combustion/NDIR วิธีนี้สารอินทรีย์ทั้งหมดจะถูกวัดโดยการฉีดสารเข้าไป 10-100 μl ตัวอย่างจะถูกเผาด้วยความร้อน น้ำที่อยู่ในตัวอย่างจะระเหยออกไป ส่วนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งหมดจะเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกพาโดยไอของแก๊สพา (Carrier-Gas Streams) ไปยัง NDIR-Detector และตรงส่วนนี้ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะถูกวัดโดยความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างจะนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน ในส่วนของสารอนินทรีย์ทั้งหมดจะถูกวัดโดยการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในส่วนของแชมเบอร์ โดยจะเติมกรดฟอสฟอริกเพื่อให้สารอนินทรีย์ทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และจะถูกตรวจวัดในส่วนของ NDIR-Detector ต่อไป ซึ่งสามารถหาค่าที่ไอซีได้จากผลต่างของสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างทั้งหมด

วิธีการวัดตัวอย่างโดยตรงอีกวิธีหนึ่ง สามารถทำได้โดยกำจัดสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างก่อนที่จะฉีดสารเข้าไปเผา และค่าที่ไอซีก็จะถูกวัดโดยตรง วิธี Combustion/NDIR จะสามารถนำไปใช้กับตัวอย่างได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น การวัดน้ำผิวดิน น้ำดื่ม และน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่รวดเร็วและสามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ได้หลายประเภท รวมทั้งอนุภาคแขวนลอยของสารอินทรีย์ แต่วิธีวิเคราะห์นี้ก็ยังมีข้อเสียคือ ไม่มีความว่องไวใน

การวิเคราะห์ปริมาตรอินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ ผลิดยา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามที่
ไอซีสามารถวัดสารอินทรีย์ในตัวอย่างได้ต่ำถึง 0.01 mg/L



รูปที่ 2-5 การวิเคราะห์ค่า TOC ด้วยวิธี Combustion / NDIR

2.5 การวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำด้วยการดูดกลืนแสงยูวี (UV_{254nm})

สารประกอบอินทรีย์หลายชนิดในน้ำและน้ำเสีย เช่น ลิกนิน (Lignin), แทนนิน (Tannin), ฟีนอล, สารชีวมีกและสารประกอบอะโรมาติก เป็นต้น สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ไม่สามารถถูกดูดกลืนโดยสารประกอบจำพวกแอลกอฮอล์, อีเทอร์, กรดอะซิติก, แซคคาไรด์ เป็นต้น และได้มีการวิจัยพบว่าความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างการดูดกลืนแสงยูวีกับสารอินทรีย์คาร์บอน, ที และ THM (Trihalomethane) รวมทั้ง DBP (Disinfection Byproduct) ต่างๆ นักเคมีจึงใช้หลักการดูดกลืนรังสียูวี (UV Absorption) เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการวัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น น้ำจืด น้ำทะเล และน้ำเสีย

ในวงการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ค่าการดูดกลืนแสงยูวีในตัวอย่างน้ำอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทางเช่น การเฝ้าระวังหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแหล่งน้ำหรือของน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย หรือใช้ในการวัดประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของกระบวนการบำบัดน้ำต่างๆ เช่น โภแอกกูเลชัน การดูดซับผิวคาร์บอนและอื่นๆ นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างค่าการดูดกลืนแสงยูวีและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนชนิดต่างๆ (เรียกว่า Specific Absorption) อาจใช้ในการจำแนกสารอินทรีย์ธรรมชาติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศสหรัฐอเมริกา US/ EPA ได้ออกข้อบังคับต่อโรงกรองน้ำมากกว่า 200 แห่ง ให้มีการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงยูวีรวบรวมข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวนี้กับค่า DBP ในน้ำ เนื่องจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวีสามารถกระทำได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์ DBP หรือสารอินทรีย์อื่นๆ หากสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ การประเมินค่าความเข้มข้นของ DBP และสารอินทรีย์คาร์บอนก็สามารถทำได้ง่ายจากค่าการดูดกลืนแสงยูวี ที่วัดได้

สารอินทรีย์จำนวนมากสามารถดูดกลืนแสงยูวีได้มากน้อยตามความเข้มข้นของสารนั้น อนุภาคแขวนลอยอาจรบกวนการดูดกลืนแสงยูวี จึงต้องกรองตัวอย่างน้ำที่ชุ่นก่อนวัดค่า UV Absorption ในกรณีของตัวอย่างน้ำค้ำหรือน้ำธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องมีการปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างก่อนวัดค่ายูวี แต่ตัวอย่างน้ำเสียอาจต้องมีการปรับพีเอชก่อนการกรอง โดยช่วงความยาวแสงยูวีที่ใช้วัดมักกำหนดไว้ที่ระดับ 253.7 นาโนเมตร และนิยมปดทศนิยมให้เป็นเลขจำนวนเต็มคือ 254 ซึ่งถือเป็นค่ามาตรฐาน การวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวีจึงอาจเขียนแทนได้ด้วย UV_{254nm} หนึ่งต้องตระหนักว่า ค่าความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรเป็นค่าตามนิยม ผู้วิเคราะห์ที่มีความเชี่ยวชาญอาจเลือกค่าความยาวคลื่นอื่นๆ ที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดแทนได้ เพื่อให้ค่าการดูดกลืนแสงยูวีสูงที่สุด แต่ต้องมีการรายงานความยาวคลื่นที่มีใช้ 254 นาโนเมตรเสมอ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงยูวีและซีโอดี หรือดีไอซี ก็เหมือนความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดี และซีโอดี อัตราส่วนดังกล่าวแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ หมายความว่า ค่าซีโอดีเท่ากันของน้ำต่างแหล่งอาจมีค่าการดูดกลืนแสงยูวีแตกต่างกันได้ นั่นคือแหล่งน้ำแต่ละแห่งอาจจะมีอัตราส่วน UV: COD เท่ากันหรือแตกต่างกันก็ได้ แต่ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ได้อาจไม่นำมาเปรียบเทียบเพื่อบอกถึงระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ได้อย่างเด็ดขาด นอกจากนี้ ปฏิกริยาออกซิเดชันอาจทำให้ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรลดลงได้โดยไม่ต้องมีการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี ซีโอดี บีโอดีและการดูดกลืนแสงยูวี ($\lambda = 254 \text{ nm}$)

จากหลักการ โดยย่อของวิธีการหาค่าบีโอดี ซีโอดี และทีโอซี จะเห็นว่าทั้งสามวิธีมีหลักการที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นจึงไม่สามารถจะหาความสัมพันธ์โดยทั่วไประหว่างวิธีทั้ง 3 ได้ แต่ในทางปฏิบัตินั้น ในบางกรณีอาจหาความสัมพันธ์ได้ เช่น ในงานประจำที่วิเคราะห์ตัวอย่างเดิมซ้ำๆ

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบวิธีหาค่าบีโอดี ซีโอดี และทีโอซี

ข้อมูลเปรียบเทียบ	บีโอดี	ซีโอดี	ทีโอซี
เวลาที่ใช้วิเคราะห์	5 – 7 วัน	2 – 3 ชั่วโมง	5 – 10 นาที
ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์	ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด
ความเที่ยงตรง	น้อยที่สุด	ปานกลางถึงดี	$\pm 2\%$ (เฉพาะคาร์บอน)
ผลกระทบต่อสารที่เป็นของแข็งในตัวอย่าง	น้อย	ไม่แน่นอน	มาก
ความเป็นพิษในสารตัวอย่าง	รวดเร็วมาก	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ
อิทธิพลของตัวลดออกซิเจน (เช่น ซัลไฟด์ เฟอรัส สารประกอบในโตรเจน)	รวมด้วย	รวมด้วย	ไม่รวม

(ผกา สุขเกษม, เอกสารอัดสำเนา)

สรุปได้ว่าน้ำเสียส่วนมากจะมีคุณสมบัติที่คงที่ และความสัมพันธ์ระหว่างบีโอดี ซีโอดี และทีโอซี โดยปกติจะคงที่ด้วย เมื่อหาความสัมพันธ์เหล่านี้ได้แล้ว การหาค่าทีโอซีจะเป็นวิธีที่เร็วที่สุดและสมควรใช้เพื่อการติดตามตรวจสอบ

ถึงแม้จะมีการต่อต้านการหาค่าบีโอดีอย่างมากมาย แต่ค่านี้ได้ใช้เป็นดัชนีสำคัญในการประเมินสภาวะความสกปรกของน้ำเสียมาเป็นเวลาหลายปี และเช่นเดียวกับที่ระบบบำบัดน้ำเสียได้ถูกออกแบบก่อสร้าง และทำงาน โดยใช้ข้อมูลของค่าบีโอดีเป็นพื้นฐานในการกำหนดความต้องการและประสิทธิภาพของระบบ

การวิเคราะห์ค่าบีโอดีและค่าซีโอดี แม้จะทำอย่างกว้างขวางแต่วิธีทั้งสองก็มีข้อจำกัดมาก การหาค่าทีโอซีจะได้ค่าที่มีประโยชน์มากกว่าในการวัดค่าสารอินทรีย์ในตัวอย่าง เนื่องจากเป็นการวัดหาปริมาณคาร์บอนในตัวอย่าง การหาค่าทีโอซีจะตัดความแปรปรวนการใช้ออกซิเจนที่เกิดกับวิธีการอื่นๆ ได้และเป็นวิธีที่สามารถทำซ้ำได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างไว้ได้ อย่างไรก็ตามการหาค่าทีโอซียังมีข้อจำกัดอีกมาก เช่น ความไม่คุ้นเคยต่อค่าทีโอซี ความจำเป็นที่จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทีโอซีที่มีคาร์บอนเป็นฐานกับข้อมูลอื่นๆ ที่มีออกซิเจนเป็นฐาน ถ้ามีการนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการบ่งบอกคุณลักษณะของน้ำเสีย หรือใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำและความจำเป็นต้องลงทุนมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและบีไอดี

โดยปกติแล้วค่าซีไอดีจะสูงกว่าค่าบีไอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Assimilability) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคส และกลีซินจะถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ ผลก็คือทำให้ค่าซีไอดีสูงกว่าบีไอดี และจะสูงกว่ามากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ทางชีวะอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส น้ำเสียจากโรงงานกระดาษมีสารกลีซินอยู่สูง จึงมีค่าซีไอดีสูงกว่าบีไอดี แต่ในบางกรณีถ้าน้ำนั้นมีพวกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนและไพรีดีน ซึ่งไม่ถูกออกซิไดซ์ทางเคมี ค่าซีไอดีจะน้อยกว่าค่าบีไอดี

สำหรับงานประจำจากข้อมูลของซีไอดีอาจจะใช้บอกค่าบีไอดีอย่างคร่าวๆได้ โดยการพล็อตกราฟระหว่างค่าซีไอดีและบีไอดี เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองของน้ำเสียแต่ละชนิดซึ่งจากเส้นโค้งนี้สามารถจะใช้ประมาณค่าบีไอดีได้ ค่าซีไอดีใช้มากในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบ เพื่อพิจารณาและควบคุมเกี่ยวกับระบบท่อน้ำเสีย เนื่องจากผลที่ได้ใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการหา จึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับบีไอดีจะบอกถึงสถานะที่เป็นพิษหรือการมีสารอินทรีย์ที่ต้านต่อการออกซิไดซ์ทางชีวะได้

การหาค่าซีไอดีจะได้ผลภายในเวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง ไม่ต้องรอถึง 5 วัน เหมือนการหาค่าบีไอดี ดังนั้นการหาค่าซีไอดีจึงเหมาะในการควบคุมระบบกำจัดน้ำทิ้งเมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นจะสามารถแก้ไขได้ทันที

2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างทีไอซีและซีไอดี

สารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วน COD/ TOC แตกต่างกัน (เช่นเดียวกับอัตราส่วน BOD/ COD) สารที่ไม่ย่อยสลายด้วยโคโครเมตจะมีอัตราส่วนเป็นศูนย์ ในอีกด้านหนึ่งมีเทน (CH_4) จะมีอัตราส่วน COD/TOC สูงสุด คือ 5.33 (มันซิน, เอกสารอัดสำเนา) ความสัมพันธ์ระหว่างทีไอซีและซีไอดีแสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 2-3 ค่า BOD, COD, TOC และอัตราส่วนต่างๆ ของน้ำเสียอุตสาหกรรมบางอย่าง

(มันลิน: 2544)

น้ำเสีย	BOD mgO ₂ /L	COD mgO ₂ /L	TOC mgC/L	BOD/TOC	COD/TOC	BOD/COD
เคมีภัณฑ์	-	4,260	640	-	6.65	-
เคมีภัณฑ์	-	2,410	370	-	6.6	-
เคมีภัณฑ์	-	2,690	420	-	6.4	-
เคมีภัณฑ์	-	576	122	-	4.72	-
เคมีภัณฑ์	24,000	41,300	9,500	2.53	4.35	0.58
เคมีภัณฑ์	-	580	160	-	3.62	-
ปิโตรเคมี	-	3,340	900	-	3.32	-
เคมีภัณฑ์	850	1,900	580	1.47	3.28	0.45
เคมีภัณฑ์	700	1,400	450	1.55	3.12	0.50
เคมีภัณฑ์	8,000	17,500	5,800	1.38	3.02	0.46
เคมีภัณฑ์	60,700	78,000	26,000	2.34	3.00	0.78
เคมีภัณฑ์	62,000	143,000	48,140	1.28	2.96	0.43
เคมีภัณฑ์	9,700	165,000	5,500	1.76	2.72	0.65
ไนลอน	-	23,400	8,800	-	2.70	-
ปิโตรเคมี	-	-	-	-	2.70	-
ไนลอน	-	112,600	44,000	-	2.50	-
โอเลฟิน	-	321	133	-	2.40	-
บิวตาดีน	-	359	156	-	2.30	-
เคมีภัณฑ์	-	350,000	160,000	-	2.19	-
ยางเทียม	-	192	110	-	1.75	-

2.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV_{254nm} และค่า COD หรือ DOC

ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (UV_{254nm})

และค่าซีโอดี หรือดีไอซี ก็เหมือนกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดี และค่าซีโอดี อัตราส่วน

ดังกล่าวแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ หมายความว่าซีโอดี เท่ากันของแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำต่างแห่งแต่อาจจะมี ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (UV_{254nm}) แตกต่างกันได้ นั่นคือ แหล่งน้ำแต่ละแห่งอาจมีอัตราส่วน UV: COD เท่ากันหรือแตกต่างกันก็ได้ แต่ค่าการดูดกลืนแสงยูวี ที่ได้ไม่อาจนำมาเปรียบเทียบเพื่อบอกถึงระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ได้อย่างเด็ดขาด นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจทำให้ค่า UV_{254nm} ลดลงได้โดยไม่มีมีการกำจัดสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) Zhu et.al (2002)

การบำบัด 11 - Naphthalene sulfonic acids (NSAs) ในสารละลายโดยวิธีการโอโซน เน้นที่ $31^{\circ}C$ ซึ่งจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของซีไอดี ทีไอซี และบีไอดี ในการทดสอบ โดยให้อัตราความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ $5.56 \text{ mg min}^{-1} \text{ L}^{-1}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังการทำโอโซน เน้นพบว่าค่าซีไอดี และทีไอซีจะถูกกำจัดออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะเห็นได้ว่า สารประกอบ 2-amino-1-NSA, 1-hydroxy-7-amino-5-NSA, 6-hydroxy-1-NSA, 6-amino-1,4-naphthalene disulfonic acid และ 1-hydroxy-6-amino-3-NSA จะถูกกำจัดซีไอดีได้มากกว่า 40 % อย่างไรก็ตามการกำจัดทีไอซีจะมีความแตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับ บีไอดี และซีไอดี คือสามารถย่อยสลาย NSAs ได้ดีที่ความเข้มข้นของโอโซนเฉลี่ย 3 mg/L เมื่อความเข้มข้นของปริมาณทีไอซีเริ่มต้น (TOC_0) มีค่าเท่ากับ 100 mg/L การทำโอโซนเนชั่นและการบำบัดทางชีวภาพจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับสารประกอบเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลังจากการทำโอโซนเนชั่นค่าทีไอซีจะลดลงถึง 20 % ซึ่งสามารถทำนายได้ว่า NSAs จะเกิดย่อยสลายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ NSAs จะสามารถย่อยสลายได้ดีที่ความเข้มข้นทีไอซีเริ่มต้นเท่ากับ 100 mg/L และปริมาณการใช้โอโซนจะอยู่ระหว่าง $2 - 4 \text{ mgO}_3/\text{mgTOC}_0$ โดยจะทำการแปรผันค่าซีไอดี และทีไอซี $3 \text{ mgO}_3/\text{mg TOC}_0$ จะสามารถใช้ทำนายสมบัติทางชีวภาพของสารประกอบเนฟทาไลน์ดังกล่าวได้

2) Fadini et.al (2004)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand, COD) จัดว่าเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ในส่วนของการทดลองนี้จะเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำค่า DOC (Dissolved Organic Carbon) ที่ได้จากการวัดน้ำตัวอย่างหลายประเภทมาใช้แทนค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOD และ COD ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากกว่า DOC โดยจะศึกษาความสัมพันธ์ของบ่อ บำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้เป็นไปตามสมการดังนี้ $COD = 1.08DOC + 79$ และ $BOD = 0.82DOC + 12$, บ่อบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์ดังนี้ $COD = -0.29DOC + 109$ และ $BOD = 0.14DOC + 26$, บ่อที่ไม่ผ่านการบำบัดมีความสัมพันธ์ดังนี้ $COD = 4.18DOC - 2$ และ $BOD = 0.46DOC + 5$, บ่อเติมอากาศมีความสัมพันธ์ดังนี้ $COD = 3.57DOC + 6$ และ $BOD = 0.27DOC + 3$ และบ่อดกตะกอนซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้เป็นไปตามสมการดังนี้ $COD = -1.34DOC + 138$ และ $BOD = 0.73DOC + 16.5$ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการประเมินค่า COD ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของน้ำเสียที่ปล่อยจะมีสารอินทรีย์ต่ำแต่มีสปีชีส์ของสารอินทรีย์มาก ซึ่งโคโครเมตไอออนที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดิจจัดเป็นสารออกซิโคซ์ที่รุนแรง ดังนั้นโคโครเมตไอออนจะไปออกซิโคซ์สารจำพวกอนินทรีย์ ทำให้ค่าที่ได้มีค่าสูงเมื่อเทียบกับ DOC เพราะต้องใช้ปริมาณออกซิเจนสูงในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์

3) Kirk S. Westphal (2004)

ทีโอซี (TOC) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่ม โดยจะใช้เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาคลอรีเนชัน (Chlorination) และระดับของ DBP (Disinfection byproduct) ที่มีอยู่ในน้ำดื่ม แต่ทีโอซี ก็มีข้อเสียคือ มีวิธีการวัดที่ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นการวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จึงเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายและเป็นตัวแทนในการบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ดี หากต้องมีการทำการวิเคราะห์ทุกวันหรือทุกสัปดาห์ วิธีการวิเคราะห์ด้วยค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จัดว่าเป็นวิธีที่มีราคาไม่แพงและมีความสำคัญต่อกระบวนการฆ่าเชื้อโรค แต่อย่างไรก็ตามหากใช้ระยะในการวิเคราะห์นานจะมีผลทำให้ค่าทีโอซีลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยสมมูลมวลสาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ใช้สมมูลมวลสารอย่างง่ายสำหรับวัดค่าทีโอซี ที่มีอยู่ในน้ำดื่ม (2) พิสูจน์ให้เห็นว่าค่าทีโอซี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กัน จากการศึกษาพบว่าค่าโทโอซี และ ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จะมีส่วนช่วยในการวางแผนและดำเนินการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้คุณภาพของน้ำดิบได้

4) พีรวัฒน์และ วาปี (2543)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดี (COD) และ ThOD สำหรับสารลอริลซัลเฟต (Lauryl sulfate) และผงซักฟอกที่ความเข้มข้น 20 – 100 mg/L และ 80 – 400 mg/L ตามลำดับ โดยค่า COD และ ThOD ที่ทำการทดลองสารลอริลซัลเฟตอยู่ในช่วง 95.68 – 180 mg/L และ 39.37 – 196.88 mg/L ตามลำดับ ส่วนค่า COD และ ThOD ของผงซักฟอกอยู่ในช่วง 18.47 – 103.04 mg/L และ 46.45 – 232.26 mg/L ตามลำดับ สำหรับสารลอริลซัลเฟตเมื่อนำค่า COD ที่ได้และปริมาณสารลอริลซัลเฟตมาหาค่าความสัมพันธ์ จะได้สมการ $y = 1.104x + 73.6$ และสมการความสัมพันธ์ค่า COD กับปริมาณสารลอริลซัลเฟตคือ $y = 1.9689x - 0.007$ ขณะที่สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ ThOD สำหรับผงซักฟอกจะได้ดังสมการ $y = 0.2473x - 5.712$ และ $y = 0.5807x - 0.004$ ตามลำดับ และอัตราส่วนของ COD ต่อ ThOD สำหรับสารลอริลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นสูงกว่าหรือต่ำกว่า 85 mg/L จึงมีค่าไม่ใกล้เคียงกันเนื่องจากการหาค่า COD ที่ความเข้มข้นสูงๆ หรือต่ำๆ มีโอกาสที่จะเกิดการผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นการแก้ไขปัญหาควรใช้จุดตัดของกราฟที่ความเข้มข้นลอริลซัลเฟตมีค่า 85 mg/L โดยนำค่าความเข้มข้นที่ใกล้เคียงค่านี้อมาหาค่า COD ต่อ ThOD ความสัมพันธ์ที่แน่นอน โดยทำการพล็อตกราฟกับความถี่ (โดยทำการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง) แล้วนำไปทำตารางแจกแจงความถี่ปกติ (Normal distribution) จะได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูป COD ต่อ ThOD ที่มีความถี่สูงสุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของ TOC, BOD, COD และ UV_{254nm} ในตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลและตัวอย่างน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยใช้ อุปกรณ์และสารเคมี พร้อมทั้งวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

3.1 ตัวอย่างสารอินทรีย์

3.1.1 กลุ่มสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล ประกอบด้วย

- Aliphatic Group : Acetone, Glucose, Sucrose, Acetic acid , Citric acid, Oxalic acid, Methanol, Ethanol และ Iso-propanol
- Aromatic Group : Phenol, Remazol Brilliant Blue และ Remazol Brilliant Violet F5

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล

- ใช้สารเกรควิเคราะห์ในการเตรียม Stock ของตัวอย่างสารอินทรีย์ (สารในข้อ 3.1.1) โดยเตรียมให้สารละลายมีความเข้มข้นเป็น 1000 mg C/L
- เจือจาง Stock ของตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นในช่วง 0-300 mg C/L ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า TOC, BOD, COD และ UV_{254nm} ที่มีอยู่ในตัวอย่างสารอินทรีย์

3.1.3 สารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากน้ำทิ้งของโรงงานชินไฉฮัว จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจรับจ้างฟอกย้อมผ้าทั้งในและต่างประเทศ โดยมุ่งเน้นการฟอกย้อมยีนส์เป็นหลัก ดังนั้นน้ำทิ้งของโรงงานส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เป็นสีย้อมกลุ่ม indigo, direct dyes และ reactive dyes นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์พวกแป้งที่เกิดจากกระบวนการลอกแป้งจากผ้า ด้วยเหตุนี้โรงงานจึงได้มีการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมด้วยระบบ Activated

lagoon ซึ่งมีจำนวน 5 บ่อด้วยกัน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธี Grab Sample เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้ณาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองต้องทำการกรองก่อนการวิเคราะห์ทุกครั้ง

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.1 การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำ (Total Organic Carbon)

ในการวิเคราะห์ตรวจวัดค่าที่ไอซีให้ดำเนินการทดลองตามวิธีมาตรฐาน 5310B (APHA; 1995) โดยจะศึกษาปริมาณของที่ไอซี จากวิธีการ Differential method และ Additional method ดังนี้

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

- เครื่อง TOC analyzer รุ่น TOC-VCPH พร้อมชุด Autosampler จากบริษัท Shimadzu
- กระจกกรองแบบเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 1 ไมครอน และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
- สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 1000 mg C/L
- สารละลายมาตรฐานสำหรับตรวจวัดปริมาณ IC เข้มข้น 1000 mg C/L
- สารละลายกรดฟอสฟอริก 25%
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 N

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) การทำ Calibration curve ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TC)
 - นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 1000 mg C/L ใส่ในหลอดแก้วสำหรับการวิเคราะห์ TC จำนวน 3 หลอด
 - เลือกช่วงการเจือจาง และดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่องตามความเหมาะสม และบันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
 - สำหรับการทำให้ Calibration curve ของสารอินทรีย์ (IC) ให้ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกันนี้แต่เปลี่ยนมาใช้ สารละลายมาตรฐาน ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) เข้มข้น 1000 mg C/L แทน สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
 - สำหรับการทำให้ Calibration curve ของ NPOC ให้ทำการทดลองด้วยวิธีเดียวกับ TC แต่ต้องมีการเติมกรดเพิ่มลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ให้นำตัวอย่างสารอินทรีย์และน้ำตัวอย่างจากโรงงานมาทำการวิเคราะห์โดยเลือก Mode (TC, IC, NPOC) ในการวิเคราะห์ ดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่อง
- ในการทดลองทุกครั้งต้องทำแบลนด์ของน้ำกลั่นด้วย

3.2.2 การตรวจวัดค่าบีโอดี (BOD)

สำหรับการตรวจวัดค่าบีโอดี BOD จะดำเนินการวิจัยตามวิธีมาตรฐาน 5210B (APHA; 1995) ดังนี้

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

- ขวด BOD ขนาด 300 ml พร้อมจุกขวด
- เครื่อง DO membrane electrode
- อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
- ตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส และไม่มีแสงเข้ามา
- เครื่องเติมอากาศ, สายยาง, กระจายกรองขนาด 1 ไมครอน
- เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
- สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
- สารละลายไอรอนคลอไรด์
- สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ขั้นตอนการทดลอง

- การเตรียมน้ำเจือจาง : โดยนำน้ำกลั่นมาเติมอากาศและควบคุมให้น้ำมีอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ค่า $DO \geq 9$ mg/L)
- นำน้ำเจือจางมาใส่ในกระบอกตวงจำนวน 500 ml จากนั้นนำตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุลและเลือกช่วงเจือจางแล้ว (กรณีที่มีสารอินทรีย์มีปริมาณมาก ให้เลือกช่วงเจือจาง 3 ช่วง เพื่อนำมาทดลอง) มาเติมลงในน้ำเจือจาง และปรับปริมาตรด้วยน้ำเจือจางให้ครบ 1 ลิตร
- ให้นำน้ำที่ได้มาเติมลงในขวดบีโอดีด้วยวิธีกลักน้ำ จำนวน 3 ขวด (สำหรับแต่ละความเข้มข้น) โดย ขวดแรก นำมาวัดค่า DO_0 ส่วนอีก 2 ขวดให้นำไปบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำมาวัดค่า DO_5

- ในการทดลองทุกครั้งจะต้องทำการวัดค่า DO_0 และ DO_5 ของน้ำเจือจางเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง โดยทั่วไปค่าผลต่างของ DO_0 และ DO_5 ต้องไม่เกิน 0.1 mg/L
- ถ้าต้องมีการเติมหัวเชื้อ ให้บีบเปิดหัวเชื้อมา 2 ml พร้อมทั้งเติม ฟอสเฟต บัฟเฟอร์, แมกนีเซียมซัลเฟต, แคลเซียมคลอไรด์, และไอรอนคลอไรด์ ลงไปในน้ำเจือจางอย่างละ 1 ml ก่อนทำการปรับปริมาตรน้ำให้ครบ 1 ลิตร
- สำหรับน้ำตัวอย่างจากโรงงานก็ทำเช่นเดียวกับข้างต้นแต่เปลี่ยนจากตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลเป็นน้ำตัวอย่างจากโรงงาน

หมายเหตุ - ค่าผลต่างของ DO_0 และ DO_5 ของน้ำตัวอย่างต้องไม่ต่ำกว่า 2 mg/L

- มีการวิเคราะห์หาบีโอดี (BOD) ของสารละลายกลูโคสและกลูตามิกควบคู่ไปด้วย เพื่อประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

3.2.3 การตรวจวัดค่าซีโอดี (COD)

ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี ของงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Close reflux method ซึ่งสามารถดำเนินงานวิจัยตามวิธีมาตรฐาน 5220 C (APHA; 1995) ดังนี้

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

- หลอดย่อยสลายขนาด 16 X 100 ml
- ตัวให้ความร้อน (Heating Block)
- เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง และกระดวยกรองที่มีรูพรุน ขนาด 1 ไมครอน
- สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียม ไดโครเมต 0.1 N
- สารละลายเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.05 N
- สารละลายกรดซัลฟูริกสำหรับย่อยสลาย
- สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ขั้นตอนการทดลอง

- บีบเปิดตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลของแต่ละความเข้มข้นที่ผ่านการกรองด้วยกระดวยกรองขนาด 1 ไมครอน : ปริมาตรของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียมไดโครเมต : สารละลายกรดซัลฟูริก มา 2.5 : 1.5 : 3.5 ตามลำดับ
ใส่ในหลอดย่อยสลายน

- ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปให้ความร้อนด้วย Heating block ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- เมื่อรีฟลักซ์เสร็จแล้วให้นำมาไทเทรตกับสารละลาย FAS 0.05 N โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ (จุดยุติเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง)
- ทำแบลนด์ โดยบีบเปิด น้ำกลั่น : ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต : สารละลายกรดซัลฟูริก มา 2.5 : 1.5 : 3.5 ตามลำดับใส่ในหลอดย่อยสลายน
- สำหรับน้ำตัวอย่างจากโรงงาน ให้ดำเนินการทดลองด้วยวิธีเดียวกัน แต่เปลี่ยนมาใช้ตัวอย่างจากโรงงานแทนตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล

หมายเหตุ มีการวิเคราะห์หาซีโอดี (COD) ของสารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต (KHP) ควบคู่ไปด้วย เพื่อประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 245 nm

การวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV_{254nm}) สามารถดำเนินการทดลองได้ตามวิธีมาตรฐาน 5910 B (APHA; 1995) ดังนี้

อุปกรณ์การทดลอง

- เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (254 nm) พร้อมคิวเวตต์เซลล์ชนิดควอทซ์ ขนาด 1x1 cm.
- กระจกกรองที่มีรูพรุน ขนาด 1 ไมครอน และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

- กรองตัวอย่างสารอินทรีย์แต่ละความเข้มข้นด้วยกระจกกรองที่มีรูพรุน ขนาด 1 ไมครอน
- ปรับเทียบเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ให้มีความยาวคลื่น 254 nm ตามคู่มือการใช้
- นำสารอินทรีย์ที่ได้มาทำการวัด โดยใช้คิวเวตต์เซลล์ชนิดควอทซ์พร้อมบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำเช่นเดียวกันกับวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนมาใช้น้ำกลั่น และน้ำตัวอย่างจากโรงงานแทนการใช้ตัวอย่างสารอินทรีย์

หมายเหตุ มีการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV_{254nm}) ของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ควบคู่ไปด้วย เพื่อประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ไอซี บีไอดี ซีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรในน้ำตัวอย่างจากโรงงานจะทำการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r ; Pearson Correlation) ด้วยค่า t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ตั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง

ในการทดสอบสมมติฐานของสมการเชิงเส้นในที่นี้จะทำการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการทดสอบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญก็แสดงว่าตัวแปรทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กันจริง

$$H_0: \rho = 0 \quad (\text{ข้อมูลทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน})$$

$$H_1: \rho \neq 0 \quad (\text{ข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กัน})$$

และใช้สถิติที่ทดสอบคือ

$$t = \frac{r_{XY} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2_{XY}}}$$

เมื่อ r_{XY} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร

n = จำนวนตัวอย่าง

ν = ชั้นความเป็นอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เปิดตาราง $t_{\alpha,df(n-2)}$

ค่า t ที่คำนวณได้จะนำไปพิจารณากับค่า t ที่ได้จากการเปิดตาราง สมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 95% และมีชั้นความเป็นอิสระ $df = n - 2$ โดยหากค่า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า t ที่เปิดจากตารางแสดงว่าตัวแปรทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กันจริง

3.4 ศึกษาผลการทดลอง

- พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ไอซี บีไอดี ซีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ของตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลและน้ำเสียจากโรงงาน พร้อมทั้งหาสมการแสดงความสัมพันธ์
- ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของค่าที่ไอซี บีไอดี ซีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของน้ำเสียจากโรงงานทั้งก่อนและหลังบำบัดโดยหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r ; Pearson Correlation) ด้วยค่า t -test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

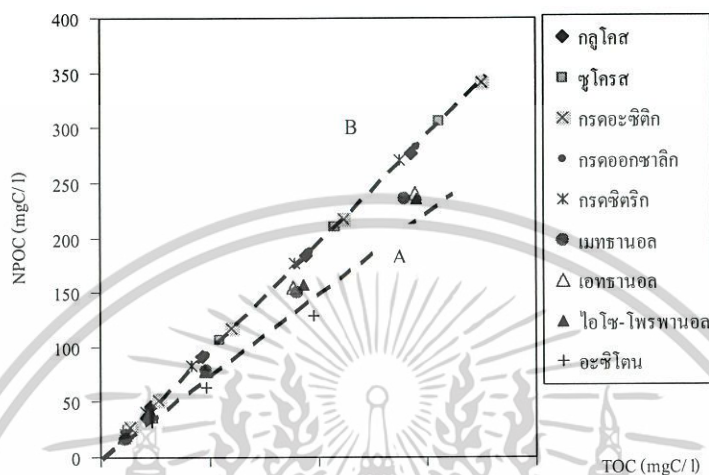
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ของตัวอย่างที่ทราบสูตรโมเลกุล

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ NPOC

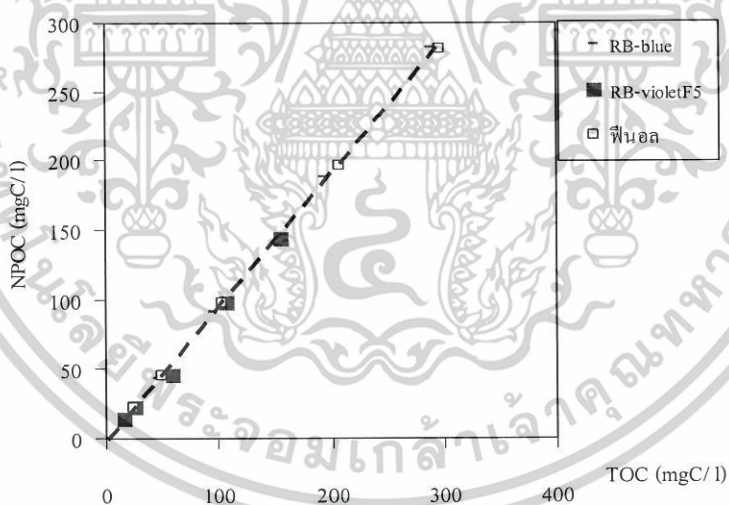
ในการทดลองหาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) สามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ วิธี Differential Method (Total Organic Carbon; TOC) ซึ่งวิเคราะห์โดยการเผาสารอินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในรูปอินทรีย์คาร์บอนและอนินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วทำการตรวจวัดด้วยเครื่องดีเทกเตอร์ ในขณะเดียวกันก็หยดกรดลงในสารอินทรีย์เพื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสารอนินทรีย์ โดยค่าผลต่างที่ได้จะเป็นค่าของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และอีกวิธีหนึ่ง คือวิธี Addition Method (Non-Purge Organic Carbon; NPOC) เป็นการกำจัดสารอนินทรีย์ออกจากสารตัวอย่าง โดยการปรับสภาพให้เป็นกรดก่อนและผ่านก๊าซพาลงไปเพื่อทำการไล่สารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้น จากนั้นจะทำการเผาสารอินทรีย์คาร์บอนที่เหลือทั้งหมด

จากการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 2 วิธี ได้ผลดังรูปที่ 4-1(ก) และ (ข) (สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-1) ซึ่งพบว่าค่า TOC กับ NPOC ของสารอินทรีย์ที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทิศทางบวก แต่แนวโน้มของค่า NPOC ของกลุ่มคีโตน (อะซีโตน) และสารกลุ่มแอลกอฮอล์ (เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอล) มีค่าน้อยกว่า TOC (%Recovery ~ 85%) ดังเส้นแนวโน้ม A ทั้งนี้เนื่องจากสารดังกล่าวมีค่าคงที่ของเฮนรีสูง (รายละเอียดของค่าเฮนรีดังแสดงในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-4) ทำให้สารเหล่านี้เกิดการระเหยได้ง่ายที่สภาวะปกติ ดังนั้นเมื่อทำการวัดปริมาณสารอินทรีย์โดยวิธี NPOC ซึ่งต้องมีการไล่อากาศออกจากตัวอย่างก่อนทำการทดลองจึงมีผลทำให้สารอินทรีย์ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าการวัดแบบ TOC ในขณะที่สารอินทรีย์กลุ่มน้ำตาล (กลูโคส กับซูโครส) และกลุ่มคาร์บอกซิลิก (กรดอะซิติก กรดออกซาลิก และกรดซิตริก) มีค่าคงที่เฮนรีต่ำทำให้ระเหยได้น้อยที่สภาวะปกติ พบว่ามี %Recovery ~ 96% ดังเส้นแนวโน้ม B นอกจากนี้ยังพบว่าสีย้อม Remazol Brilliant Violet F5 ให้ค่า %Recovery ต่ำ (64.58%) ที่เป็นเช่นนี้อาจมีผลมาจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำตัวอย่างเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจะต้องพิจารณาชนิดและคุณสมบัติของสารก่อนการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ เช่น สารกลุ่มแอลกอฮอล์ไม่ควรวิเคราะห์ด้วยวิธี NPOC เนื่องจากในการทดลองพบว่าสารกลุ่มนี้มี %Recovery ต่ำซึ่งเกิดจากการระเหยของสาร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ TOC-NPOC ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

(ก) สารอินทรีย์กลุ่ม Aliphatic (ข) สารอินทรีย์กลุ่ม Aromatic

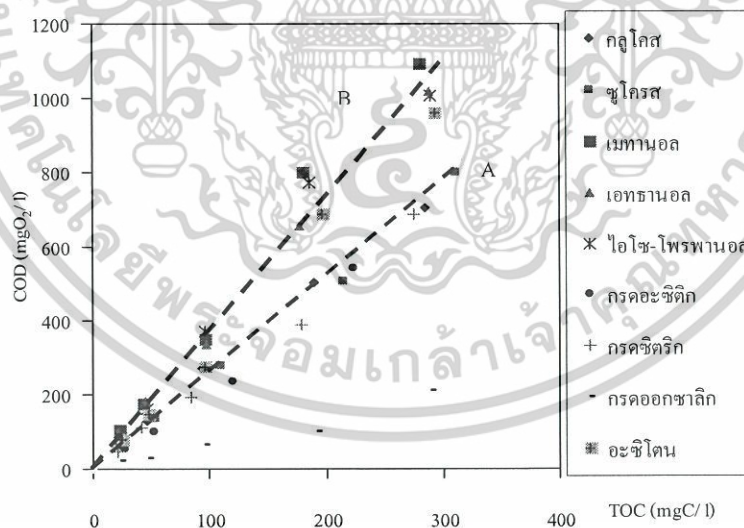
เมื่อ เส้นประ A แสดงกลุ่มคีโตนและแอลกอฮอล์

เส้นประ B แสดงกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

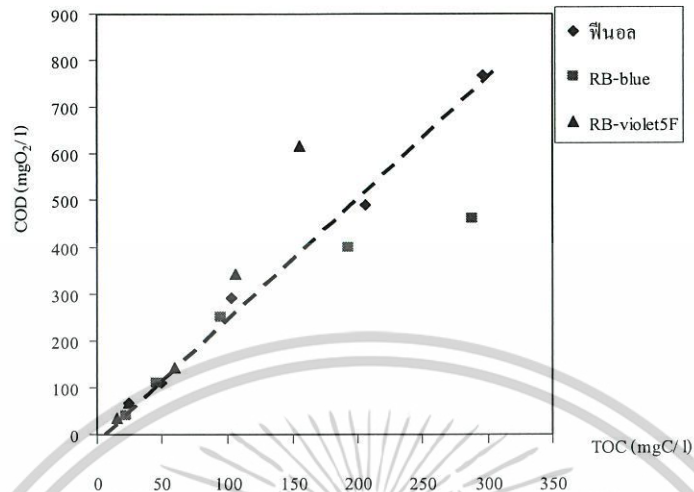
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ COD

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) ที่หาโดยวิธี Differential Method และค่า COD ของสารตัวอย่างที่ทราบสูตรโมเลกุลทุกชนิดแสดงในรูปที่ 4.2 (สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-1) จากรูปพบว่าสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทิศทางบวก แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มของสารกลุ่มอะโรมาติก เช่น สีย้อม Remazol Brilliant Blue (RB blue) พบว่าเมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้นค่า COD จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้เพราะ โครงสร้างโมเลกุลของสารกลุ่มนี้มีความยากต่อการถูกออกซิไดซ์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตขณะที่สามารถถูกเผาไหม้ได้ด้วยความร้อนสูง นอกจากนี้ยังพบว่ากรดออกซาลิก (COOH)₂ มีแนวโน้มที่แตกต่างจากกรดชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนในโมเลกุลต่ำ (มีเพียง 26.67%) ทำให้ความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายต่ำกว่ากรดชนิดอื่นๆ และยังพบว่าสารในกลุ่มแอลกอฮอล์มีค่า COD ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (เส้นแนวโน้ม B) เนื่องจากสารในกลุ่มนี้สามารถระเหยได้ง่ายจึงอาจทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณคาร์บอนขณะทำการทดลอง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ TOC-COD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

(ก) สารอินทรีย์กลุ่ม Aliphatic (ข) สารอินทรีย์กลุ่ม Aromatic

เมื่อ เส้นประ A แสดงกลุ่มน้ำตาล

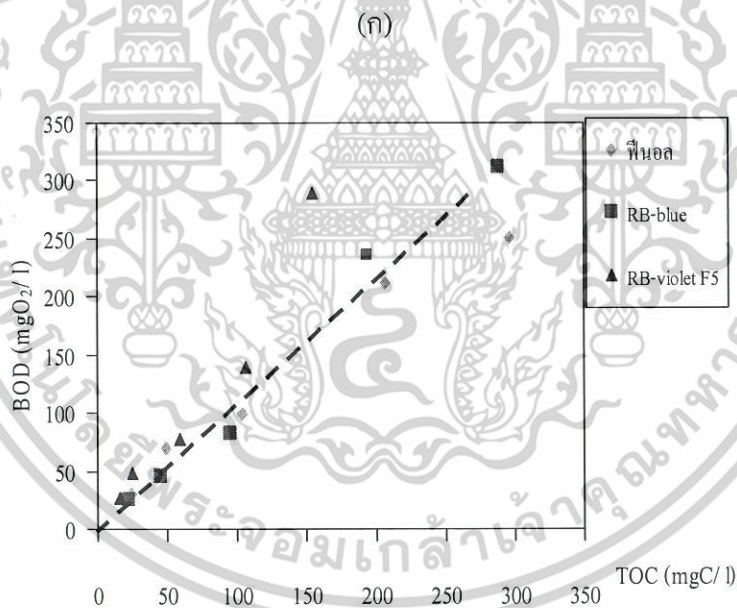
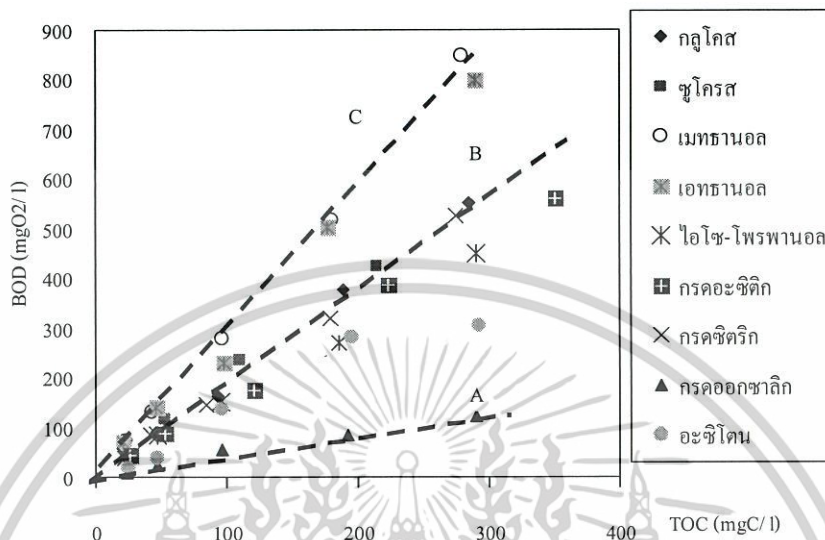
เส้นประ B แสดงกลุ่มแอลกอฮอล์

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) ที่หาโดยวิธี Differential Method และค่า BOD แสดงในรูปที่ 4-3 (สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-1) จากรูปพบว่าสารตัวอย่างที่ทราบสูตรโมเลกุลทุกชนิดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทิศทางบวก แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่เท่ากันของสารอินทรีย์ทุกประเภทพบว่าสารอินทรีย์ในกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก (เส้นแนวโน้ม B) มีค่า BOD ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรดออกซาลิก (เส้นแนวโน้ม A) ที่มีค่า BOD ต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสารดังกล่าวมีปริมาณสารอินทรีย์ในโมเลกุลน้อย และยังพบว่าตัวอย่างสารในกลุ่มอะโรมาติก มีค่า BOD ต่ำกว่าสารกลุ่มอื่นๆ เนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่มนี้มีโครงสร้างโมเลกุลที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก (Refractory Compound) ส่วนไอโซโพรพานอลนั้นมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของและเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ขณะที่เมทานอลและเอทานอล (เส้นแนวโน้ม C) มีค่าบีโอดีสูงกว่า ไอโซโพรพานอล ที่เป็นเช่นนี้อาจจะมีผลมาจากการที่จุลินทรีย์ของโรงงานมีความสามารถในการปรับตัวเพื่อนำสารอินทรีย์เหล่านี้มาใช้ในการดำรงชีพอีกทั้งสารเหล่านี้เป็นโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กย่อยสลายได้ง่าย



(ข)

รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ TOC-BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

(ก) สารอินทรีย์กลุ่ม Aliphatic (ข) สารอินทรีย์กลุ่ม Aromatic

เมื่อ เส้นประ A แสดงสารออกซาติก

เส้นประ B แสดงกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก

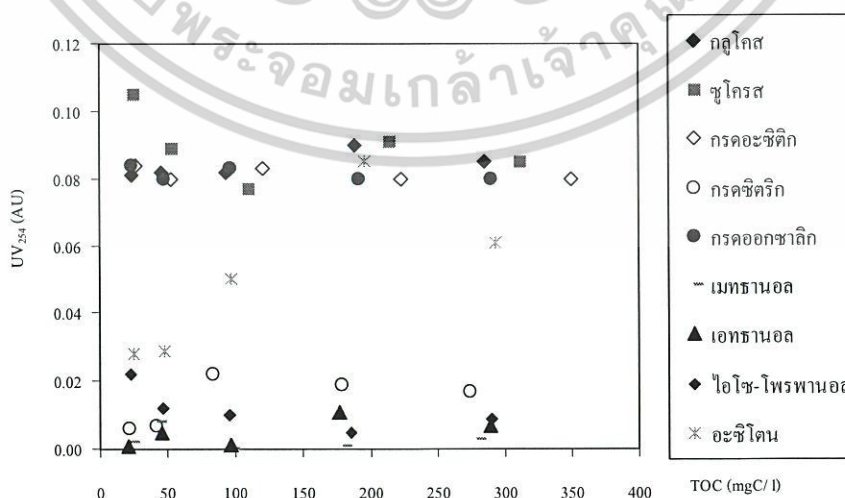
เส้นประ C แสดงสารเมทานอลและเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm} ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

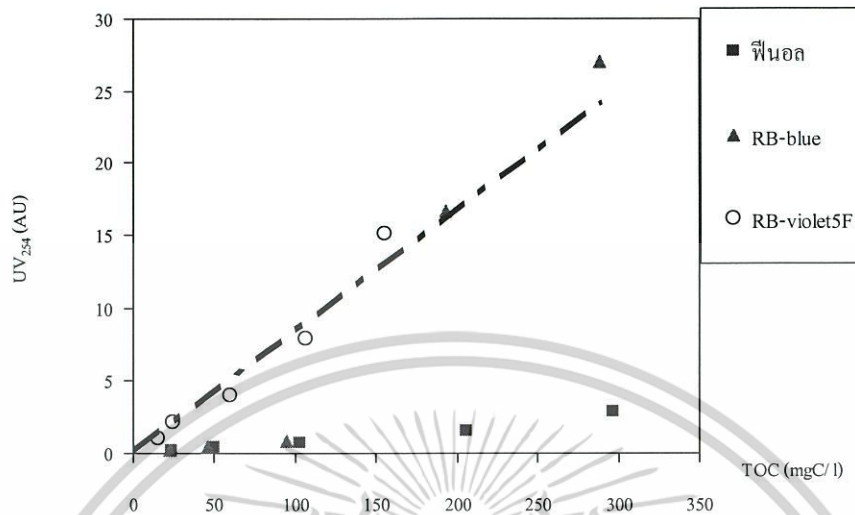
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) ที่หาโดยวิธี Differential Method และค่า UV_{254nm} ของตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุลแสดงในรูปที่ 4-4 (สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-1) จากรูปพบว่าแนวโน้มของค่า TOC และ UV_{254nm} ของสารอินทรีย์กลุ่มน้ำตาล, คาร์บอกซิลิก, คีโตน และแอลกอฮอล์ (รูป 4-4 ก) ไม่มีความสัมพันธ์กันแม้ว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) เพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้ค่า UV_{254nm} สูงขึ้นแต่อย่างใด เนื่องจากกลุ่มสารอินทรีย์ดังกล่าวไม่มีพันธะคู่ของคาร์บอน (C=C) และยังสังเกตเห็นว่าค่า UV_{254nm} ของสารกลุ่มน้ำตาลและกลุ่มคาร์บอกซิลิก มีค่ามากกว่ากลุ่มคีโตน และแอลกอฮอล์ ทั้งนี้เนื่องจากการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 nm ของพันธะคู่ที่เกิดจากหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่อยู่ในโมเลกุลของสารกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก และเมื่อพิจารณารูปที่ 4-4 ข พบว่าแนวโน้มค่า TOC และ UV_{254nm} มีความสัมพันธ์เชิงบวกในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากภายในโมเลกุลของสารประกอบมีความเป็นอะโรมาติกซึ่งมีพันธะคู่ของคาร์บอน (C=C) จึงทำให้สารดังกล่าววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ได้

ดังนั้นการใช้วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรในการหาปริมาณสารอินทรีย์ไม่สามารถใช้แทนได้ทุกกลุ่มของสารตัวอย่าง แต่จะให้ความถูกต้องเฉพาะสารที่มีพันธะคู่หรือโครงสร้างที่มีความเป็นอะโรมาติก ดังเช่น สารตัวอย่างอินทรีย์ประเภทฟีนอลและสีย้อม



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



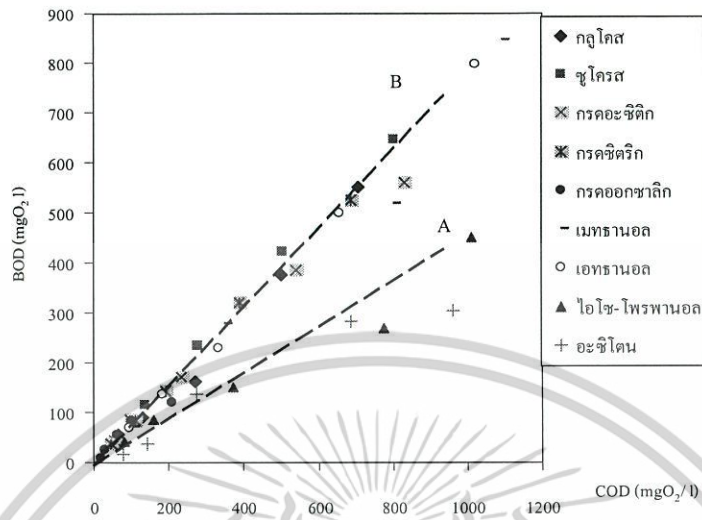
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ TOC-UV_{254nm} ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล

(ก) สารอินทรีย์กลุ่ม Aliphatic

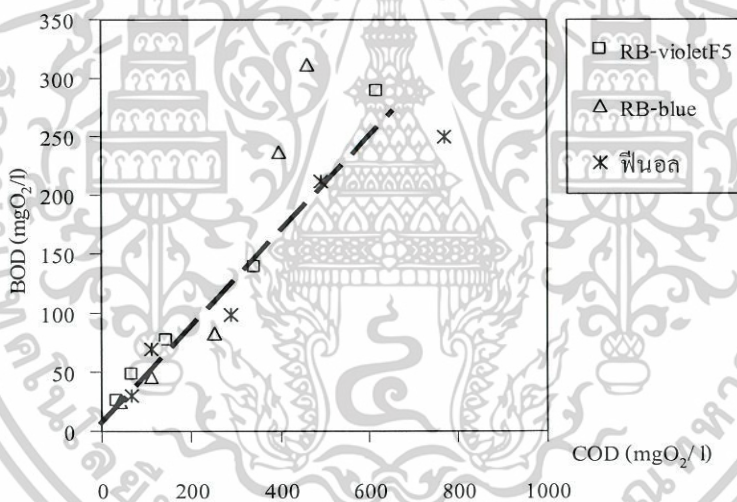
(ข) สารอินทรีย์กลุ่ม Aromatic

4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD ของสารอินทรีย์ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD กับ BOD ของตัวอย่างน้ำที่ทราบสูตรโมเลกุลแสดงในรูปที่ 4-5 (สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-1) จากรูปพบว่าแนวโน้มค่า COD กับค่า BOD ของสารทุกชนิดมีความสัมพันธ์เชิงบวกในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าสารตัวอย่างกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิกมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ BOD ที่ใกล้เคียงกัน (เส้นแนวโน้ม B) และเมื่อพิจารณาไอโซโพรพานอลและสารกลุ่มอะโรมาติก พบว่าแม้สารอินทรีย์เหล่านี้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มของค่า BOD จะมีค่าต่ำกว่าแนวโน้มของสารอินทรีย์กลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก ทั้งนี้เนื่องมาจากสารตัวอย่างอินทรีย์ดังกล่าวอาจมีผลต่อการยับยั้งการทำงานหรือมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะสารในกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค หรืออาจเป็นเพราะโครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น สีย้อม ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ COD-BOD ของสารอินทรีย์

(ก) สารอินทรีย์กลุ่ม Aliphatic (ข) สารอินทรีย์กลุ่ม Aromatic

เมื่อ เส้นประ A แสดงสารไอโซโพรพานอล

เส้นประ B แสดงกลุ่มน้ำตาลและคาร์บอกซิลิก

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ของน้ำตัวอย่างจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 จุด คือ ที่จุดปล่อยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและที่จุดปล่อยน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดจากโรงงาน แล้วเอ็กสารนเป็นเอ็กสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

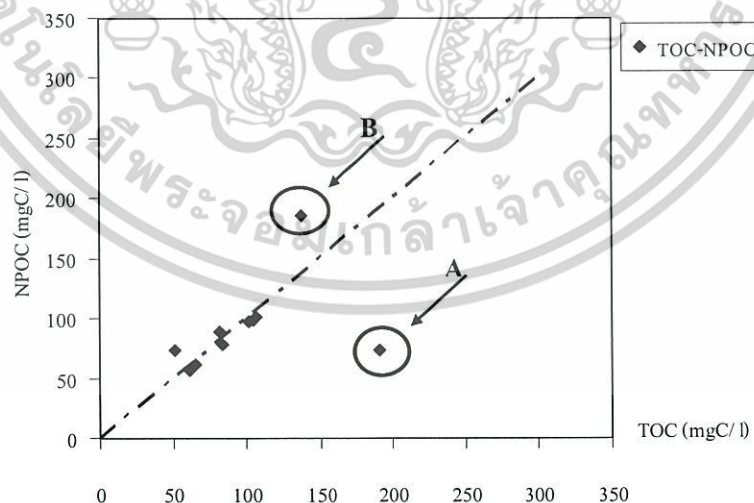
นำน้ำเสียทั้งสองจุดมาวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าพีเอช (pH), ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS), ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ดังตารางที่ 4-1 รวมทั้งหาความสัมพันธ์ต่างๆระหว่าง COD, BOD, TOC และ UV_{254nm}

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะโดยทั่วไปของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ค่าที่วิเคราะห์	pH	TDS (mg/L)	Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)
น้ำตัวอย่าง			
น้ำตัวอย่างก่อนบำบัด	6.90-7.80	1090-1526	1663-2390
น้ำตัวอย่างหลังบำบัด	7.49-9.01	1238-1594	1836-2660

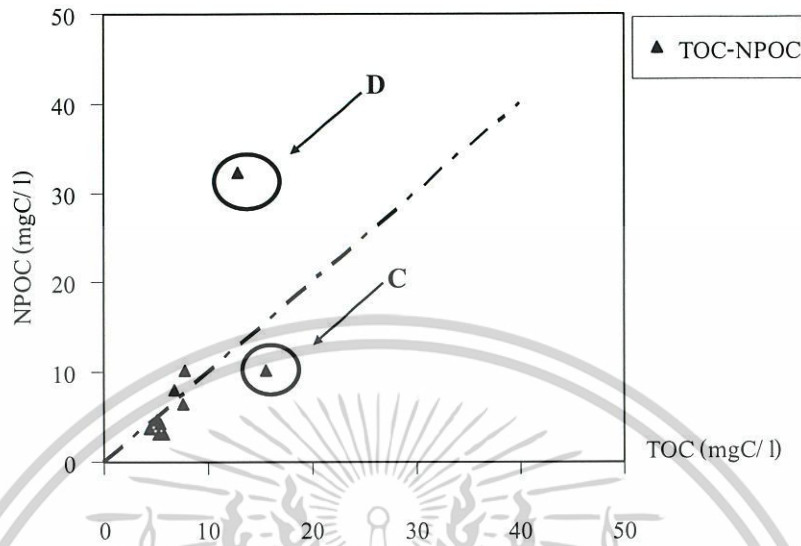
4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ NPOC ของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ NPOC ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนบำบัด และหลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม แสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4-6 (ก) และ รูปที่ 4-6 (ข) ตามลำดับ และสามารถดูข้อมูลค่า TOC NPOC ของน้ำเสียได้ในตารางภาคผนวก ง-2



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ NPOC

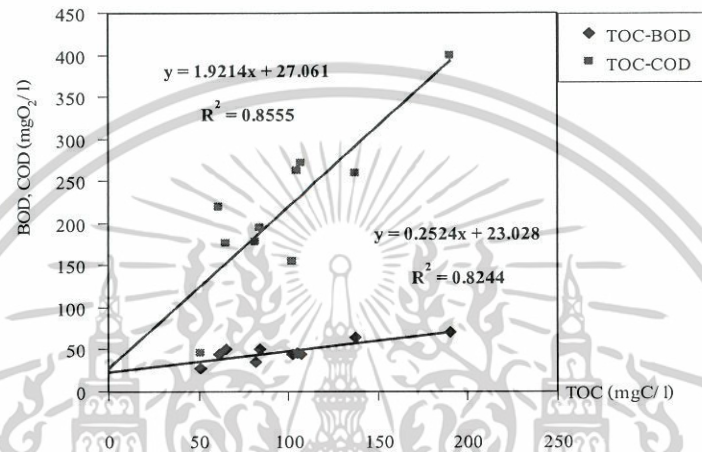
(ก) น้ำเสียก่อนบำบัด (ข) น้ำเสียหลังบำบัด

เมื่อพิจารณาจากรูปทั้งสองพบว่า น้ำเสียทั้งในส่วนก่อนการบำบัดและหลังการบำบัดของโรงงานฟอกย้อมมีค่า TOC ใกล้เคียงกับค่า NPOC ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยส่วนใหญ่ของโรงงานประกอบด้วยสารอินทรีย์คาร์บอนที่ระเหยได้ยาก โดยอ้างอิงจากผลการทดลองกับสารที่ทราบสูตร โมเลกุลแน่นอน แต่ยังมีบางจุดที่ค่า TOC ไม่เท่ากับค่า NPOC เช่น ที่จุด A และ C ซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างครั้งที่ 5 และ 8 ตามลำดับ (ภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-2) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่หาด้วยวิธี NPOC ต่ำกว่าการหาด้วยวิธี TOC ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำตัวอย่างอาจมีสารอินทรีย์กลุ่มที่ระเหยได้ง่าย ขณะที่จุด B กับ จุด D ซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างครั้งที่ 10 และ 5 ตามลำดับ พบว่าน้ำตัวอย่างมีค่า pH เท่ากับ 7.8 และ 9.01 ตามลำดับ (ดังแสดงในภาคผนวก ง; ตารางที่ ง-3) การที่น้ำเสียมีค่าพีเอชสูงอาจมีผลทำให้การทดลองผิดพลาด เนื่องจากในขั้นตอนของการวัดค่า NPOC ของน้ำเสียต้องมีการปรับตัวอย่างน้ำให้มี pH ต่ำกว่า 2 จึงอาจเป็นไปได้ว่าการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียแบบอัตโนมัติโดยเครื่อง TOC อาจทำการปรับเปอเรชันต์การหยดกรดต่ำเกินไป เป็นผลให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียถูกไล่ออกจากน้ำเสียตัวอย่างไม่หมด เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี NPOC จึงมีค่าสูงกว่าวิธี TOC

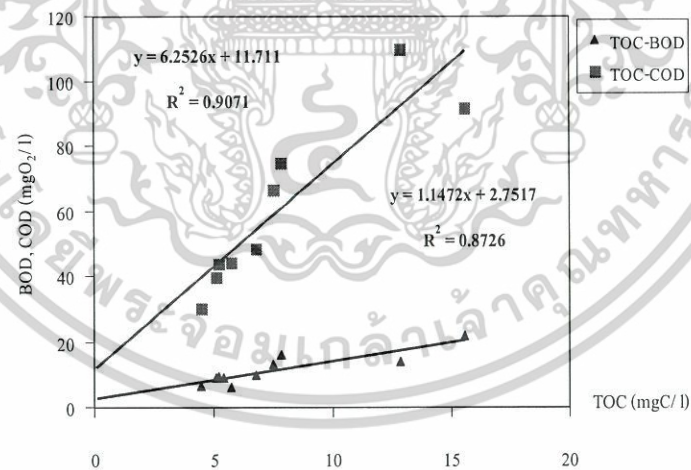
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC, COD และ BOD

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC, COD และ BOD ในน้ำเสียก่อนบำบัด และหลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4-7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ (ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ง-2)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ TOC, COD และ BOD

(ก) น้ำเสียก่อนบำบัด (ข) น้ำเสียหลังบำบัด

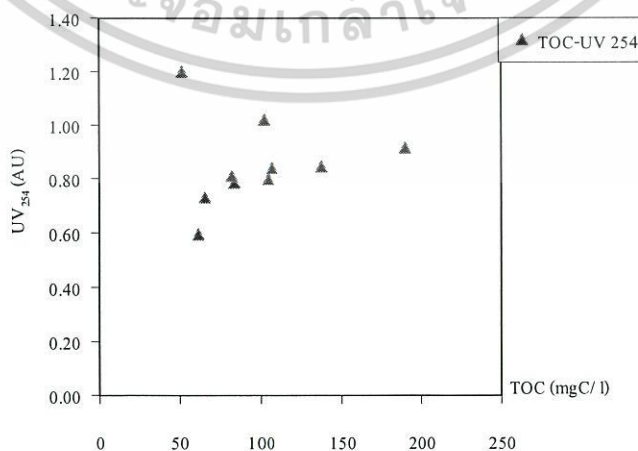
พบว่าค่า TOC และ COD ของน้ำเสียก่อนบำบัดมีความสอดคล้องกัน ดังสมการ $y = 1.9214x + 27.061$ โดยมีค่า $r^2 = 0.8555$ ขณะที่น้ำเสียหลังบำบัด (รูปที่ 4-7 ข) มีความสัมพันธ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันดังสมการ $y = 6.525x + 11.711$ และมีค่า $r^2=0.9071$ ที่จุดตัดแกน y พบว่าค่าซีไอดีในตัวอย่างไม่เสียหลังการบำบัดต่ำกว่าน้ำเสียก่อนบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์บางส่วนถูกกำจัดไประหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน แต่ยังมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียหลังบำบัดมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนมากกว่าน้ำเสียก่อนบำบัด

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC และ BOD ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัด (รูปที่ 4-7 ก และ ข) ในเชิงเส้น พบว่าทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ดังสมการ $y = 0.2524x + 23.028$ และ $y = 1.4172x + 2.7517$ 9 ตามลำดับ โดยมีค่า $r^2=0.8244$ และ 0.8726 ตามลำดับ และที่จุดตัดแกน y (BOD) พบว่าในน้ำเสียหลังบำบัดจะมีค่า BOD ต่ำกว่าน้ำเสียก่อนบำบัด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์จำนวนมากในน้ำเสียก่อนบำบัดเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดของโรงงานจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ส่งผลให้น้ำเสียหลังบำบัดมีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่เพียงเล็กน้อย และค่า BOD ในน้ำเสียหลังบำบัดที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่นั้นเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากโดยจุลินทรีย์ ดังเช่น สารกลุ่มอะโรมาติก (จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง COD BOD กับ TOC ในสารที่ทราบสูตร โมเลกุลดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น)

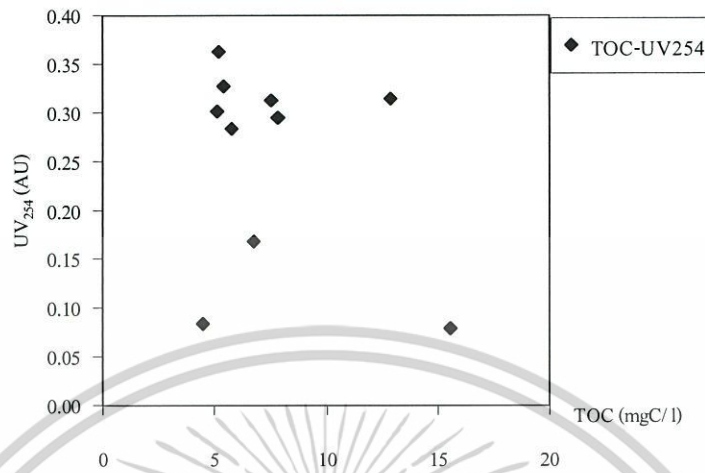
4.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm}

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm} ในน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดัง รูปที่ 4-8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ (ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ง-2)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

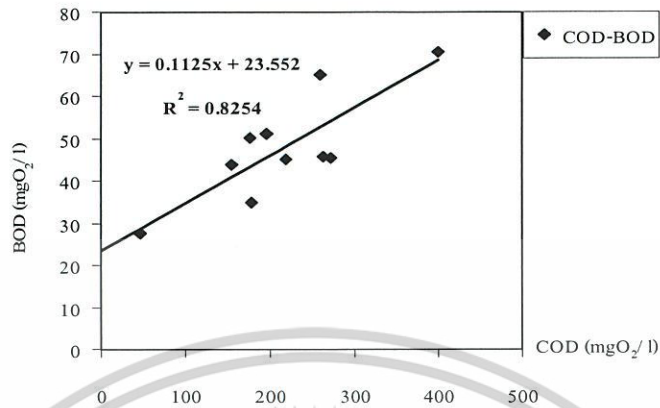
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ TOC-UV_{254nm}

(ก) น้ำเสียก่อนบำบัด (ข) น้ำเสียหลังบำบัด

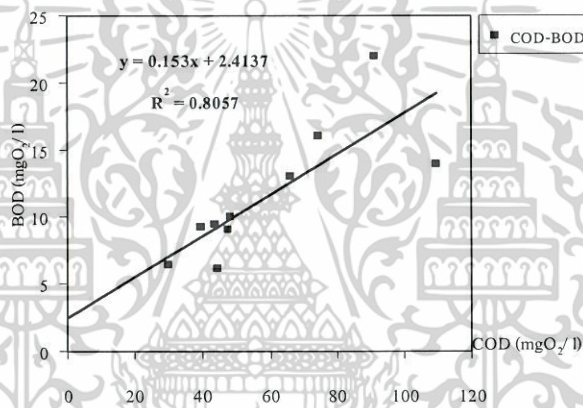
จากการศึกษาความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงพบว่า ค่า TOC และ UV_{254nm} ของน้ำเสีย ทั้ง 2 แหล่งไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังเช่น บางจุดของข้อมูลเมื่อค่า TOC เพิ่มขึ้นแต่ค่า UV_{254nm} ของสารอินทรีย์กลับไม่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกัน โดยอาจคาดเดาได้ว่าในน้ำเสียจุดนั้นๆ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นประเภท Aliphatic (สามารถหาค่าอธิบายได้จากการทดลองของสารตัวอย่างที่ทราบสูตรโมเลกุลแน่นอน)

4.2.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD ในน้ำเสียก่อนบำบัดและ หลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.9(ก) และ (ข) ตามลำดับ (ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ง-2)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ COD-BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัด

(ก) น้ำเสียก่อนบำบัด

(ข) น้ำเสียหลังบำบัด

จากการศึกษาความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง พบว่าน้ำเสียก่อนการบำบัดมีความสัมพันธ์กันดังสมการ $y = 0.1125x + 23.552$ และ $y = 0.153x + 2.4137$ ตามลำดับ และพบว่าแนวโน้มส่วนใหญ่มีค่า COD มากกว่า BOD ทั้งนี้เนื่องจาก COD เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ อีกทั้งน้ำเสียโดยส่วนใหญ่เป็นพวกสี้อมที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนทำให้ยากต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ

4.3.1 ความสัมพันธ์ของ TOC, COD, BOC และ UV_{254nm} ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล

จากผลการทดลองหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล สามารถสรุปความสัมพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 4-2 (วิธีคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r ดูได้ที่ภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล

ชนิดสาร	สมการถดถอย เชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์ การทำงาน (r^2)	ชนิดสาร	สมการถดถอย เชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์ การทำงาน (r^2)
Glucose	$COD = 2.453 TOC + 21.383$	0.996	Citric acid	$COD = 2.4469 TOC - 8.884$	0.991
	$BOD_5 = 1.581 TOC + 24.276$	0.968		$BOD_5 = 1.901 TOC - 6.461$	0.997
	$BOD_5 = 0.784 COD - 15.092$	0.990		$BOD_5 = 0.773 COD + 1.376$	0.997
	$UV_{254} = 0.00002 TOC + 0.08$	0.449		$UV_{254} = 0.00004 TOC + 0.01$	0.345
Sucrose	$COD = 2.517 TOC - 1.421$	0.996	Oxalic acid	$COD = 0.677 TOC - 3.555$	0.955
	$BOD_5 = 2.0533 TOC$	0.998		$BOD_5 = 0.406 TOC + 5.907$	0.982
	$BOD_5 = 0.812 COD + 3.207$	0.999		$BOD_5 = 0.568 COD + 10.636$	0.925
	$UV_{254} = -0.00004 TOC + 0.095$	0.173		$UV_{254} = -0.00001 TOC + 0.083$	0.373
Methanol	$COD = 4.006 TOC + 5.206$	0.989	Acetone	$COD = 3.395 TOC - 18.043$	0.994
	$BOD_5 = 2.995 TOC - 2.826$	0.998		$BOD_5 = 1.157 TOC + 3.701$	0.926
	$BOD_5 = 0.737 COD - 1.355$	0.981		$BOD_5 = 3.417 COD + 9.452$	0.936
	$UV_{254} = -0.000007 TOC + 0.004$	0.064		$UV_{254} = 0.0002 TOC + 0.029$	0.586
Ethanol	$COD = 3.488 TOC + 17.64$	0.998	Phenol	$COD = 2.537 TOC + 0.887$	0.990
	$BOD_5 = 2.814 TOC + 2.536$	0.998		$BOD_5 = 1.191 TOC - 21.91$	0.975
	$BOD_5 = 0.790 COD - 13.758$	0.998		$BOD_5 = 0.317 COD + 23.06$	0.950
	$UV_{254} = 0.00003 TOC + 0.002$	0.404		$UV_{254} = 0.0093 TOC - 0.117$	0.961
Isopropanol	$COD = 3.6125 TOC + 15.374$	0.982	RB-blue	$COD = 1.573 TOC + 49.847$	0.930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$BOD_5 = 1.0497 TOC + 39.722$	0.860		$BOD_5 = 0.867TOC + 7.20$	0.984
	$BOD_5 = 0.4037 COD + 6.275$	0.964		$BOD_5 = 0.675TOC - 30.01$	0.922
	$UV_{254} = -0.00004 TOC + 0.017$	0.453		$UV_{254} = 0.108TOC - 4.91$	0.952
Acetic acid	$COD = 2.465 TOC - 29.148$	0.996	RB-violet F5	$COD = 4.0927TOC - 53.964$	0.970
	$BOD_5 = 1.635 TOC - 3.222$	0.994		$BOD_5 = 0.535TOC + 10.10$	0.940
	$BOD_5 = 0.663 COD + 16.073$	0.999		$BOD_5 = 0.433TOC + 11.23$	0.986
	$UV_{254} = -0.00009 TOC + 0.083$	0.350		$UV_{254} = 0.096TOC - 0.884$	0.964

4.3.2 ความสัมพันธ์ของ TOC, COD, BOC และ UV_{254nm} ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอก

ย้อม

จากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมข้างต้น สามารถสรุปเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ประเภทของน้ำเสีย	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	T-test ($\alpha = 0.05$)
น้ำเสียก่อนบำบัด	$COD = 1.9214 TOC + 27.06$	0.907	50.827	4.674
	$BOD_5 = 0.2524TOC + 23.03$	0.8763	7.573	4.120
	$BOD_5 = 0.1125COD + 23.55$	-0.314	7.557	4.136
	$UV_{254nm} = 0.0003TOC + 0.83$	0.806	0.174	0.176
น้ำเสียหลังบำบัด	$COD = 6.2526TOC + 11.71$	0.794	11.118	6.097
	$BOD_5 = 1.1472TOC + 2.75$	0.924	2.434	5.144
	$BOD_5 = 0.153COD + 2.41$	0.806	3.040	3.847
	$UV_{254nm} = -0.0086TOC + 0.32$	0.310	0.104	-0.923

หมายเหตุ : เขตวิกฤตจากตาราง t ที่ระดับนัยสำคัญ 5% และ $df = 8$ มีค่า $t_{0.025} = 2.306$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบสมมติฐานของสมการเชิงเส้นในที่นี้จะทำการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการทดสอบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญก็แสดงว่าตัวแปรทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กันจริง

$$H_0: \rho = 0 \quad (\text{ข้อมูลทั้งสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน})$$

$$H_1: \rho \neq 0 \quad (\text{ข้อมูลทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กัน})$$

และใช้สถิติที่ทดสอบคือ

$$t = \frac{r_{XY} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{XY}^2}}$$

จากการคำนวณค่า t ด้วยสมการข้างต้น จะได้ค่าดังตารางที่ 4-3 ซึ่งเมื่อนำค่าที่คำนวณได้ไปพิจารณากับค่า t ที่ได้จากการเปิดตารางสำหรับการทดสอบสองทางที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีชั้นความเป็นอิสระเท่ากับ 8 ดังนั้นจะได้ค่า $t_{0.025, 8} = 2.306$ และ $-t_{0.025, 8} = -2.306$ พบว่าค่า t ที่คำนวณได้ของความสัมพันธ์ระหว่าง TOC กับ COD, TOC กับ BOD, COD กับ BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดมีค่ามากกว่า 2.306 และ -2.306 แสดงให้เห็นว่าคู่วารามิเตอร์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันจริง ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ UV_{254nm} ของน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.176 ซึ่งต่ำกว่าค่า t จากตาราง และน้ำเสียหลังบำบัดมีค่า t ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ -0.923 ซึ่งมีค่าสูงกว่า -2.306 ทำให้คู่วารามิเตอร์ดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทีโอซี บีโอดี ซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวี ของสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าว ในตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตรโมเลกุล และส่วนที่สอง เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ ในตัวอย่างน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม พบว่า ในการหาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำโดยวิธี Differential Method (TOC) จะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าการหาด้วยวิธี Addition Method (NPOC) สำหรับสารที่สามารถระเหยได้ง่าย เช่น สารในกลุ่มแอลกอฮอล์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ค่า TOC ที่หาได้จากวิธี Differential Method มาศึกษาความสัมพันธ์กับค่า COD, BOD และ UV_{254nm} ต่อไป

จากการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นของ TOC กับ COD, TOC กับ BOD, TOC กับ UV_{254nm} และ COD กับ BOD ของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมทั้งก่อนและหลังบำบัดมาทดสอบความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า UV_{245nm} กับค่า TOC ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ประเภทของน้ำเสีย	สมการถดถอยเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	T-test ($\alpha = 0.05$)
น้ำเสียก่อนบำบัด	$COD = 1.9214 TOC + 27.06$	0.907	50.827	4.674
	$BOD_5 = 0.2524 TOC + 23.03$	0.8763	7.573	4.120
	$BOD_5 = 0.1125 COD + 23.55$	-0.314	7.557	4.136
	$UV_{254nm} = 0.0003 TOC + 0.83$	0.806	0.174	0.176
น้ำเสียหลังบำบัด	$COD = 6.2526 TOC + 11.71$	0.794	11.118	6.097
	$BOD_5 = 1.1472 TOC + 2.75$	0.924	2.434	5.144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$BOD_5 = 0.153COD + 2.41$	0.806	3.040	3.847
	$UV_{254nm} = -0.0086TOC + 0.32$	0.310	0.104	-0.923

5.2 ข้อเสนอแนะผลการทดลอง

1. ควรเพิ่มกลุ่มสารตัวอย่างกลุ่มอื่นๆ ทั้งกลุ่มที่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้โดยง่าย และจำพวกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยง่าย เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร หรือไม่
2. ควรทำการเพิ่มจุดและจำนวนเก็บน้ำเสียตัวอย่างจากโรงงานฟอกย้อมให้มากขึ้น เพื่อให้เป็นตัวแทนที่ดีของกลุ่มตัวอย่าง
3. ทำการศึกษาโรงงานประเภทอื่นในลักษณะเดียวกันนี้เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ และสำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 และ
กฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็น.เจ. โปรโมชัน จำกัด, 2535.

กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมี่ของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร:
บริษัทประยูรวงศ์ จำกัด, 2538

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์, พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2
กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง, 2544.

กานดา พูนลาภทวี. **สถิติเพื่อการวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์,
2530.

คณะกรรมการการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ผกา สุขเกษม. การเปรียบเทียบวิธีหาค่าบีโอดี ซีโอดี และทีโอดี กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.
(อัคราณา)

พีรวัฒน์ ฤดีสวัสดิ์, วาปี จันทรจรุงภักดิ์. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ ThOD
สำหรับสารลดริลซัลเฟต (Lauryl sulfate) และผงซักฟอก. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชา
เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

เพลินจิต ทมทิตชงศ์. **วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทางน้ำ**. กรุงเทพมหานคร: สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ยุพดี วัลย์คุณา. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีสถาบันราชภัฏสวนสุนันทา, 2542.

ศุภมาส พลนิชศักดิ์พัฒนา. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Hanover : EPS Group, Inc., 1995.

Environmental Protection Agency , **Rules and Regulation**. Federal Register 49; No.209, October 26, 1984.

Fadini P. S., Jardim W. F. and Guimaraes J. R. Evaluation of organic load measurement techniques in a sewage and waste stabilization pond. **J. Braz. Soc.** vol.15 no.1 Sao Paulo Jan./Feb.2004

Westphal, Kirk S., Chapra C. Steven and Windsor Sung. **J. AWRA**. vol.40 no.3 June (2004)

Pepper, Ian L., Gerba P. Charles and Brusseau L. Mark. **Pollution Science**. San Diego : Academic Press, Inc., 1991.

Shiyun, Z., Xuesong, Z. and Daotang, L. Ozonation of naphthalene sulfonic acids in aqueous solutions. Part I: elimination of COD, TOC and increase of their biodegradability. **J. Water Res.** 36 (2002)

<http://www.pcd.go.th>. **มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง**. (24/10/2547)

<http://www.water.ky.gov/dw/profi/tips/UV+254+Absorbance+SOP.htm>. **Ultraviolet Absorbance at 254 nm for the Estimation of Organic Matter in Drinking Water**. (24/10/2547)

<http://webbook.nist.gov/chemistry>. **NIST Standard Reference Database Number 69 March, 2003 Release**. (11/03/2548)

<http://sis.nlm.nih.gov/Chem/ChemMain.html>. **Chemical Information**. (11/03/2548)

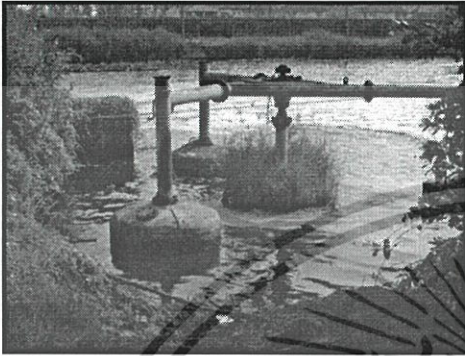
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
การเก็บตัวอย่างน้ำและการเก็บรักษาตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1. จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงาน



ก-1 น้ำทิ้งก่อนบำบัด

ก-2 น้ำทิ้งหลังบำบัด

ก-2. การเก็บรักษาตัวอย่าง (Environmental Protection Agency, 1984)

- ในการวิเคราะห์ ปริมาณที่ไอซี บีไอดี ซีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรภาชนะที่ใช้เก็บอาจเป็นขวดแก้วหรือขวดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนก็ได้
- ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์สำหรับบีไอดี ต้องไม่น้อยกว่า 1 ลิตร และควรเก็บที่มีดและเย็น (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) และต้องวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด โดยทั่วไปจะวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง แต่อนุโลมถึง 24 ชั่วโมง
- สำหรับปริมาณน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์ซีไอดี ต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิลิตร และต้องวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด หากยังไม่วิเคราะห์ให้เติมกรดซัลฟูริก ($\text{pH} < 2$) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างได้นานถึง 7 วัน
- ส่วนการวิเคราะห์ที่ไอซีหากไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ต้องเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอช ($\text{pH} < 2$) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 หลักการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำด้วยการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD)

สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากๆ จำเป็นต้องทำการเจือจางด้วยน้ำเจือจางก่อนเพื่อไม่ให้ค่า DO_5 ของน้ำต่ำกว่า 1 mg/L มิฉะนั้นจะไม่สามารถคำนวณค่า BOD ของน้ำได้

ตาราง ข-1 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่า BOD

เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์ของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
%ของผสม	ช่วงค่า BOD	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่า BOD
0.01	20000-70000	0.01	30000-105000
0.02	10000-35000	0.02	12000-42000
0.05	4000-14000	0.10	6000-21000
0.10	2000-7000	0.20	3000-10500
0.20	1000-3500	0.50	1200-4200
0.50	400-1400	1.00	600-2100
1.00	200-700	2.00	300-1050
2.00	100-350	5.00	120-420
5.00	40-140	10.0	60-210
10.00	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

(กรองแก้วและพิสมัย, 2544)

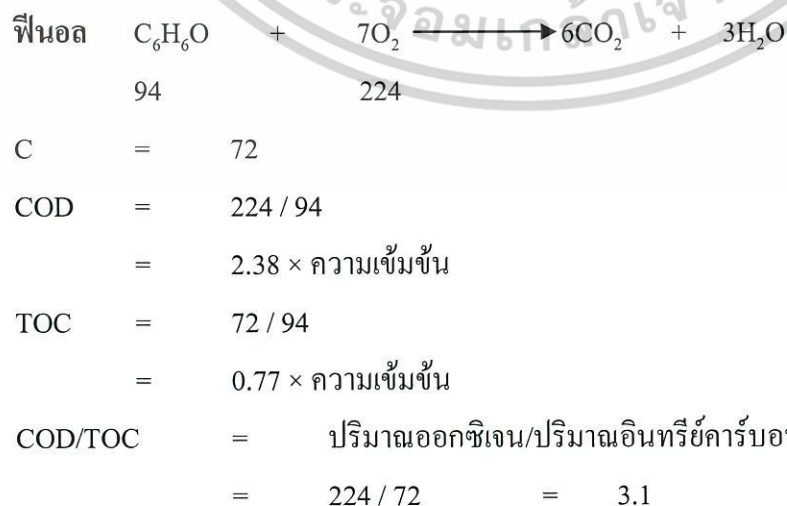
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 การคำนวณความสัมพันธ์ของค่าที่ไอซี (TOC) และค่าซีไอดี (COD) ได้จากทางทฤษฎี

ตาราง ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างที่ไอซีและซีไอดีของสารอินทรีย์ 3 ชนิดที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี

	ความเข้มข้น mg/L	COD mgO ₂ /L	TOC mgC/L	COD/TOC mgO ₂ /mgC
กลูโคส	100	107	40	2.67
ฟีนอล	100	238	77	3.1
มีเทน	100	400	75	5.3

วิธีคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างที่ไอซีและซีไอดีของสารอินทรีย์ 3 ชนิดแสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{มีเทน} \quad & \text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \\
 & 16 \qquad \quad 64 \\
 \text{C} = & 12 \\
 \text{COD} = & 64 / 16 \\
 & = 4 \times \text{ความเข้มข้น} \\
 \text{TOC} = & 12 / 16 \\
 & = 0.75 \times \text{ความเข้มข้น} \\
 \text{COD/TOC} = & \text{ปริมาณออกซิเจน/ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน} \\
 & = 64 / 12 = 5.3
 \end{aligned}$$

ข-3 แสดงการคำนวณปริมาณ Th-OD ของสารอินทรีย์

1. ซูโครส ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)



$$1 \text{ mol } \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \quad : \quad 12 \text{ mol } \text{O}_2$$

$$12 \times 12 \text{ mgC} \quad : \quad 12 \times 32 \text{ mgO}_2$$

$$144 \text{ mg C} \quad : \quad 384 \text{ mgO}_2$$

$$\begin{aligned}
 \text{ถ้าซูโครส} \quad & 25 \text{ mgC} \quad \text{ปริมาณออกซิเจนเท่ากับ } (384 \times 25)/144 \\
 & = 66.67 \text{ mgO}_2
 \end{aligned}$$

2. เมทานอล (CH_3OH)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 4 \text{ mol (CH}_3\text{OH)} & : 6 \text{ mol O}_2 \\
 12 \times 4 \text{ mgC} & : 6 \times 32 \text{ mgO}_2 \\
 48 \text{ mgC} & : 192 \text{ mgO}_2 \\
 \text{ถ้าเมทานอล 25 mgC} & \text{ ปริมาณออกซิเจนเท่ากับ } (192 \times 25) / 48 \\
 & = 100 \text{ mgO}_2
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1 การหาค่า BOD

กรณีที่¹ไม่มีการเติมหัวเชื้อ

$$\text{BOD}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = [\text{DO}_0 - \text{DO}_5] / P$$

กรณีที่²มีการเติมหัวเชื้อ

$$\text{BOD}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = \{[\text{DO}_0 - \text{DO}_5] - [\text{B}_0 - \text{B}_5]\} f / P$$

- เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้ว
- DO_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน
- B_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวก่อนโดยหาทันที
- B_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวก่อนโดยหาหลังจากบ่ม 5 วัน
- f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างต่อกลุ่มที่ควบคุม (% หัวเชื้อใน DO_0) / (% หัวเชื้อใน B_0)
- P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

ค-2 การหาค่าซีโอดี (COD)

$$\text{COD (mgO}_2\text{/l)} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง}}$$

- เมื่อ A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรต Blank
- B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง
- M = ความเข้มข้นของ FAS ที่ใช้ไทเทรต (N)

ค-3 การหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = X_i / n$$

- เมื่อ X_i = ค่า TOC, COD, BOD หรือ $\text{UV}_{254\text{nm}}$ ที่หาได้
- n = จำนวนข้อมูลของ TOC, COD, BOD และ $\text{UV}_{254\text{nm}}$

ค-4 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard deviation; SD)

$$\text{SD} = \sqrt{S_{xx} / (n-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-5 การหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Simple linear regression equation)

$$Y = a + bX$$

เมื่อ	Y	=	ค่าของ TOC, COD, BOD และ UV _{254nm} ที่ได้จากการประมาณค่า
	X	=	ค่าของ TOC, COD, BOD และ UV _{254nm} ที่เป็นจริง
	b	=	ความชันของเส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (S_{xy}) / (S_{xx})
	a	=	ค่าของ Y ที่ตัดกับแกน Y (Y-intercept)

ค-6 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; r)

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

ค-7 การหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานส่วนเบี่ยงเบนจากสมการถดถอย (Standard error of the estimate; SEE)

$$SEE = \sqrt{\frac{\text{RESIDUAL SUM OF SQUARES}}{n-2}}$$

เมื่อ RESIDUAL SUM OF SQUARE = $[\sum (Y - \bar{Y})^2 - b[\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]]$

ค-8 การคำนวณประกอบต่างๆ

$$S_{xy} = \text{Sum of cross product} \\ = \sum XY - [(\sum X)(\sum Y) / n]$$

$$S_{xx} = \text{Sum of square X} \\ = \sum X^2 - [(\sum X)^2 / n]$$

$$S_{yy} = \text{Sum of square Y} \\ = \sum Y^2 - [(\sum Y)^2 / n]$$

$$S_{yx}^2 = \text{Sum square of error (SSE)} \\ = \left[\frac{S_{yy} - (S_{xy})^2}{S_{xx}} \right] / n - 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

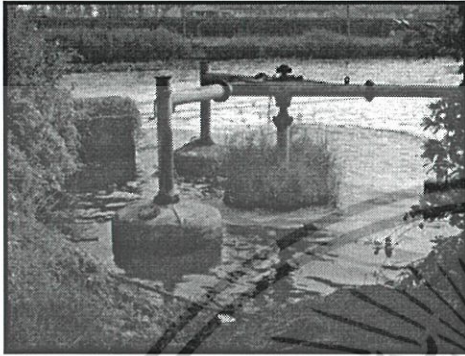


ภาคผนวก ก

การเก็บตัวอย่างน้ำและการเก็บรักษาตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1. จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงาน



ก-1 น้ำทิ้งก่อนบำบัด



ก-2 น้ำทิ้งหลังบำบัด

ก-2. การเก็บรักษาตัวอย่าง (Environmental Protection Agency, 1984)

- ในการวิเคราะห์ ปริมาณที่ไอซี บีไอดี ซีไอดี และค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรภาชนะที่ใช้เก็บอาจเป็นขวดแก้วหรือขวดพลาสติกชนิดพอลิเอธิลีนก็ได้
- ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์สำหรับบีไอดี ต้องไม่น้อยกว่า 1 ลิตร และควรเก็บที่มีดและเย็น (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) และต้องวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด โดยทั่วไปจะวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง แต่อนุโลมถึง 24 ชั่วโมง
- สำหรับปริมาณน้ำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์ซีไอดี ต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิลิตร และต้องวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด หากยังไม่วิเคราะห์ให้เติมกรดซัลฟูริก ($\text{pH} < 2$) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างได้นานถึง 7 วัน
- ส่วนการวิเคราะห์ที่ไอซีหากไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ต้องเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอช ($\text{pH} < 2$) และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์บีโอดี (BOD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 หลักการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำด้วยการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD)

สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากๆ จำเป็นต้องทำการเจือจางด้วยน้ำเจือจางก่อนเพื่อไม่ให้ค่า DO_5 ของน้ำต่ำกว่า 1 mg/L มิฉะนั้นจะไม่สามารถคำนวณค่า BOD ของน้ำได้

ตาราง ข-1 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่า BOD

เมื่อใช้เปอร์เซ็นต์ของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
%ของผสม	ช่วงค่า BOD	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่า BOD
0.01	20000-70000	0.01	30000-105000
0.02	10000-35000	0.02	12000-42000
0.05	4000-14000	0.10	6000-21000
0.10	2000-7000	0.20	3000-10500
0.20	1000-3500	0.50	1200-4200
0.50	400-1400	1.00	600-2100
1.00	200-700	2.00	300-1050
2.00	100-350	5.00	120-420
5.00	40-140	10.0	60-210
10.00	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

(กรองแก้วและพิสมัย, 2544)

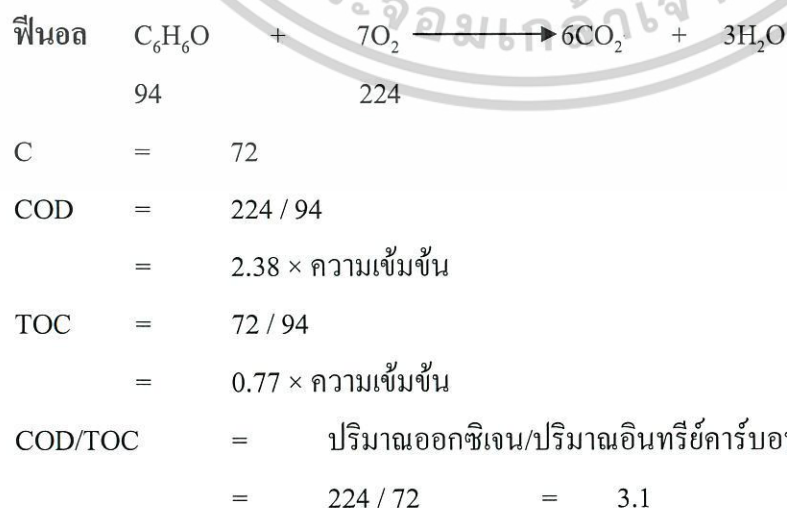
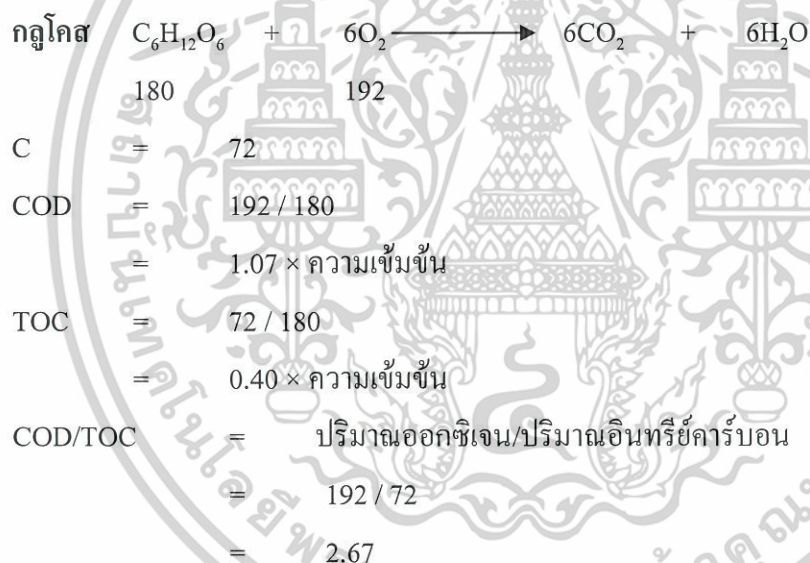
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 การคำนวณความสัมพันธ์ของค่าที่ไอซี (TOC) และค่าซีไอดี (COD) ได้จากทางทฤษฎี

ตาราง ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างที่ไอซีและซีไอดีของสารอินทรีย์ 3 ชนิดที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี

	ความเข้มข้น mg/L	COD mgO ₂ /L	TOC mgC/L	COD/TOC mgO ₂ /mgC
กลูโคส	100	107	40	2.67
ฟีนอล	100	238	77	3.1
มีเทน	100	400	75	5.3

วิธีคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างที่ไอซีและซีไอดีของสารอินทรีย์ 3 ชนิดแสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{มีเทน} \quad & \text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \\
 & 16 \qquad \qquad 64 \\
 \text{C} = & 12 \\
 \text{COD} = & 64 / 16 \\
 & = 4 \times \text{ความเข้มข้น} \\
 \text{TOC} = & 12 / 16 \\
 & = 0.75 \times \text{ความเข้มข้น} \\
 \text{COD/TOC} = & \text{ปริมาณออกซิเจน/ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน} \\
 & = 64 / 12 = 5.3
 \end{aligned}$$

ข-3 แสดงการคำนวณปริมาณ Th-OD ของสารอินทรีย์

1. ซูโครส ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)



$$1 \text{ mol } \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} : 12 \text{ mol } \text{O}_2$$

$$12 \times 12 \text{ mgC} : 12 \times 32 \text{ mgO}_2$$

$$144 \text{ mg C} : 384 \text{ mgO}_2$$

$$\begin{aligned}
 \text{ถ้าซูโครส} \quad & 25 \text{ mgC} \quad \text{ปริมาณออกซิเจนเท่ากับ } (384 \times 25)/144 \\
 & = 66.67 \text{ mgO}_2
 \end{aligned}$$

2. เมทานอล (CH_3OH)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 4 \text{ mol (CH}_3\text{OH)} & : 6 \text{ mol O}_2 \\
 12 \times 4 \text{ mgC} & : 6 \times 32 \text{ mgO}_2 \\
 48 \text{ mgC} & : 192 \text{ mgO}_2 \\
 \text{ถ้าเมทานอล 25 mgC} & \text{ ปริมาณออกซิเจนเท่ากับ } (192 \times 25) / 48 \\
 & = 100 \text{ mgO}_2
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1 การหาค่า BOD

กรณีที่¹ไม่มีการเติมหัวเชื้อ

$$\text{BOD}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = [\text{DO}_0 - \text{DO}_5] / P$$

กรณีที่²มีการเติมหัวเชื้อ

$$\text{BOD}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = \{[\text{DO}_0 - \text{DO}_5] - [\text{B}_0 - \text{B}_5]\} f / P$$

- เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้ว
- DO_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน
- B_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวก่อนโดยหาทันที
- B_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวก่อนโดยหาหลังจากบ่ม 5 วัน
- f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างต่อกลุ่มที่ควบคุม (% หัวเชื้อใน DO_0) / (% หัวเชื้อใน B_0)
- P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

ค-2 การหาค่าซีโอดี (COD)

$$\text{COD (mgO}_2\text{/l)} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง}}$$

- เมื่อ A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรต Blank
- B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง
- M = ความเข้มข้นของ FAS ที่ใช้ไทเทรต (N)

ค-3 การหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = X_i / n$$

- เมื่อ X_i = ค่า TOC, COD, BOD หรือ $\text{UV}_{254\text{nm}}$ ที่หาได้
- n = จำนวนข้อมูลของ TOC, COD, BOD และ $\text{UV}_{254\text{nm}}$

ค-4 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard deviation; SD)

$$\text{SD} = \sqrt{S_{xx} / (n-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-5 การหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Simple linear regression equation)

$$Y = a + bX$$

เมื่อ	Y	=	ค่าของ TOC, COD, BOD และ UV _{254nm} ที่ได้จากการประมาณค่า
	X	=	ค่าของ TOC, COD, BOD และ UV _{254nm} ที่เป็นจริง
	b	=	ความชันของเส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (S_{xy})/ (S_{xx})
	a	=	ค่าของ Y ที่ตัดกับแกน Y (Y-intercept)

ค-6 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; r)

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

ค-7 การหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานส่วนเบี่ยงเบนจากสมการถดถอย (Standard error of the estimate; SEE)

$$SEE = \frac{\sqrt{RESIDUAL \text{ SUM OF SQUARES}}}{n-2}$$

เมื่อ RESIDUAL SUM OF SQUARE = $[\sum (Y - \bar{Y})^2 - b[\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]]$

ค-8 การคำนวณประกอบต่างๆ

$$S_{xy} = \text{Sum of cross product}$$

$$= \sum XY - [(\sum X)(\sum Y) / n]$$

$$S_{xx} = \text{Sum of square X}$$

$$= \sum X^2 - [(\sum X)^2 / n]$$

$$S_{yy} = \text{Sum of square Y}$$

$$= \sum Y^2 - [(\sum Y)^2 / n]$$

$$S_{yx}^2 = \text{Sum square of error (SSE)}$$

$$= \left[\frac{S_{yy} - (S_{xy})^2}{S_{xx}} \right] / n - 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC, COD, BOD, UV_{254nm} ของตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ทราบสูตร โมเลกุล

สารตัวอย่าง			ความเข้มข้น (mgC/L)	Th-OD (mgO ₂ /l)	ค่าที่วิเคราะห์					
ชนิด ของสาร	สูตรโมเลกุล	%C (w/w)			BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)	% Recovery
Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	40	25.00	66.67	56.06	64.72	23.80	23.68	0.08	0.99
			50.00	133.33	90.55	129.36	46.30	45.22	0.08	0.98
			100.00	266.67	162.00	270.00	93.54	91.41	0.08	0.98
			200.00	533.33	376.32	501.76	189.08	184.34	0.09	0.97
			300.00	800.00	550.25	705.60	285.12	277.24	0.09	0.97
Sucrose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	40	25.00	66.67	47.58	67.97	25.10	24.37	0.11	0.97
			50.00	133.33	115.74	135.94	53.27	52.32	0.09	0.98
			100.00	266.67	234.95	278.08	109.89	106.73	0.08	0.97
			200.00	533.33	423.68	504.38	214.27	209.63	0.09	0.98
			300.00	800.00	645.64	802.01	310.95	306.63	0.09	0.99
Methanol	CH ₃ OH	37.5	25.00	100.00	72.76	101.92	22.74	16.49	0.00	0.73
			50.00	200.00	131.51	174.72	43.15	35.55	0.01	0.82
			100.00	400.00	280.15	349.44	96.77	78.07	0.00	0.81
			200.00	800.00	518.15	800.80	180.26	150.19	0.00	0.83
			300.00	1200.00	847.00	1092.00	279.34	235.27	0.00	0.84

สารตัวอย่าง			ความเข้มข้น (mgC/L)	Th-OD (mgO ₂ /l)	ค่าที่วิเคราะห์					
ชนิด ของสาร	สูตรโมเลกุล	%C (w/w)			BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)	% Recovery
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	40	25.00	100.00	70.00	94.64	21.02	18.91	0.00	0.90
			50.00	200.00	138.21	182.00	45.79	38.08	0.01	0.83
			100.00	400.00	230.47	334.88	97.28	78.55	0.00	0.81
			200.00	800.00	501.00	655.20	177.35	154.33	0.01	0.87
			300.00	1200.00	798.12	1019.20	288.64	240.11	0.01	0.83
Iso propanol	C ₃ H ₇ OH	60	25.00	100.00	42.00	81.72	23.30	19.97	0.02	0.86
			50.00	200.00	85.20	160.16	46.94	38.49	0.01	0.82
			100.00	400.00	151.12	371.28	95.93	78.75	0.01	0.82
			200.00	800.00	270.00	773.41	185.97	157.76	0.01	0.85
			300.00	1200.00	450.20	1009.11	289.75	236.06	0.01	0.81
Acetic acid	CH ₃ COOH	40	25.00	66.67	43.73	54.60	26.79	26.40	0.08	0.99
			50.00	133.33	85.71	98.28	52.84	51.49	0.08	0.97
			100.00	266.67	173.16	235.92	120.69	117.74	0.08	0.98
			200.00	533.33	385.06	540.62	222.96	217.34	0.08	0.97
			300.00	800.00	560.80	831.64	350.22	341.44	0.08	0.97

สารตัวอย่าง			ความเข้มข้น (mgC/L)	Th-OD (mgO ₂ /l)	ค่าที่วิเคราะห์					
ชนิด ของสาร	สูตรโมเลกุล	%C (w/w)			BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)	% Recovery
Citric acid	C ₆ H ₈ O ₇	37.5	25.00	50.00	37.88	46.20	21.88	20.79	0.01	0.95
			50.00	100.00	83.18	110.81	41.77	41.45	0.01	0.99
			100.00	200.00	143.95	193.42	84.18	83.03	0.02	0.99
			200.00	400.00	319.81	389.76	178.61	176.68	0.02	0.99
			300.00	600.00	524.80	686.64	274.41	270.63	0.02	0.99
Oxalic acid	(COOH) ₂	26.67	25.00	16.67	9.07	20.59	23.84	22.82	0.08	0.96
			50.00	33.33	24.45	29.79	47.70	45.09	0.08	0.95
			100.00	66.67	55.06	63.04	96.79	93.01	0.08	0.96
			200.00	133.33	84.11	100.09	192.25	188.11	0.08	0.98
			300.00	200.00	120.68	209.03	289.70	282.21	0.08	0.97
Acetone	C ₃ H ₆ O	62.07	25.00	88.89	17.06	78.62	24.98	17.32	0.03	0.69
			50.00	177.78	37.65	144.41	47.64	32.07	0.03	0.67
			100.00	355.56	137.58	274.56	96.91	62.92	0.05	0.65
			200.00	711.11	283.04	686.40	195.95	129.53	0.09	0.66
			300.00	1066.67	304.91	960.96	292.85	185.43	0.06	0.63

สารตัวอย่าง			ความเข้มข้น (mgC/L)	Th-OD (mgO ₂ /l)	ค่าที่วิเคราะห์					
ชนิด ของสาร	สูตรโมเลกุล	%C (w/w)			BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)	% Recovery
Phenol	C ₆ H ₅ OH	76.6	25.00	77.78	30.91	66.66	24.15	22.33	0.24	0.92
			50.00	155.56	69.91	110.54	49.24	46.07	0.40	0.94
			100.00	311.11	99.09	291.37	103.31	98.09	0.72	0.95
			200.00	622.22	212.12	491.25	206.12	196.43	1.50	0.95
			300.00	933.33	250.64	768.35	296.67	281.43	2.87	0.95
Remazol Brilliant Blue	C ₂₂ H ₁₄ N ₂ ⁻ O ₁₁ S ₃ Na ₂	42.31	25.00	65.15	25.52	40.72	22.51	21.24	0.21	0.94
			50.00	130.30	45.76	110.95	45.78	43.81	0.42	0.96
			100.00	260.61	82.76	251.79	94.95	91.20	0.84	0.96
			200.00	521.21	236.20	399.05	193.08	187.84	16.60	0.97
			300.00	781.82	312.00	461.13	288.40	282.24	27.00	0.98
Remazol Brilliant Violet 5F	C ₂₀ H ₁₄ N ₃ ⁻ O ₁₅ Na ₃ Cu	30.13	25.00	59.17	26.15	35.21	15.64	13.57	1.07	0.87
			50.00	118.33	48.15	68.13	24.82	22.13	2.13	0.89
			100.00	236.67	77.74	144.14	59.41	45.23	4.01	0.76
			200.00	473.33	139.00	343.20	106.50	98.09	7.86	0.92
			300.00	946.67	288.94	617.76	154.82	143.65	15.10	0.93

ตารางที่ 2-2 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC, COD, BOD, UV_{254nm} ของน้ำเสียทั้งก่อนและหลังบำบัดจากโรงงานฟอกย้อม

(ครั้งที่) วันที่เก็บ ตัวอย่าง วัน/เดือน/ปี	น้ำเสียก่อนบำบัด					น้ำเสียหลังบำบัด				
	BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)	BOD (mgO ₂ /L)	COD (mgO ₂ /L)	TOC (mgC/L)	NPOC (mgC/L)	UV _{254nm} (AU)
(01) 13/10/2547	51.00	195.10	83.81	79.05	0.785	6.1	44.25	5.74	3.246	0.284
(02) 28/10/2547	50.21	176.53	65.63	61.77	0.73	9.1	47.25	5.39	4.267	0.327
(03) 10/11/2547	45.00	219.00	61.65	57.19	0.597	9.4	43.63	5.19	3.087	0.363
(04) 23/11/2547	45.25	271.65	106.77	101.70	0.842	9.25	39.6	5.09	4.82111	0.301
(05) 09/12/2547	70.47	399.84	190.50	73.71	0.917	14	109.76	12.87	32.32	0.314
(06) 04/01/2548	45.67	262.64	104.83	98.72	0.801	16	74.48	7.81	10.32	0.294
(07) 11/01/2548	43.89	155.43	101.82	98.01	1.021	13	66.34	7.52	6.5772	0.312
(08) 18/01/2548	27.58	45.70	51.20	73.65	1.2	21.95	91.392	15.6	10.1578	0.08
(09) 25/01/2548	35.00	178.56	81.86	89.58	0.812	10	48.21	6.77	8.114	0.168
(10) 08/01/2548	65.00	260.15	137.65	186.10	0.844	6.4	30.09	4.45	3.8312	0.084

ตารางที่ ง-3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำเสียก่อนบำบัดและหลังบำบัดของโรงงานฟอกย้อม

ครั้งที่	น้ำเสียก่อนบำบัด			น้ำเสียหลังบำบัด		
	pH	TDS (mg/l)	Conductivity (μ s/cm)	pH	TDS (mg/l)	Conductivity (μ s/cm)
1	7.29	1090	1682	8.31	1216	1863
2	7.13	1106	1663	8.49	1352	2060
3	7.29	1127	1719	8.42	1409	2150
4	6.90	1293	2160	8.22	1297	2080
5	7.37	1526	2550	9.10	1379	2310
6	7.25	1312	2220	8.54	1594	2660
7	7.31	1436	2050	7.76	1219	2190
8	7.56	1216	2170	7.91	1351	2250
9	7.48	1513	2390	8.49	1405	2410
10	7.80	1092	2110	8.30	1587	2350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของสาร	ค่าคงที่การละลายที่ 25°C (mg/ l)	ค่าคงที่ของเฮนรี (K _H) ที่ 25°C (atm·m ³ / mole)
Glucose	1.2 x 10 ⁶	5.9 x 10 ⁻¹¹
Sucrose	2.1 x 10 ⁶	4.5 x 10 ⁻²²
Acetic acid	1.0 x 10 ⁶	1.0 x 10 ⁻⁷
Citric acid	5.9 x 10 ⁵	8.3 x 10 ⁻¹⁸
Oxalic acid	2.2 x 10 ⁵	1.4 x 10 ⁻¹⁰
Methanol	1.0 x 10 ⁶	4.6 x 10 ⁻⁶
Ethanol	1.0 x 10 ⁶	5.0 x 10 ⁻⁶
Iso-propanol	1.0 x 10 ⁶	8.1 x 10 ⁻⁶
Acetone	1.0 x 10 ⁶	4.0 x 10 ⁻⁵
Phenol	8.3 x 10 ⁴	3.3 x 10 ⁻⁷

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้