

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนา และการทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีไอดีที่เตรียมขึ้น



T107842



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....107842  
วัน,เดือน,ปี..... 14 พ.ค. 2553

b.....12211588  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมีอวิเคราะห์

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Development and validation of prepared COD Test Kit



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

**Bachelor of Science**

**Major in Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ภายใต้งานดูแลเอาใจใส่ในการทำโครงการพิเศษอย่างใกล้ชิด ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ข้อเสนอแนะ ของ ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์ ผศ. พรชยวรรณ ศรีนาค และ อ. ปัทมา ดีพหา วงศ์ ที่เสียสละเวลาในการเป็นกรรมการคุมสอบ และ ให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ซึ่งทำให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วงอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ในโครงการพิเศษ



น.ส. เอี่ยมมล ภูระหงษ์

น.ส. อรทัย โปรยอรุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การพัฒนา และการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบซีไอดีที่เตรียมขึ้น  
นักศึกษา นางสาวเอื้องกมล ภูระหงษ์ 46050778  
นางสาวอรทัย โปรยอรุณ 46050803  
ภาควิชา เคมี  
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรมเครื่องมือวิเคราะห์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.คณิตา ตั้งคณานุรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ. ปัทมาดี พนาวงศ์	
กรรมการ ผศ. พรรษวรรณ ศรีนาค	
กรรมการ ผศ. คณิตา ตั้งคณานุรักษ์	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนา และ การทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีโอดีที่เตรียมขึ้น
นักศึกษา	นางสาว เอื้อกมล ภูระหงษ์ 46050778 นางสาว อรทัย โปรรยอรุณ 46050803
ภาควิชา	เคมี คณะ วิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. คณิตา ตั้งคณานุรักษ์

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนา และทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีโอดีที่เตรียมขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานได้จริง พบว่าชุดตรวจสอบซีโอดีที่เตรียมขึ้นสามารถตรวจวัดค่าซีโอดีในน้ำได้ในช่วง 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่ต้องตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งสีของแผ่นเทียบสีที่ใช้ในการตรวจวัดซีโอดีเป็นส่วนสำคัญ โดยตรงกับความเข้มข้นของซีโอดี ในการทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีโอดีจะใช้สารละลายมาตรฐานซีโอดี และการ spiked sample ตรวจวัดด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี และวิธีรีฟลักซ์แบบปิด เพื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ได้ พบว่าค่าซีโอดีที่ได้จากชุดตรวจสอบและ วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีเท่ากันที่สอดคล้องกัน แต่ค่าซีโอดีที่ได้จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิดมีค่าน้อยกว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีอยู่ประมาณ  $\pm 30$  ต่อหนึ่งผลการทดลองเสมอ จากการคำนวณ t-test และ Horrat พบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่า Horrat ของวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ( $\leq 1.5$ ) รวมถึงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ที่อยู่ในช่วง 98.12-147.50 ดังนั้นทำให้ชุดตรวจสอบซีโอดีที่พัฒนามาจากเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีมีความน่าเชื่อถือตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project title</b>	Development and Validation of prepared COD-test kit
<b>Name</b>	Miss. Euakamon Poorahong 46050778 Miss. Orathai Proyarun 46050803
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Program</b>	Industrial Chemistry - Analytical Instrumentation
<b>Academic Year</b>	2006
<b>Special Project Advisor</b>	Assist.Prof. Kanita Tangkananuruk

### ABSTRACT

This aim of this project was to develop and validate the prepared COD-test kit for real work application. The COD-test kit can detect in range of 0-800 mg/L COD in water without the use of UV-Visible spectrophotometer. The developed color is directly proportional to the concentration to the concentration of COD. For validation of COD-test kit, the COD-standard solution and the spiked sample were determined by UV-Visible spectrophotometry and close reflux method for comparison. The results showed only satisfactory agreement between COD-test kit and UV-Visible spectrophotometry. But COD values from close reflux method always less than from UV-Visible spectrophotometry at  $\pm 30$  mg/L per one value. From t-test and Horrat value showed the difference of UV-Visible spectrophotometry and close reflux method was significant. UV-Visible spectrophotometry method has Horrat value in range acceptance ( $\leq 1.5$ ) and the spiked recoveries were 98.12-117.50 % . Therefore, This COD-test kit developed from the uv-visible spectrophotometry analysis of COD has reliable too.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ .....	ค
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย.....	3
2.2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง.....	4
2.3 การวิเคราะห์ค่าซีโอดี.....	8
2.4 ชุดทดสอบซีโอดี .....	10
2.5 สารละลายมาตรฐานซีโอดี.....	10
2.6 การตรวจสอบความใช้ได้.....	12
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	18
3.2 สารเคมี.....	18
3.3 การเตรียมสารเคมี.....	19
3.4 วิธีการทดลอง.....	21
3.4.1 การเตรียมแผ่นเทียบสีค่าซีโอดีมาตรฐาน และ กราฟมาตรฐาน .....	21
3.4.2 การตรวจวัดซีโอดีในสารละลายมาตรฐานซีโอดีด้วยชุดทดสอบ... ..	22
3.4.3 การตรวจวัดซีโอดีในสารละลายมาตรฐานซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด.....	22
3.4.4 การตรวจวัดซีโอดีในน้ำตัวอย่างด้วยชุดทดสอบ.....	22
3.4.5 การตรวจวัดซีโอดีในน้ำตัวอย่างด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด.....	23
3.4.6 การตรวจวัดซีโอดีในน้ำโดยการ spiked sample ด้วยชุดทดสอบ..	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.7 การตรวจวัดซีโอดีในน้ำโดยการspiked sample วิธีรีฟลักซ์แบบปิด	23
3.4.8 ประเมินผลทางสถิติ.....	24
3.4.8.1 ค่าความถูกต้อง.....	24
3.4.8.2 ความเที่ยง.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	25
4.1 ผลการเตรียมแผ่นเทียบซีโอดี.....	25
4.2 กราฟมาตรฐานค่าซีโอดี.....	26
4.3 ผลการตรวจวัดค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่าง.....	27
4.4 ผลการประเมินผลทางสถิติ.....	29
4.4.1 ผลการหาความถูกต้องของวิธี.....	29
4.4.2 ผลการหาความเที่ยงของวิธี.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	30
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	31
บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณค่าซีโอดีโดยใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิด.....	33
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี.....	34
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในวิธีรีฟลักซ์ปิด.....	41
ภาคผนวก ง ข้อมูลเกี่ยวกับการประเมินทางสถิติ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1 ค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	12
ตารางที่ 4.1 ค่าดูดกลืนแสงและสีที่เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	25
ตารางที่ 4.2 ค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ตรวจวัดได้จากวิธีใช้แผ่นเทียบมาตรฐาน วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิธีรีฟลักซ์แบบปิด.....	27
ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทำกราฟมาตรฐานซีโอดี.....	34
ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดลองด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี.....	35
ตารางที่ ค-1 แสดงผลการทดลองด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด.....	41
ตารางที่ ง-1 แสดงผลการทดลองการประเมินผลทางสถิติ เพื่อการหาความเที่ยงและความแม่นยำของวิธีของน้ำตัวอย่าง.....	47
ตารางที่ ง-2 ค่า $t$ ที่ได้จากการคำนวณหาความแม่นยำของวิธี.....	48
ตารางที่ ง-3 ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Repeatability.....	50
ตารางที่ ง-4 ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Reproducibility.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.2 แผ่นเทียบสีมาตรฐานที่ได้จากการพัฒนาทำชุดเทียบสี.....	26
รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานสารละลายซีไอดี.....	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันมีปริมาณน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือน แหล่งชุมชนและภาคอุตสาหกรรม มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งจำนวนมากที่ต้องปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ หากน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมไม่ผ่านกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม ไม่มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดไว้จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและเกิดผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ

คุณลักษณะของน้ำเสียชุมชนและบ้านเรือนมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนเป็นส่วนประกอบของน้ำเสียอยู่มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ หากมีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำมากขึ้นส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่ใช้ในปัจจุบันมีสองวิธีคือ การหาค่าบีโอดีและการหาค่าซีโอดี ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวคือการวิเคราะห์จะต้องใช้เวลานาน และจะต้องมีการเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการดังนั้น ตัวอย่างของน้ำที่ทำการเก็บมาจากสถานที่จริงนั้นจะใช้เวลาานกว่าจะมาถึงห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ ทำให้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวอย่างน้ำที่เก็บมาทำการวิเคราะห์อาจทำให้ค่าซีโอดีที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน

ได้มีงานวิจัยของ พงษ์เสริฐ และคณะ, 2548 ได้เตรียมชุดทดสอบซีโอดีขึ้น ซึ่งใช้งานได้ง่าย สะดวก ลดขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์ แต่ยังไม่มีการตรวจสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบ คณะผู้วิจัยจึงจะทำการทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบซีโอดีนี้ เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของการนำชุดซีโอดีไปใช้งานได้จริง

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมชุดทดสอบค่าซีโอดีในน้ำเสียและทดสอบความใช้ได้ของชุดทดสอบค่าซีโอดี
2. เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของชุดทดสอบค่าซีโอดีโดยการเทียบกับวิธีวิเคราะห์ซีโอดีมาตรฐาน
3. เพื่อประเมินความเที่ยงและความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ซีโอดีของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เตรียมชุดทดสอบซีไอดี และ เพิ่มช่วงค่าซีไอดีจากชุดทดสอบเดิม
2. ทดสอบชุดทดสอบซีไอดีกับสารละลายมาตรฐานซีไอดีที่ความเข้มข้นต่างๆ
3. นำชุดทดสอบซีไอดีที่เตรียมได้ไปตรวจวัดกับตัวอย่างน้ำเสียจริง โดยวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างซ้ำอย่างน้อย 6 ครั้ง
4. ตรวจสอบค่าซีไอดีของตัวอย่างน้ำเสียด้วยวิธีมาตรฐาน
5. ประเมินข้อมูลโดยใช้หลักทางสถิติ
6. สรุปผลและทำรายงาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดทดสอบค่าซีไอดีที่ผ่านการทดสอบความใช้ได้
2. สามารถนำผลงานวิจัยมาใช้อ้างอิงในการเลือกใช้ชุดทดสอบค่าซีไอดีในการตรวจวัด
3. เพื่อยืนยันความถูกต้องและความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ ซีไอดีด้วยชุดทดสอบซีไอดีที่เตรียมขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย

น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ใช้แล้วจากกิจกรรมต่างๆ อาจมีความสกปรกมาก หรือน้อย และจะประกอบด้วยสารเคมี สารอินทรีย์ หรือจุลชีพชนิดต่างๆ แล้วแต่ประเภทของกิจกรรมที่ทำให้เกิดน้ำทิ้งหรือน้ำเสียนั้นๆ เมื่อปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมย่อมก่อให้เกิดปัญหาต่อดินและแหล่งน้ำ ทั้งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน น้ำทิ้งมีแหล่งที่มาสำคัญ ๆ 3 แหล่งคือ น้ำทิ้งจากชุมชนบ้านเรือน, น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ และน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้สารเคมี น้ำทิ้งจากชุมชนมีปริมาณมาก แต่มีค่าความสกปรกน้อยกว่าน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม ส่วนน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมจะถูกปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างๆ รวมทั้งปุ๋ยชนิดต่างๆ ทั้งปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี เมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำจะก่อปัญหามลพิษในแหล่งน้ำรวมทั้งมลพิษในดินที่รองรับน้ำทิ้ง

##### 2.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

โดยทั่วไปแล้วแบ่งแหล่งกำเนิดของน้ำเสียได้ 3 แหล่ง คือ

##### 1. น้ำเสียจากชุมชน

เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชยกรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ความสกปรกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการธรรมชาติ

##### 2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปใช้น้ำในปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน น้ำที่ใช้ทำความสะอาด เครื่องมือและพื้นที่ในโรงงาน และน้ำทิ้งจากโรงงาน จะเป็นน้ำเสียไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง บางโรงงานอาจมีวัสดุเหลือจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภทปนไปกับน้ำทิ้งทั้งหมดนี้ เป็นเหตุให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่า สังกัดเหม็น มีสารพิษปะปนอยู่กลายเป็นมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น

น้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมก็มีส่วนทำความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม หากใช้น้ำมันโดยขาดความระมัดระวัง เช่น การเทน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วลงน้ำ ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงแม่น้ำลำคลองเช่นนี้ จะมีคราบน้ำมันลอยเป็นฝ้า ทำให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถจะละลายลงไปในน้ำ มีผลทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำขาดออกซิเจน ยิ่งกว่านั้นถ้ามีคราบน้ำมันคลุมผิวพื้นน้ำ แสงแดดส่องลอดลงไปได้ไม่เต็มที่ ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชในน้ำบางชนิดไม่สามารถสร้างอาหารและเจริญเติบโต แล้วยังมีผลเสียต่อเนื่องทำให้สัตว์ในน้ำตายด้วย เพราะพืชเล็ก ๆ ในน้ำ ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์ตายเพราะน้ำเสีย

### 3. น้ำเสียจากการเกษตร

ในการเพาะปลูกปัจจุบันนี้ เกษตรกรใช้สารเคมีมากขึ้น เช่น ปุ๋ย สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งบางชนิดสลายตัวยาก สารอาจจะตกค้างอยู่ตามพืชผักผลไม้ ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค และบางส่วนอาจจะกระจายอยู่ตามพื้นดิน เมื่อฝนตกน้ำฝนจะชะล้างสิ่งเหล่านี้ลงแม่น้ำลำคลอง เป็นเหตุให้กุ้ง ปลา หอย ปู และสัตว์น้ำอื่น ๆ เป็นอันตรายถึงตายได้ ถ้าสัตว์น้ำได้รับสารเคมีบางชนิดในปริมาณไม่มาก ก็อาจจะสะสมอยู่ในตัวสัตว์ เมื่อคนจับสัตว์น้ำเหล่านี้มาทำอาหาร สารเคมีนั้นก็เข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายของคนอีกทอดหนึ่ง และบริเวณเพาะปลูกอาจมีมูลสัตว์ปนอยู่ เมื่อฝนตกหรือเมื่อใช้น้ำรดพืชผักผลไม้ น้ำก็จะชะล้างสิ่งปฏิกูล คือมูลสัตว์นี้ลงสู่แม่น้ำลำคลอง ในมูลสัตว์อาจมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่ เป็นเหตุให้ผู้ใช้แม่น้ำลำคลอง ได้รับเชื้อโรคจากสิ่งปฏิกูลนั้นได้

#### 2.1.2 ลักษณะและสมบัติน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ

1. ลักษณะทางกายภาพ (Physicals Characteristics) ลักษณะทางกายภาพได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ ของแข็งต่าง ๆ ความขุ่น และความหนาแน่น เป็นต้น
2. ลักษณะทางเคมี (Chemicals Characteristics) ซึ่งได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง สารอินทรีย์ ไนโตรเจน สารซักฟอก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก เป็นต้น
3. ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics) จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมียุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย 95 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นก็จะเป็น รา สาหร่าย และ โปรโตซัว

### 2.2 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง

จะต้องเริ่มด้วยการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ตามหลักวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง เพื่อให้ได้น้ำที่เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากแหล่งนั้นจริงๆ หรือเก็บตามวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน เสร็จแล้วต้องเก็บรักษาไม่ให้น้ำเปลี่ยนแปลงจนถึงห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ การตรวจวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่บ่งบอกคุณภาพน้ำทิ้ง ได้แก่

#### 2.2.1. pH หรือความเป็นกรด-ด่าง

pH คือ สิ่งซึ่งบอกสภาพความเป็นกรดหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน  $[H^+]$  และสิ่งซึ่งบอกความเป็นด่างหรือเบส หรือความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน  $[OH^+]$

pH ต่ำกว่า 7 สารละลายนั้น เป็นกรด

pH เท่ากับ 7 สารละลายนั้น เป็นกลาง หรือ สะเทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pH มากกว่า 7 สารละลายนั้น เป็นด่าง

สภาพความเป็นกรด ด่างของน้ำทิ้งมีผลต่อการบำบัด เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำและสามารถย่อยสลายความสกปรกในน้ำได้นั้น จะเจริญได้ดีในสภาพที่ pH เป็นกลาง ถ้าน้ำทิ้งมีสภาพไม่เป็นกลางและจุลินทรีย์เหล่านี้ตายลดจำนวนลง น้ำทิ้งจะไม่ถูกย่อยสลายและคงความสกปรกไว้ก่อปัญหาอย่างอื่นต่อไปอีก การถ่ายเทน้ำทิ้งที่มีค่า pH ไม่เป็นกลางลงในแหล่งน้ำ ทำให้สัตว์น้ำส่วนมากที่ต้องอาศัยในน้ำที่เป็นกลาง คือ pH อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 อาศัยอยู่ไม่ได้ นอกจากนั้น ยังมีผลต่อความสมดุลของแร่ธาตุต่างๆด้วย นอกจากนี้ ในกรณีของดินที่เป็นรองรับน้ำทิ้ง สภาพความเป็นกลางที่เหมาะสมของดิน ทำให้แบคทีเรียที่ใช้ในโตรเจนซึ่งมีประโยชน์ต่อพืชทำงานได้ดีขึ้น เป็นผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเพาะปลูก น้ำทิ้งตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าความเป็นกรด ด่าง หรือ pH อยู่ระหว่าง 5.5 - 9.0

### 2.2.2. ของแข็งละลายและของแข็งแขวนลอย

ของแข็งเหล่านี้ได้แก่ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ปริมาณสารเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความสกปรก จากการละลาย การชะล้างหรือปนเปื้อนลงในน้ำ ของแข็งละลายน้ำไม่สามารถมองเห็นได้ ของแข็งแขวนลอย มองเห็นคล้ายความขุ่น อาจมีสภาพเป็นคอลลอยด์ คือสารที่ไม่ตกตะกอน ก็ได้ ปริมาณของแข็งเหล่านี้ใช้เป็นสิ่งชี้บอกความเข้มข้นของน้ำสกปรกได้เป็นอย่างดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยใช้บอกประสิทธิภาพของระบบบำบัด และยังใช้บอกความสกปรกของลำธารด้วย

### 2.2.3. สารโลหะหนัก

สารโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม สารหนู และปรอท เหล็ก และแมงกานีส ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมาก แต่จะทำให้ น้ำขุ่นมีสีน้ำตาลแดง ถ้ามีในน้ำดื่มทำให้มีรสฝืด ทองแดง สังกะสี เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย และไม่เป็นพิษในปริมาณต่ำ และทำให้น้ำดื่มมีรสไม่ดีเช่นเดียวกัน หากมีสังกะสีในน้ำมากจะทำให้มีลักษณะเหมือนน้ำนม ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม สารหนู และปรอท ถือเป็นธาตุพิษ เกิดจากโรงถลุงแร่ โรงงานอุตสาหกรรม ไอเสียจากการจราจร และอื่นๆ เช่น โรงงานผลิตโซดาไฟที่ประเทศญี่ปุ่น ปล่อยสารปรอทลงสู่แหล่งน้ำ เกิดสะสมในน้ำทะเลและสัตว์ทะเล ประชาชนที่บริโภคปลาและสัตว์ทะเลต่างๆ เกิดอาการป่วยด้วยโรคพิษสารปรอท หรือ โรคมินามาตะ มีอาการเป็นอัมพาต แขนขาลีบ กระดูก เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก หรือตัวอย่างการเกิด โรคอิไต อิไต จากการปนเปื้อนของสารแคดเมียมจากโรงถลุงแร่ในประเทศญี่ปุ่น ทำให้ประชาชนป่วยมีอาการ ไตล้มเหลว กระดูกผิดรูป และปวดกระดูก

ในอุตสาหกรรมผลิตสี พบการปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียม ปรอทและสังกะสี ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของการปนเปื้อนธาตุพิษสู่สิ่งแวดล้อม ทั้ง ดิน และน้ำ ทำให้พืช และสัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้รับธาตุพิษจากการดูดซึมและกินเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่วนต่างๆของพืชและสัตว์ ตารางข้างล่างนี้แสดงตัวเลขเปรียบเทียบปริมาณธาตุพิษในดินที่ใช้  
ทิ้งของเสียบกับดินธรรมดา (หน่วย: ส่วนในล้านส่วน)

การใช้ดิน ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี

ดินที่ใช้ทิ้งของเสีย 88 26 0.6 680

ดินธรรมดา 3 0.5 0.1 3

ธาตุเหล่านี้เป็นอันตรายสูงต่อร่างกาย เมื่อได้รับแม้เพียงปริมาณน้อยจากการกินพืชและ  
สัตว์ที่สะสมธาตุพิษไว้ จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาท และอวัยวะของร่างกายหลายส่วน ทั้งยัง  
เป็นสารก่อมะเร็งด้วย

#### 2.2.4. ปริมาณความสกปรกในรูป บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนอิสระที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ใช้เป็น  
ดัชนีชี้วัดความสกปรกของแหล่งน้ำ และน้ำทิ้งที่สำคัญมาก ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ใช้สำหรับ  
การดำรงชีวิตของพืชน้ำและสัตว์น้ำ ถ้ามีปริมาณน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์น้ำจะดำรงชีวิตอยู่  
ไม่ได้ เกิดเหตุการณ์ปลาตายลอยเป็นแพ การที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงไป มีสาเหตุหลาย  
ประการ สาเหตุหลักได้แก่ การมีกากของเสียซึ่งที่เป็นสารอินทรีย์ปริมาณมาก กากของเสียเหล่านี้มีจุ  
ลินทรีย์ในน้ำชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ทำงานมาก  
ปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงลดลงอย่างรวดเร็ว กากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์มาจากน้ำทิ้งจาก  
ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานกระดาษ โรงงานน้ำตาล เป็นต้น  
นอกจากนี้อาจมีสารอินทรีย์อยู่บ้าง

การบอกปริมาณของสารอินทรีย์เหล่านี้ในน้ำมีความสำคัญต่อการพิจารณาคุณภาพน้ำ ซึ่ง  
นิยมใช้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของน้ำเป็นหลัก เรียกว่า ค่าบีโอดี ซึ่งสัมพันธ์กับ  
ปริมาณของกากสารอินทรีย์ ค่า บีโอดี ระบุให้ทราบว่ามีการใช้ออกซิเจนไปมากน้อยเพียงใด  
ระหว่างปฏิกิริยาการย่อยสลาย หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าบีโอดี วัดได้จากปริมาณความ  
แตกต่างของออกซิเจนในน้ำที่เก็บไว้ 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นิยมเขียนในรูป  
BOD<sub>5</sub> เมื่อระบายน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงลงในดิน และ แหล่งน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ  
ทั้งผิวดินและใต้ดินลดลง เพราะจุลินทรีย์ต้องทำงานหนักในการย่อยสลายสารเหล่านี้ จึงใช้  
ออกซิเจนไปในปริมาณมาก จนน้ำเกิดภาวะเน่าเสีย เนื่องจากเมื่อออกซิเจนหมดไป จุลินทรีย์อีก  
ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะทำงานมากขึ้น การย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดเป็น  
สารและก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นและมีสีดำ เป็นสาเหตุของการเน่าเสียในแหล่งน้ำ

น้ำบริสุทธ์มีค่าบีโอดี เป็น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 (การจัดประเภท  
แหล่งน้ำตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2537 แบ่งประเภทแหล่งน้ำเป็น 5  
ประเภท ประเภทที่ 1 ดีที่สุด จนถึงประเภทที่ 5 เลวที่สุด คือใช้ในการคมนาคมเท่านั้น ประเภทที่ 2  
- 4 ใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ แต่ต้องมีการปรับปรุงธรรมดา จนถึงปรับปรุงเป็นพิเศษ) กำหนดให้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งน้ำมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประเภทที่ 3 มีค่าบีโอดี ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ประเภทที่ 4 ค่าบีโอดี ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำที่ตามมาตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมต้องมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลกระทบอีกประการหนึ่ง ของการทิ้งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงลงแหล่งน้ำ คือการเกิด การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และ ฟอสเฟต ซึ่งเป็น สารอาหารของพืชน้ำ ทำให้เกิดการแพร่พันธุ์ของพืชเพิ่มจำนวนมาก มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากในเวลากลางคืนพืชเหล่านี้จะหายใจใช้ออกซิเจนในน้ำจำนวนมาก ทำให้ปลาและสัตว์น้ำมี ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต และหายใจตายได้

#### 2.2.5. ปริมาณ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

ซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำสารเคมี ที่ใช้เป็นตัวออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตัวเดิมออกซิเจน อย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังสมการ



จากปริมาณตัวเดิมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้

ซีโอดี มีความหมายคล้ายบีโอดี โดยมีความแตกต่างอยู่ที่วิธีการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีหาบีโอดีเป็นวิธีเลียนแบบธรรมชาติ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 5 วัน ซึ่งนานเกินไปและไม่สามารถใช้ ประโยชน์ได้ทันกาล เช่น ในกรณีเกิดการร้องเรียน จึงได้มีการพัฒนาวิธีหา ซีโอดี ซึ่งใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง ในระหว่างการหาซีโอดี สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดย ไม่เกี่ยงว่าสารอินทรีย์สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีเพียงใด เช่น กลูโคส (ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้ง่าย) และลิกนิน (ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้ยากมาก และมีปนเปื้อนจำนวนมากในน้ำทิ้งจาก อุตสาหกรรมกระดาษ) จะถูกออกซิไดส์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้ ค่าซีโอดี จึงสูงกว่าค่าบีโอดี ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีค่าซีโอดี ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และการหาค่าซีโอดีก็เป็นวิธีที่นิยมวัดคุณภาพน้ำทิ้งมากที่สุด

#### ประโยชน์และข้อดีของซีโอดี

1. ทราบผลได้ในเวลาอันรวดเร็วประมาณ 3 ชั่วโมง ดังนั้นค่าซีโอดีจึงนิยมใช้มากในการ วิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทางโรงงานสามารถหาหนทางแก้ไขปัญหาที่ เกิดขึ้นได้ทันทีในขณะที่การหาค่าบีโอดีต้องใช้เวลาถึง 5 วัน
2. ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และ แน่นอนกว่าค่าบีโอดี เนื่องจากมีตัวแปรผันน้อย
3. สะดวก รวดเร็ว เหมาะสม สำหรับงานประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารพิษในน้ำเสียไม่ชัดเจนในการหาค่าซีโอดี ดังนั้นจึงสามารถประเมินหาค่าซีโอดีในน้ำที่มีสารพิษได้
5. ใช้บอกความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือบ้านเรือนได้
6. ผลการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าซีโอดี สามารถบอกได้ว่าน้ำนั้นมีสารพิษอีกหรือไม่
7. ถ้าใช้พิจารณาร่วมกับค่าบีโอดี ทำให้บอกได้ว่าน้ำเสียมีแนวโน้มในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากหรือง่ายเพียงใด
8. ใช้ในการประเมินบีโอดีอย่างคร่าวๆ ถ้ารู้แหล่งกำเนิดหรือที่มาของน้ำตัวอย่าง
9. เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย และการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

### 2.3 การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

การวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีหลายวิธีเช่น

1. วิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux)
2. วิธีการรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux)
3. วิธีการวิเคราะห์ด้วยการย่อย และ ใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิทรี

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความใช้ได้ของชุดทดสอบซีโอดีเปรียบเทียบกับวิธีรีฟลักซ์แบบปิด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจะขอกล่าวถึงเพียงวิธีการรีฟลักซ์แบบปิด

หลักการของการวิเคราะห์โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิดนั้นเหมือนกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิดต่างกันตรงที่วิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ หลักการคือใช้ตัวเติมออกซิเจนโพแทสเซียมไดโครเมตในน้ำเสียที่ทราบปริมาณสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่แน่นอนและเติมในปริมาณที่เกินพอในสถานะที่เป็นกรดอย่างแรงและอุณหภูมิสูงโดยใช้ซิลเวอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



โดยให้  $d=2n/2+a/6-b/3-c/2$

จากนั้นไทเทรตหาปริมาณสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่มากเกินพอด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ที่จุดยุติจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำตาลอมแดง ดังแสดงในสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อผิดพลาด และ วิธีแก้ไข

1. สารอินทรีย์บางชนิดไม่สามารถถูกออกซิไดส์โดยสาร โพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งทำให้ค่าที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้ซิลเวอร์ซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีคลอไรด์ปะปนจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากคลอไรด์เป็นตัวไปลดออกซิเจน โดยจะไปรีดิวซ์โพแทสเซียมไดโครเมต ดังสมการ



สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยการเติมเมอร์คิวริกซัลเฟตในน้ำตัวอย่างก่อนเติมน้ำยาเคมีตัวอื่น โดยเมอร์คิวริกซัลเฟตจะรวมกับคลอไรด์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเมอร์คิวริกคลอไรด์ ดังสมการ



3. ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีการปะปนด้วยไนไตรต์ในปริมาณมากๆ จะทำให้ทำปฏิกิริยากับไดโครเมตได้เป็นไนเตรตทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง สามารถแก้ไขได้โดยเติมกรดซัลฟามิกในสารละลายไดโครเมต ดังสมการ



### การรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดี

1. วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทันที
2. ตัวอย่างน้ำที่มีของแข็งแขวนตัวปะปนมากๆ ต้องเขย่าหรือกวน
3. ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที ให้เก็บรักษาโดยใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำเสียหรือปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 2
4. กรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นมากให้ทำการเจือจางเสียก่อนจึงทำการวิเคราะห์

### ข้อดีของการวิเคราะห์โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

1. ประหยัดสารเคมี
2. สะดวกและสามารถทำได้โดยง่ายเหมาะสมสำหรับงานประจำ
3. สามารถลดผลกระทบที่มีต่อสภาพแวดล้อม

### ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ค่าซีไอดี เช่น

1. ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน
2. เครื่องมือที่ใช้มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก
4. มีขั้นตอนการเตรียมสารหลายขั้นตอน
5. การใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในการวัดค่าซีโอดีที่ใช้ถ่านเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อย่างมาก
6. ไม่สามารถพกพาไปนอกสถานที่ได้
7. มีราคาแพง

## 2.4 ชุดทดสอบซีโอดี

เป็นชุดทดสอบค่าซีโอดีที่ได้มีการทำการวิจัย (พงษ์เสรีฐ และคณะ, 2548) เพื่อลดการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ หรือไม่ต้องใช้การไทเทรตให้เสียเวลา และ ทำได้ง่าย โดยการทำการชุดตรวจสอบจะเป็นแผ่นเทียบสี โดยใช้สารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเตรียมขึ้นในช่วงความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีสีแตกต่างกัน โดยสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเกิดสีของโครเมียม (VI) และ โครเมียม (III) ที่ให้สีแตกต่างกันไป

## 2.5 สารมาตรฐานซีโอดี

สารประกอบที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานสำหรับตรวจวิเคราะห์ และ การดำเนินการวิเคราะห์ นั่นคือ โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate) เมื่อนำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตมาทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไดโครเมตตามวิธีการหาค่าซีโอดี โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตจะถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ตามทฤษฎีได้ ผลิตภัณฑ์คือ โพแทสเซียมออกไซด์ น้ำ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์จะได้ดังสมการ



จากสมการ โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต จำนวน 2 โมล จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจำนวน 15 โมล แต่โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 204.1 กรัมต่อมอล และออกซิเจนมีมวลเท่ากับ 32 กรัมต่อมอล

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตหนัก } 2 \times 204.1 \text{ กรัม จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน} \\ = (15 \times 32)/(2 \times 204.1) = 1.167 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โพลีเอทิลีนไฮดรอกซีเจนพาทาลิต มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1.167 กรัมออกซิเจน ( $O_2$ ) ต่อกรัม นั่นคือ เมื่อชั่งโพลีเอทิลีนไฮดรอกซีเจนพาทาลิตหนัก 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 1 ลิตร จะทำให้สารละลายนี้มีค่าซีไอดี เท่ากับ 1167 มิลลิกรัมต่อลิตร

### อินดิเคเตอร์

ดังได้กล่าวแล้วว่าปริมาณไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถวัดได้โดยการไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ไอออนเฟอร์รัสจะทำปฏิกิริยากับไดโครเมตก่อนจนกระทั่งไม่มีไดโครเมตเหลืออยู่ จุดสุดท้ายของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเมื่อไดโครเมตทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นโครมิก เฟอร์ไรต์เป็นอินดิเคเตอร์ที่ใช้บอกถึงจุดยุติของปฏิกิริยาดังกล่าวได้ดีมาก เนื่องจากเฟอร์ไรต์จะทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสได้สารประกอบที่มีสีน้ำตาลแดงชัดเจน เฟอร์รัสจึงจะทำปฏิกิริยากับเฟอร์ไรต์ทำให้เกิดสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงถึงจุดยุติของปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์รัสและไดโครเมตเป็นแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน การบอกจุดยุติของปฏิกิริยาจึงอาจทำได้โดยใช้ค่า (ORP) อนึ่งเนื่องจากการใช้เฟอร์ไรต์เป็นอินดิเคเตอร์ให้ความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงนิยมใช้มากกว่าค่า (ORP) ในการแสดงจุดยุติของปฏิกิริยา

### การเก็บตัวอย่าง

ควรเก็บตัวอย่างในขวดแก้วเก็บตัวอย่างและการทำการวิเคราะห์หาซีไอดีในทันทีหากไม่สามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้ทันที ให้เก็บรักษาตัวอย่างโดยทำให้ตัวอย่างเป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. Sulfuric Acid) โดยให้ตัวอย่างมีค่าเป็นกรดค่า (pH Value) ไม่เกิน 2 ก่อนทำการวิเคราะห์ควรผสมตัวอย่างให้ตะกอนและน้ำผสมกันอย่างดีโดยใช้เครื่องกวนผสม (Homoginzer) ทั้งนี้เพื่อให้การปั่นน้ำตัวอย่างจากขวดเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นตัวแทนของน้ำตัวอย่างที่เก็บมา ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีค่าซีไอดีสูงควรทำการเจือจางตัวอย่างก่อนมาทำการวิเคราะห์ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดในการปั่นตัวอย่างในปริมาณน้อย

ค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 2.1 ค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง

พารามิเตอร์	ความยาวคลื่น (nm)	สารเคมี	ทิวเวตต์	ช่วงความเข้มข้น
COD	600	ไดโครเมต/ ซัลฟิวริก	16 mm Ø	0-800 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การตรวจสอบความใช้ได้ (Method validation)

การตรวจสอบความใช้ได้ คือ การยืนยันโดยการตรวจสอบ และจัดทำหลักฐานที่เป็นรูปธรรม เพื่อแสดงว่าข้อกำหนดพิเศษต่างๆ สำหรับการใช้ตามที่ตั้งใจไว้โดยเฉพาะ สามารถบรรลุผลได้ครบถ้วนและเป็นไปตามข้อกำหนด เป็นกระบวนการที่ห้องปฏิบัติการอาจกำหนดขึ้นมา เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี วิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป วิธีที่เสนอโดยลูกค้า วิธีที่หน่วยงานวิจัยพัฒนาขึ้นมา วิธีที่ห้องปฏิบัติการคิดขึ้นมาโดยอ้างอิงวิธีเดิมที่มีอยู่แล้ว (based on an existing method) หรือ เป็นวิธีใหม่ (a novel method for the laboratory)

### 2.6.1 วิธีการควบคุมคุณภาพ โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมต่างๆ ต่อไปนี้

2.6.1.1 การวิเคราะห์สารอ้างอิงที่ได้รับการรับรอง (Certified Reference Material, CRM) หรือสารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Material, SRM) ที่ได้รับการรับรองจาก The National Institute of Standard and Technology (NIST)

2.6.1.2 การตรวจเช็คคุณภาพของสารมาตรฐาน (QC check stand, Instrument check standard)

2.6.1.3 การวิเคราะห์หรือเจเนตต์แบลนค์ หรือเบลนค์ของวิธีทดสอบ (reagent blank or method blank)

2.6.1.4 การวิเคราะห์ spiked sample หรือการหา % recovery ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตลอดช่วงใช้งาน

2.6.1.5 การวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกัน (duplicate analysis pair)

2.6.1.6 การทดสอบหรือประเมินวิธีวิเคราะห์ โดยทำกับตัวอย่างควบคุม

2.6.1.7 การตรวจสอบสมรรถนะ (performance) ของเครื่องมือ

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียงการทดสอบหรือการประเมินวิธีวิเคราะห์ โดยทำกับตัวอย่างควบคุม โดยการทดสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์ (Method validation) คือ การยืนยัน โดยการทดสอบและมีหลักฐานแสดงว่าวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะเป้าหมายของการทดสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์ คือ

### 2.6.2 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ จะมีอยู่ 8 ขั้นตอนคือ

#### 2.6.2.1 วัด Precision (ความเที่ยง)

ตรวจสอบว่าการวัดแต่ละครั้งนั้นให้ค่าใกล้เคียงเพียงใด เมื่อทดลองตัวอย่างเดียวกันซ้ำๆ กัน ภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยรายงานเป็นค่า Reproducibility เมื่อใช้ตัวอย่างซ้ำๆ กัน ซึ่งส่วนใหญ่จะรายงานผลความแม่นยำเป็นเปอร์เซ็นต์ร้อยละของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ เปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.2.2 วัด accuracy (ความแม่นยำ)

บอกถึงว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ ห่างไปจากค่าที่เป็นจริงเท่าใด ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีสารมาตรฐานอ้างอิงที่ทราบความเข้มข้นแล้วนำสารมาตรฐานอ้างอิง นั้นมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ อีกวิธีหนึ่งสามารถทำได้คือ การเปรียบเทียบความชันของกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกับความชันกราฟของตัวอย่างที่ทำ Standard addition method และดูว่าค่าความชันกราฟของเส้นกราฟทั้งสอง ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

### 2.6.2.3 Limit of detection

หมายถึงความเข้มข้นต่ำสุดที่เราสามารถวัดสารนั้นได้โดยดูค่าสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวนด้วยความเชื่อมั่นทางสถิติ โดย Limit of detection อาจหมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่จะวิเคราะห์ โดยที่ระดับความเข้มข้นนี้แยกสัญญาณของสารให้ต่างออกจาก Background ได้

### 2.6.2.4 Limit of Quantization

คือ ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่เราสามารถวัดวิเคราะห์สารนั้นได้โดยมีความมั่นใจระดับหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงคล่ และสามารถรายงานผลได้อย่างถูกต้อง

### 2.6.2.5 Selectivity

คือ ความสามารถที่จะวัดสารนั้นๆ ในตัวอย่างอย่างถูกต้อง ในเมื่อตัวอย่างอาจมีส่วนประกอบอื่นรวมอยู่ด้วย ทั้งนี้หมายถึงว่า สารที่เราจะวิเคราะห์จะต้องแยกความแตกต่างออกได้จากสารอื่นๆ ที่คล้ายกัน หรือสารปนเปื้อนที่มีในตัวอย่าง ซึ่งผู้วิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่มี การรบกวนจากสารอื่นนั่นเองการทำ Selectivity นั้น อาจทำได้หลายแบบเช่น การวัด resolution (R) ระหว่างสารที่เราวิเคราะห์กับสารปนเปื้อน

### 2.6.2.6 Range

คือ ช่วงค่าความเข้มข้นต่ำสุด และ สูงสุดของสารที่ได้ Calibrate ไว้โดยบอกเป็นหน่วยของความเข้มข้นสารที่จะวัด

### 2.6.2.7 Linearity

เป็นการแสดงให้เห็นว่า ช่วงค่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์สัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

### 2.6.2.8 Ruggedness

คือ ความสามารถของวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างภายใต้สภาวะที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความดัน บรรยากาศ สารเคมี สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ชนิด และ ความเข้มข้นของตัวทำละลาย ปริมาณตัวอย่าง เวลาที่ใช้กวนสารละลาย เป็นต้น

ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงวิธีการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับวิธีตรวจวัดค่าซีไอดีนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. วัด Precision (ความเที่ยง)

การวิเคราะห์ความเที่ยงเป็นการตรวจสอบความสามารถของกระบวนการวิเคราะห์ แยก ออกเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจสอบความแม่นยำในการเตรียมสาร และความแม่นยำของเครื่องมือ วิเคราะห์ในการวัดแบ่งออกเป็น

- 1.1 วิเคราะห์สารตัวอย่างหรือแบลงค์ต่างๆ ในช่วงที่สนใจหรือใช้
- 1.2 วิเคราะห์ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ (ไม่น้อยกว่า 7 ซ้ำ)
- 1.3 คำนวณค่าความเบี่ยงเบนสัมพัทธ์แต่ละความเข้มข้น

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100$$

1.4 ประเมินว่าความแม่นยำนี้ยอมรับได้หรือไม่ โดยใช้ F-test หรือ Horwitz equation (Horwitz trumpet) คือ

$$RSD_R = 2^{(1-0.5 \log C)}$$

$$RSD_p = 0.66 \times 2^{(1-0.5 \log C)}$$

โดย C คือ Concentration ratio

นำค่า RSD ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่า RSD<sub>R</sub> ที่คำนวณได้จาก สมการของ Horwitz ข้างต้น โดยคำนวณหาค่า Horwitz's Ratio หรือ Horrat

$$\text{Horrat} = \frac{\text{Experimental RSD}}{\text{Predicted RSD}}$$

โดยค่า Horrat อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ  $\leq 2$  (Horwitz et.al, 1980 และ AOAC International, 2002)

## 2. วิธีที่วิเคราะห์ได้ผลที่แม่นยำ (accuracy)

การตรวจสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy หรือ Trueness) คือ การตรวจสอบ ความใกล้เคียงของผลการวิเคราะห์กับค่าจริงหรือค่าที่ยอมรับได้ของการวัด

### 2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำ

**2.1.1 Systematic Error** คือ ความคลาดเคลื่อนที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างจากค่าจริง หรือค่าที่ยอมรับซึ่งสิ่งที่สังเกตได้คือทุกข้อมูลจะมากหรือน้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็นในทิศทาง เดียวกันสามารถเกิดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.1 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด (Instrumental error)

2.1.1.1.1 เครื่องมือวัด ไม่ได้มาตรฐานหรือไม่ได้รับการสอบเทียบ (calibration)

2.1.1.1.2 เครื่องมือวัดถูกใช้ในสถานะที่ไม่เหมาะสม มีการปนเปื้อนหรือสูญหายจากภาชนะ หรือ มีความไวต่อสภาวะแวดล้อมขณะวัด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น พลังงานไฟฟ้า

**แก้ไข:** ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

### 2.1.1.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวิธีการวัด (Method error)

2.1.1.2.1 ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาและรีเอเจนต์ ความเฉพาะเจาะจงของรีเอเจนต์ปฏิกิริยาข้างเคียง ความไวของปฏิกิริยา ความคงตัวของสาร

### 2.1.1.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้วัด (Personal error)

2.1.1.3.1 การตัดสินใจ การดูสี การอ่านค่าตัวเลข bias prejudice

**แก้ไข:** การฝึกฝนปรับปรุงให้เกิดน้อยที่สุดนอกจากนี้ Systematic Error ยัง

รวมถึง

### 2.1.1.4 ความคลาดเคลื่อนคงที่ ไม่ขึ้นกับขนาดของการวัด (Constant error)

การสูญเสียตะกอนจากการล้างตะกอน (ค่าการละลาย) การเติมรีเอเจนต์ที่มากเกินไปกับการเปลี่ยนสีที่จุดยุติ การเตรียมกราฟมาตรฐานจะมีผลมากเมื่อขนาดของการวัดมีค่าน้อย

### 2.1.1.5 ความคลาดเคลื่อนที่เป็นสัดส่วนขึ้นกับขนาดของการวัด (Proportional error)

การปนเปื้อน ขึ้นกับปริมาณของสาร

#### การตรวจสอบ Systematic error (bias)

1. วิเคราะห์เบดงก์
2. วิเคราะห์โดยเปลี่ยนขนาดของตัวอย่าง
3. วิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard reference material)
4. วิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นที่แตกต่างจากวิธีที่ใช้อยู่

### 2.1.2 ความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error)

ความคลาดเคลื่อนที่ทำให้ข้อมูลกระจายรอบๆ ค่าเฉลี่ย (+ และ -) ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำ (precision) มีอยู่ในการวัดทุกครั้ง, ไม่สามารถกำจัดมันไปได้, ไม่ทราบว่าจะเกิดจากไหน, เป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ความผิดพลาดแบบสุ่มในการวิเคราะห์มีการกระจายตัวแบบปกติ และสามารถใช้สถิติในการจัดการ random error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 Gross Error

คือ ความคาดเคลื่อนที่ทำให้ข้อมูลผิดปกติกวามาก ถึงที่สังเกตได้คือ มีข้อมูลที่มีมากกว่าหรือน้อยกว่ามากๆ หลุดออกจากกลุ่ม (Outlier)

#### การตรวจสอบความแม่นยำวิธีวิเคราะห์

เป็นการวัดความใกล้เคียงระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์และค่าที่มีอยู่จริง ปกติจะใช้ SRM ในการตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ ในกรณีที่ไม่มี SRM จะใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานที่รู้ปริมาณที่แน่นอนลงไปในตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ สามารถทำได้ 2 วิธี

1. การเปรียบเทียบค่า  $\bar{X}$  ที่วัดได้กับค่า  $\bar{X}$  อ้างอิง (จาก CRM หรือ SRM) โดยใช้ t-test คำนวณได้จากสูตร

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{N}}$$

2. การเปรียบเทียบค่า  $\bar{X}$  ที่วัดได้จากวิธีที่ตรวจสอบการวัดกับค่า  $\bar{X}$  ที่วัดจากวิธีมาตรฐาน โดยการทดสอบแบบ t-test ดังสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

โดยที่ Degree of freedom (df) =  $n_1 + n_2 - 2$

3. การหาค่า Recovery หรือการวิเคราะห์ spiked sample ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตลอดการใช้งาน

การเตรียม spiked sample ทำได้โดยเติมสารมาตรฐานความเข้มข้นสูงๆ ปริมาณน้อยๆ ลงในตัวอย่างเพื่อตรวจสอบปริมาณสารที่เราวิเคราะห์ที่เราใช้ไปใน sample matrix หรือถ้ามีการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มี matrix ที่แตกต่างกัน ก็เป็นการทวนสอบปริมาณสารรวม นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารลงในแบบล่งค์ของวิธีทดสอบ หรือฟิลด์เบลลิ่ง เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของวิธีวิเคราะห์ทดสอบ สารมาตรฐานที่ใช้ควรมาจากคนละแหล่งกับที่ใช้เตรียมกราฟมาตรฐาน และความเข้มข้นเฉลี่ยของ spiked sample ควรอยู่ในช่วงเดียวกับตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้ผู้วิเคราะห์ทดสอบควรแน่ใจว่าสิ่งที่เติมลงไปมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนตัวอย่าง และรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับตัวอย่าง

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ spiked sample} - \text{ความเข้มข้นของตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาติ ไชยสวัสดิ์ และ คณะ (2531) การประเมินประสิทธิภาพของการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิดในน้ำทิ้งชนิดต่างๆ โดยทำการศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีโดยวิธี Closed Reflux, Colorimetric Method ในน้ำทิ้งชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีค่าของซีโอดี ที่แตกต่างกันออกไป โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธี Open Reflux และเปรียบเทียบกับ Test Kit ที่ใช้วิธี Closed Reflux Colorimetric Method ทาง EPA หรือหน่วยงานมาตรฐานสากล ให้การยอมรับ ทั้งนี้โดยจุดประสงค์เพื่อต้องการประเมินประสิทธิภาพของการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีโดยวิธี Closed Reflux เพื่อที่จะได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งชนิดต่างๆ โดยที่ผลการประเมินพบว่า การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีโดยวิธี Closed Reflux Colorimetric มีค่าใกล้เคียงกับวิธี Open Reflux และวิธี Test kit

E. Canelli (1975) ทำการศึกษาการปรับปรุงการตรวจวัดค่าซีโอดีในน้ำและน้ำทิ้งโดย การย่อยสลายด้วยกรดไดโครเมต เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำและน้ำทิ้ง ที่ประกอบด้วยคลอไรด์ ไม่เกิน 1500 mg/l โดยน้ำตัวอย่างถูกย่อยด้วย กรดซัลฟูริก โพแทสเซียมไดโครเมต ซิลเวอร์ซัลเฟต เมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต และ ซัลฟามิก ในหลอดแก้วแบบเปิด ที่อุณหภูมิ  $140 \pm 2$  องศาเซลเซียส ไดโครเมตที่มากเกินไปจะถูกตรวจวัด ที่ความยาวคลื่น 440 nm ตัวอย่างน้ำจะถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีการรีฟลักซ์โดยใช้ไดโครเมต มาตรฐาน พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างข้อมูล (ที่ระดับความเชื่อมั่น มากกว่า 0.25)

107842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือ และ อุปกรณ์

1. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส รุ่น KLSC09 ยี่ห้อ Fisher Scientific
2. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น A-35 บริษัท Tokyo Rikakikai CO.,LTD.
3. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ชนิด Double Beam รุ่น 7800 ยี่ห้อ Jasco
4. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessel) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกต (borosilicate culture tube) ขนาด 16×100 มิลลิเมตร ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene TFE)
5. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
6. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
7. เซลล์สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

#### 3.2 สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
2. กรดซัลฟามิก ชนิดเกรดห้องปฏิบัติการ บริษัท U&V
3. กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
4. ซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Laboratory Supplies
5. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ( $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O)$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
6. 1,10-ฟีแนนโทรลีน โมโนไฮเดรต ( $C_{12}H_{18}N_2 \cdot H_2O$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck
7. เมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต ( $HgSO_4$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific UK Limited
8. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไตรไฮเดรต ( $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
9. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ( $KC_8H_5O_4$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
10. เฟอรัสซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ( $Fe(SO_4)_2 \cdot 7H_2O$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
11. แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent

13. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

Reagent

14. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

Reagent

15. น้ำตาลซูโคส (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent

16. แอนไฮดริส (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent

### 3.3 การเตรียมสารละลาย

#### 3.3.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.250 นอร์มัล

ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต จำนวน 12.259 กรัม (ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ละลายน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร เติมกรดซัลฟามิก 0.12 กรัม แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### 3.3.2 กรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 22 กรัมลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมีจำนวน 2.5 ลิตร ทิ้งไว้ 1-2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตจึงจะละลาย

#### 3.3.3 สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไตรไฮเดรตมา 14.455 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต มา 136 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3.3.4 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6 เป็นตัวทำละลาย

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.851 กรัม ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.3 ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตร จากนั้นเปิดออกมาตรปริมาตร 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35, 37.5 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เมื่อนำแต่ละขวดไปวิเคราะห์หาค่าซีไอดี จะมีค่าซีไอดีเท่ากับ 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

#### 3.3.5 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 0.851 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ถ่ายสารละลาย

ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.6 น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ซีไอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งน้ำตาลซูโคโลส 0.444 กรัม ใส่บีกเกอร์ ใส่แอมโมเนียมซัลเฟต 0.091 กรัม แคลเซียมคลอไรด์ 0.0005 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต 0.0085 กรัม โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.227 กรัม แอนไฮดรัส 0.231 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น คนจนสารละลายละลายหมด ถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น(W.Lee et al. 2003.)

### 3.3.7 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีไอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต มา 0.17 กรัม (ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) ใส่บีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น คนจนสารละลายละลายหมดแล้วถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### 3.3.8 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีไอดี 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต มา 8.5 กรัม (ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) ใส่บีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น คนจนสารละลายละลายหมดแล้วถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### 3.3.9 สารละลายเฟอร์ไรอินดิเคเตอร์

ละลาย 1.10 กรัมโพแทสเซียมไดโครเมตในไฮเดรต 1.485 กรัม และ เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### 3.3.10 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 0.1 นอร์มัล

ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมตมา 4.913 กรัม (ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และ เติมนิตริคแอซิด 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายแล้วปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร

### 3.3.11 สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ไทเทรนต์เข้มข้น 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 19.6 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

**หมายเหตุ** ในการเตรียมสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตก่อนนำไปใช้ควรตรวจสอบความเข้มข้น โดยวิธีเทียบมาตรฐานกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีเปิดน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ เติมกรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.10 ลงไป 5 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมขึ้น โดยหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 5 หยด จดปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต นำปริมาตรที่ได้มาคำนวณ

สมการปฏิกิริยา



สูตรคำนวณ

$$M_f = (6V_p M_p) / V_f$$

เมื่อ  $M_f$  = ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (M)

$V_f$  = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (mL)

$M_p$  = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (M)

$V_p$  = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (mL)

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 เตรียมแผ่นเทียบสีค่าซีโอดีมาตรฐาน และ กราฟมาตรฐาน

ปีเปิดสารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4 แต่ละความเข้มข้นมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยสลายแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ลงไปในแต่ละหลอด 1.5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายในตู้บัพที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากนั้นทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทสารละลายใส่เซลล์นำมาตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยเรียงจากหลอดที่มีค่าซีโอดีน้อยไปมาก

เมื่อวัดค่าซีโอดีเรียบร้อยแล้ว นำเซลล์มาวางเรียงตามลำดับค่าซีโอดีจากน้อยไปมาก สังเกตสีสารละลายแต่ละเซลล์ แล้วเลือกเซลล์ที่สีสารละลายเหมือนกันแยกออกมาโดยพิจารณาจากสายตา จากนั้นเลือกเซลล์ที่สีเหมือนกันที่แยกออกมาเพียง 1 เซลล์ ซึ่งถือเป็นตัวแทนของสีสารละลายในช่วงที่เหมือนกัน ถ่ายภาพสีโดยระบุค่าซีโอดีไว้ที่เซลล์ ทำให้ได้แผ่นเทียบสีของค่าซีโอดีมาตรฐาน พลอต กราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับค่าซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การตรวจวัดค่าซีโอดีในสารละลายมาตรฐานซีโอดีด้วยชุดทดสอบ

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4 แต่ละความเข้มข้นมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยสลายแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ลงไปในแต่ละหลอด 1.5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำหลอดย่อยที่มีสารละลายมาเทียบสีกับแผ่นเทียบสีที่เตรียมขึ้นได้ในข้อ 3.4.1 ก็จะได้ค่าซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากแผ่นเทียบสี

จากนั้นทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทสารละลายใส่เซลล์นำมาตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าซีโอดี ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และทำแบบลค์ไปพร้อมๆ กัน โดยเติมสารละลายเหมือนกันแต่เปลี่ยนจากการเติมสารละลายมาตรฐานเป็นเติมน้ำกลั่นแทน

### 3.4.3 การตรวจวัดค่าซีโอดีในสารละลายมาตรฐานซีโอดีด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.5 แต่ละความเข้มข้นมา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยสลายแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.10 ลงไปในแต่ละหลอด 1.5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากนั้นทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทสารละลายใส่ขวดรูปกรวยชมพู นำไปไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วทำการไทเทรตต่อจนถึงสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีส้มเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง บันทึกปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าซีโอดี ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และทำแบบลค์ไปพร้อมๆ กัน โดยเติมสารละลายเหมือนกันแต่เปลี่ยนจากการเติมสารละลายมาตรฐานเป็นเติมน้ำกลั่นแทน

### 3.4.4 การตรวจวัดค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างด้วยชุดทดสอบ

ทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2 แต่เปลี่ยนจากการเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4 เป็นการเติมน้ำตัวอย่างแทน ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และ ทำแบบลค์ไปพร้อมๆ กัน โดยเติมสารละลายเหมือนกันแต่เปลี่ยนจากการเติมน้ำตัวอย่างเป็นเติมน้ำกลั่นแทน

สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.6 ก็ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การตรวจวัดค่าซีโอดี ในน้ำตัวอย่างด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3 แต่เปลี่ยนจากการเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.5 เป็นการเติมน้ำตัวอย่างแทน ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และ ทำเบลงค์ไปพร้อมๆ กัน โดยเติมสารละลายเหมือนกันแต่เปลี่ยนจากการเติมน้ำตัวอย่างเป็นเติมน้ำกลั่นแทน

สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.6 ก็ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน

### 3.4.6 การตรวจวัดค่าซีโอดีใน spiked sample ด้วยชุดทดสอบ

ทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.4 แต่มีการสไปค์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.8 ปริมาตร 0.025 มิลลิลิตร ลงในน้ำตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และ ทำการทดลองไปพร้อมๆ กับข้อ 3.4.4

**หมายเหตุ** ควรทำการตรวจสอบค่าซีโอดีของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

ไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7

ควบคู่กับการทำ Spiked sample ดังนี้

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยสลายแต่ละหลอด เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1 ลงไปในแต่ละหลอด 1.5 มิลลิลิตร

นำไปย่อยสลายในตูบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการตรวจวัดค่าซีโอดีเหมือนกับข้อ 3.4.2

### 3.4.7 การตรวจวัดค่าซีโอดีใน Spiked sample ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.5 แต่มีการสไปค์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.8 ปริมาตร 0.025 มิลลิลิตร ลงในน้ำตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร ทำการทดลองซ้ำ 7 ซ้ำ และ ทำการทดลองไปพร้อมๆ กับข้อ 3.4.5

**หมายเหตุ** ควรทำการตรวจสอบค่าซีโอดีของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

ไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7

ควบคู่กับการทำ Spiked sample ดังนี้

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่มีค่าซีโอดี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดย่อยสลายแต่ละหลอด เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 หลอดละ 3.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.10 ลงไปในแต่ละหลอด 1.5 มิลลิลิตร นำไปย่อยสลายในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการตรวจวัดค่าซีไอตีเหมือนกับข้อ 3.4.3

### 3.4.8 ประเมินผลทางสถิติ

#### 3.4.8.1 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

การศึกษาความแม่นยำ(Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์พิจารณาจากการวัดค่าซีไอตีที่ได้ทั้งในวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และจากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละความเข้มข้นจากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากสองวิธี โดยใช้ t-test และที่คำนวณได้จากค่า % recovery

#### 3.4.8.2 การศึกษาความเที่ยง

การศึกษาความเที่ยง (Precision) ของการวิเคราะห์สามารถหาได้จากค่า Repeatable โดยค่าของ Repeatability หาได้จากการวัดค่าซีไอตีของตัวอย่างน้ำ 7 ซ้ำ และค่า Reproducibility หาได้จากการวัดค่าซีไอตีที่เก็บตัวอย่างน้ำ 1 แหล่งจำนวน 2 จุดโดยทำการศึกษาทั้งในวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และจากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และ วิจารณ์ผล

#### 4.1 ผลการเตรียมแผ่นเทียบสีซีไอดี

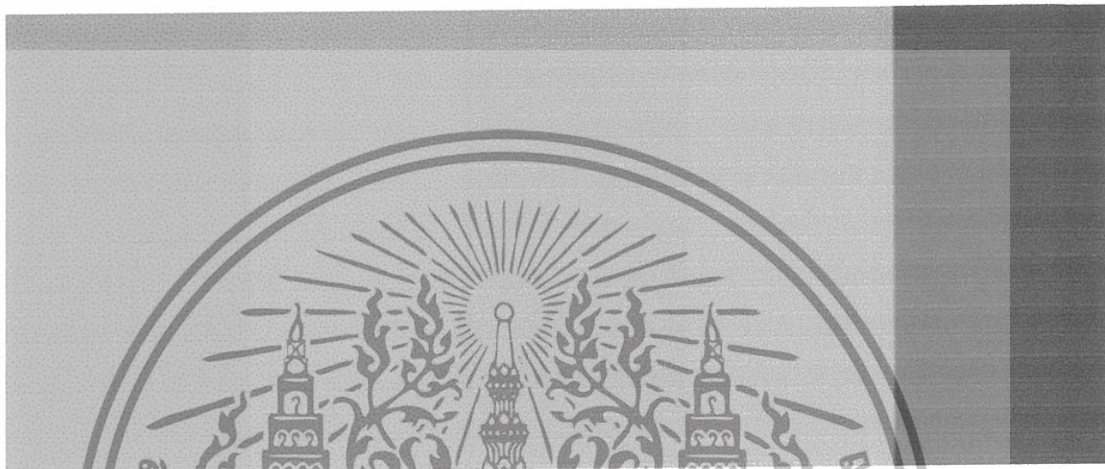
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแผ่นเทียบสีมาตรฐานเพื่อหาค่าซีไอดีจากสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน หรือมีค่าซีไอดีต่าง ๆ กันนั้นเองและตรวจวัดความเข้มข้นของสีโครเมียม(III) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยพิจารณาด้วยสายตาและการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสทิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังในการทดลองหัวข้อที่ 3.4.1 ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าดูดกลืนแสงและสีที่เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายซีไอดี (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสง	สีของสารละลายที่เกิดขึ้น
0	0.011	สีส้มอมเหลือง
50	0.024	สีส้มอมเหลือง
100	0.045	สีส้มอมเหลือง
150	0.070	สีส้มอมเหลือง
200	0.087	สีส้มอมเหลืองอ่อน
250	0.101	สีส้มอมเหลืองอ่อน
300	0.111	สีส้มอมเหลืองอ่อน
350	0.127	สีส้มอมเหลืองอ่อน
400	0.154	สีเหลืองอมเขียวอ่อน
450	0.162	สีเหลืองอมเขียวอ่อน
500	0.174	สีเหลืองอมเขียวอ่อน
550	0.190	สีเหลืองอมเขียวอ่อน
600	0.208	สีเขียวอมเหลืองอ่อน
650	0.229	สีเขียวอมเหลืองอ่อน
700	0.266	สีเขียว
750	0.294	สีเขียว
800	0.324	สีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

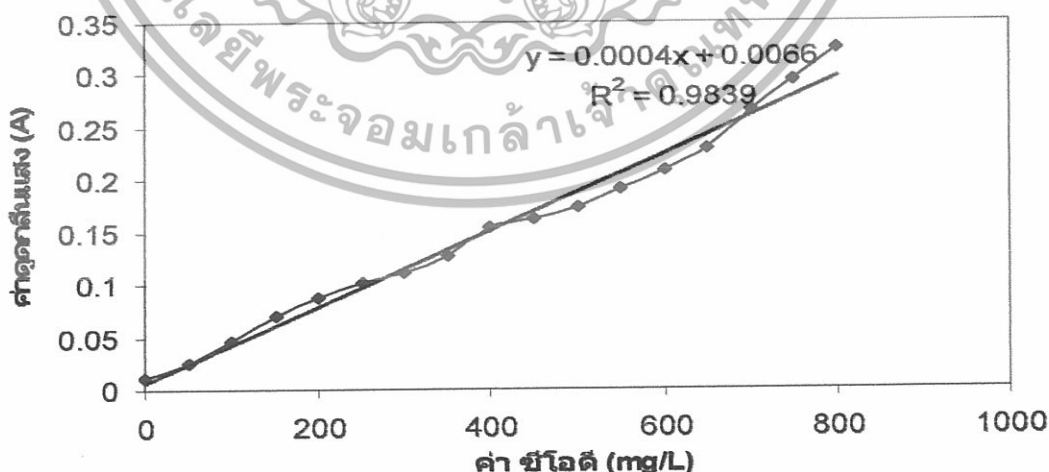
จากตารางที่ 4.1 สามารถแบ่งช่วงความเข้มข้นของสารละลายซีโอดีดังนี้ค่าความเข้มข้น 0-150 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้สีส้มอมเหลืองที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปถึง 350 มิลลิกรัมต่อลิตรให้สีส้มอมเหลืองอ่อน ที่ความเข้มข้น 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปถึง 550 มิลลิกรัมต่อลิตรให้สีเหลืองอมเขียวอ่อน ที่ความเข้มข้น 550 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปถึง 650 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ที่ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้น ไปถึง 800 มิลลิกรัมต่อลิตรให้สีเขียว ดังนั้นจึงทำให้ระบุค่าซีโอดีที่แผ่นสีและทำเป็นแผ่นเทียบมาตรฐานซีโอดีได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผ่นเทียบมาตรฐานที่ได้จากการพัฒนาทำชุดเทียบสี

4.2 กราฟมาตรฐานค่าซีโอดี

กราฟมาตรฐานของค่าซีโอดีมาตรฐานเตรียมได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานซีโอดีที่มีความเข้มข้นต่างๆกับค่าซีโอดี กราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานสารละลายซีโอดี

สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานมีค่า  $y = 0.0004x - 0.0066$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

พหุคูณ ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 0.9839 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.3 ผลการตรวจวัดค่าซีโอไซด์ในน้ำตัวอย่างด้วยการเทียบจากแผ่นเทียบซีโอไซด์ ค่าดูดกลืนแสง และด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด**  
 นำตัวอย่างจากแหล่งต่างๆกันคือ คลองหนองปรือ คลองหัวตะเภา หนองน้ำชี หนองน้ำเดี่ย และน้ำชีโอไซด์สังเคราะห์ มาทำการตรวจวัดค่าซีโอไซด์ด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด เทียบปริมาณมาตรฐาน วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และวิธีฟลักซ์แบบปิด โดยทำแต่ละตัวอย่างซ้ำ 7 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 ค่าซีโอไซด์ในน้ำตัวอย่างที่ตรวจวัดได้จากวิธีฟลักซ์แบบปิด เทียบปริมาณมาตรฐาน วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และวิธีฟลักซ์แบบปิด

จุดเก็บตัวอย่าง	ช่วงค่าซีโอไซด์ที่ได้จากวิธีฟลักซ์		ค่าซีโอไซด์เฉลี่ยจากภาควัดซ้ำ 7 ซ้ำ (mg/L)			วิธีฟลักซ์แบบปิด		
	แผ่นเทียบปริมาณมาตรฐาน		วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์			วิธีฟลักซ์แบบปิด		
	นำตัวอย่าง	Spike sample	นำตัวอย่าง	Spike sample	%Recovery	นำตัวอย่าง	Spike sample	%Recovery
คลองหนองปรือ จุดที่ 1	0-150	150-350	69.57 ± 4.53	179.17 ± 11.14	109.60	41.14 ± 6.53	150.70 ± 6.04	109.56
คลองหนองปรือ จุดที่ 2	0-150	150-350	68.85 ± 5.85	183.50 ± 5.00	113.57	52.57 ± 7.81	157.55 ± 7.79	104.98
คลองหัวตะเภา จุดที่ 1	0-150	150-350	85.28 ± 4.00	196.35 ± 8.83	111.07	57.14 ± 6.05	164.40 ± 8.54	107.26
คลองหัวตะเภา จุดที่ 2	0-150	150-350	58.14 ± 3.04	172.78 ± 6.56	114.64	43.42 ± 7.80	152.98 ± 8.54	109.56
water Syn COD 500 ครั้งที่ 1 [1]	350-550	350-550	404.21 ± 2.37	518.85 ± 7.27	114.64	470.85 ± 7.80	589.59 ± 12.57	109.36
water Syn COD 500 ครั้งที่ 2 [1]	350-550	350-550	450.64 ± 3.93	572.07 ± 4.97	104.89	493.71 ± 8.55	593.69 ± 12.57	99.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 ต่อ

จุดเก็บตัวอย่าง	ช่วงค่าซีโอดีที่ได้จากวิธีใช้		ค่าซีโอดีเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 7 ซ้ำ (mg/L)				วิธีฟลักซ์แบบปิด		
	แผ่นเทียบสีมาตรฐาน		วิธียูวี-วิติบิลิตีเมกโทรโฟโตมิเตอร์				นำตัวอย่าง	Spiked sample	%recovery
	นำตัวอย่าง	Spike sample	นำตัวอย่าง	Spiked sample	%recovery	นำตัวอย่าง			
โรงบำบัดน้ำเสีย (น้ำเข้า) จุดที่ 1	0-150	150-350	82.42 ± 3.75 <sup>[2]</sup>	199.92 ± 11.35 <sup>[2]</sup>	117.50	59.42 ± 7.81 <sup>[2]</sup>	168.97 ± 11.0 <sup>[2]</sup>	109.54	
โรงบำบัดน้ำเสีย (น้ำเข้า) จุดที่ 2	0-150	150-350	83.14 ± 4.19 <sup>[2]</sup>	198.85 ± 6.68 <sup>[2]</sup>	115.71	70.85 ± 8.55 <sup>[2]</sup>	173.54 ± 13.0 <sup>[2]</sup>	102.68	
โรงบำบัดน้ำเสีย (น้ำออก) จุดที่ 1	0-150	150-350	89.21 ± 4.26	195.64 ± 10.14	106.42	61.71 ± 7.8	159.84 ± 8.54	98.12	
โรงบำบัดน้ำเสีย (น้ำออก) จุดที่ 2	0-150	150-350	89.57 ± 3.77	203.14 ± 3.03	113.57	70.85 ± 8.55	178.10 ± 7.79	107.25	

หมายเหตุ [1] water Syn COD 500 1 water Syn COD 500 2 คือ น้ำตัวอย่างที่ได้จากการตั้งคราหที่ขึ้นมา มีค่าซีโอดี เท่ากับ 500 mg/l

[2] อัตราส่วน(1:100) การเจือจางน้ำตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น

จากผลการทดลองที่ได้ในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าซีไอดีในน้ำตัวอย่างทุกชนิดที่ตรวจวัดได้จากการใช้แผ่นเทียบมาตรฐาน มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าซีไอดีที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีไอดีที่ตรวจวัดได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีกับวิธีรีฟลักซ์แบบปิด พบว่าค่าซีไอดีที่ได้จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิดมีค่าน้อยกว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีอยู่ประมาณ  $\pm 30$  ต่อหนึ่งผลการทดลองเสมอ ยกเว้นค่าซีไอดีที่ได้จากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ ซึ่งค่าซีไอดีที่ต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุที่จุดยุติพิจารณาได้จากเมื่อเปรียบเทียบกับสีก่อนจุดยุติจึงทำให้การจุดยุติของการไทเทรตในวิธีรีฟลักซ์แบบปิดคลาดเคลื่อนได้

#### 4.4 ผลการประเมินผลทางสถิติ

##### 4.4.1 ผลการหาความถูกต้องของวิธี

การศึกษาคความแม่นยำของวิธี (Accuracy) ได้โดยการหา %recovery เพื่อทำการหาความแม่นยำของแต่ละวิธีซึ่งพบว่าทั้งสองมีค่า %recovery อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และหาโดยใช้ t-test เพื่อหาความถูกต้องของวิธีทั้งสองว่ามีผลไปในทางเดียวกันหรือไม่ พบว่าค่า  $t$  คำนวณที่ได้จากน้ำตัวอย่าง และการ spiked sample มีค่าเกินช่วงความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเท่ากับ 1.782 ที่กำหนดในตาราง *t-distribution* ซึ่งบ่งบอกว่าค่าซีไอดีที่วัดได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าวิธีรีฟลักซ์แบบปิด ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการผิดพลาดของการปนเปื้อนของคลอไรด์ ไอออนที่อยู่ในน้ำตัวอย่างซึ่งคลอไรด์ ไอออนมีผลอย่างมากในการวิเคราะห์

##### 4.4.2 ผลการหาความเที่ยงของวิธี

จากการศึกษาคความเที่ยงของวิธี (Precision) พิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD) ของการวัดซ้ำ 7 ซ้ำของตัวอย่างน้ำทั้ง 5 แห่ง พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD) ของน้ำตัวอย่างและ Spiked sample ที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี คือ 0.87-8.50 และ 0.87- 6.22 ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (%RSD) ของน้ำตัวอย่างและ Spiked sample ที่ได้จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด คือ 2.57-17.6 และ 1.82-7.52 ตามลำดับ

จากนั้นทดสอบความเที่ยงของการวิเคราะห์ซ้ำ โดยใช้ Horwitz equation (Horwitz trumpet) เปรียบเทียบผลกับ % RSD ที่คำนวณได้ข้างต้น พบว่าค่า Horatt ที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ  $\leq 1.5$  ในขณะที่วิธีรีฟลักซ์แบบปิดมีค่าที่เกินเกณฑ์ในการยอมรับบางผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีมีความเที่ยงตรง มากกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนา และการทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีโอดีในน้ำที่เตรียมขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี และสร้างความน่าเชื่อถือของการนำชุดตรวจสอบซีโอดีไปใช้งานได้จริง โดยมีการทำชุดตรวจสอบซีโอดีและเพิ่มช่วงความเข้มข้นที่ใช้ในการเตรียมแผ่นเทียบสีของชุดตรวจสอบเพื่อทำเป็นแผ่นเทียบสี และใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีเปรียบเทียบกับวิธีฟลักซ์แบบปิด เพื่อประเมินความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของชุดตรวจสอบ

ในการทำแผ่นเทียบสีและเพิ่มช่วงความเข้มข้นที่ใช้ในการเตรียมแผ่นเทียบสีของชุดตรวจสอบที่เตรียมได้จากสารละลายมาตรฐาน โพลีแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน โพลีแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ต่างกันจะให้สีของโครเมียมแตกต่างกันตามปริมาณความเข้มข้น จากการทดลองพบว่าสีของโครเมียมสามารถแยกความแตกต่างด้วยด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนที่ความเข้มข้น 150, 350, 550 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ผลจากการทดสอบความใช้ได้ของชุดตรวจสอบซีโอดีโดยใช้น้ำตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ กันคือ คลองหนองปรือ คลองหัวตะเข้ น้ำเสียดังเคราะห์ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และโรงบำบัดน้ำเสียที่ 1 (นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง) นำค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่าง และค่าซีโอดีจาก Spiked sample ที่อ่านได้จากชุดตรวจสอบซีโอดีเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าค่า ซีโอดีที่อ่านค่าจากแผ่นเทียบสีมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับการวัดค่าซีโอดีด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

จากนั้น ทำการเปรียบเทียบค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่างที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีกับวิธีฟลักซ์แบบปิด พบว่าค่าซีโอดีที่ได้จากวิธีฟลักซ์แบบปิดมีค่าน้อยกว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีอยู่ประมาณ  $\pm 30$  มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อหนึ่งผลการทดลองเสมอ

จากการวัดค่าซีโอดีของน้ำตัวอย่าง และค่าซีโอดีจากการ Spiked sample สามารถคำนวณหาความถูกต้องของวิธีได้โดยการหา %recovery และ t-test พบว่า %recovery ที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าอยู่ในช่วง 98.12-117.50 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ และในการใช้วิธี t-test คำนวณค่า t และนำมาเปรียบเทียบกับค่า t ตารางที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าทั้งสองวิธีมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจากค่าซีโอติของวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีที่มีค่ามากกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบปิดประมาณ  $\pm 30$  มิลลิกรัมต่อลิตร ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธี โดยการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD) ของวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี และวิธีรีฟลักซ์แบบปิดได้ โดยทดสอบความเที่ยงของการวิเคราะห์ซ้ำ โดยใช้ Horwitz equation (Horwitz trumpet) พบว่าค่า Horwitz ที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ  $\leq 1.5$  ในขณะที่วิธีรีฟลักซ์แบบปิดมีค่าที่เกินเกณฑ์ในการยอมรับบางผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีมีความเที่ยงตรงมากกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ค่าซีโอติที่วัดได้จากแผ่นเทียบสีนั้นมีความสะดวกรวดเร็วกว่าวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและวิธีรีฟลักซ์แบบปิดที่ไม่ต้องเสียเวลาในการนำไปตรวจวัดต่อหลังจากทำการย่อยสลายแล้ว ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้จริงในการหาค่าซีโอติในแหล่งน้ำต่างๆ เช่น แหล่งน้ำชุมชน คลอง น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่ข้อเสียของการใช้แผ่นเทียบสีคือไม่สามารถระบุค่าซีโอติออกมาเป็นตัวเลขได้ เหมือนกับวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและวิธีรีฟลักซ์แบบปิด และบอกค่าซีโอติได้สูงสุดเพียง 800 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการวัดค่าซีโอติในแหล่งน้ำที่มีค่าซีโอติเกินค่าที่แผ่นเทียบสีวัดได้ต้องทำการเจือจางน้ำก่อนนำมาวิเคราะห์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการการศึกษาตัวอย่างน้ำมีค่าซีโอติมากกว่านี้จะต้องทำการเจือจางตัวอย่างน้ำนั้นก่อนเพื่อให้ตัวอย่างน้ำที่เจือจางแล้วมีซีโอติอยู่ในช่วงของการวิเคราะห์

ในการทำการทดลองควรทำความสะอาดเครื่องแก้วและหลอดย่อยสลายให้สะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดไป

ควรใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับสถานะที่ทำการทดลองและไม่เก็บสารที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเวลานานเพราะสารเคมีอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพได้

ไม่ใช้อุปกรณ์ที่ชำรุดเช่น ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดการชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบ จะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.). การวิเคราะห์คุณภาพ น้ำ. ค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2549, จาก [http://www.pcd.go.th/Info\\_serv/reg\\_std\\_water04.htm](http://www.pcd.go.th/Info_serv/reg_std_water04.htm).
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. (2544). เอกสารประกอบการสอนวิชาปฏิบัติการเคมี สิ่งแวดล้อม 1. กรุงเทพฯ: โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชุดวิเคราะห์ค่า COD. (ม.ป.ป.). ค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2549, จาก <http://www.hannathai.com/Products/Cod/cod1.htm>.
- ชุดิมา ยิ่งสุขวัฒนา. (2549). เอกสารประกอบการสอนวิชา 03156001 การใช้ห้องสมุดและสารนิเทศ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาภาษาและสังคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปฏิบัติการเรื่องการวิเคราะห์ค่า COD. (ม.ป.ป.). ค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2549, จาก <http://science.kmutt.ac.th/class/mic452/COD.doc>.
- พงษ์เสรีฐ ศรีพรหม และ สุภารัตน์ โสวจิตตสกุล. (2548). ชุดตรวจสอบซีไอดี. โครงการพิเศษสาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. (ม.ป.ป.). การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2549, จาก <http://www2.diw.go.th/research/file.asp>.
- มาตรวิทยาเคมี. (ม.ป.ป.). การพัฒนาระบบคุณภาพโดยใช้มาตรวิทยาเคมี. ค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2549, จาก [http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp\\_5\\_2549\\_chemical-Metrology.PDF](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2549_chemical-Metrology.PDF).
- ASTM. (2000). Standard Test Methods for Chemical Oxygen Demand (Dichromate Oxygen Demand) of Water. **Annual Book of ASTM Standards**, 2000 (11.01), 1-11.
- W.Lee et al. (2003). Sludge characteristics and their contribution to micro filtration in submerged membrane bioreactors. **Journal of Membrane Science**, 216 (2003), 217-227.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณค่าซีโอดีโดยใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิด

หาได้จากสูตร  $COD, mg/L = ((A - B) \times N \times 8000) / S$

เมื่อ A = ปริมาตร FAS ที่ใช้ Titrate blank, mL

B = ปริมาตร FAS ที่ใช้ Titrate sample, mL

N = ความเข้มข้นของ FAS ที่ใช้ Titrate

S = ปริมาตร sample ที่ใช้, mL

การหาความถูกต้องของวิธี

หาได้จากสูตร  $t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$

โดยที่ Degree of freedom (df) =  $n_1 + n_2 - 2$

การหาค่า Recovery หรือการวิเคราะห์ spiked sample

หาได้จากสูตร

$\% Recovery = \frac{(\text{ความเข้มข้นของ spiked sample} - \text{ความเข้มข้นของสารตัวอย่างเริ่มต้น})}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}}$

การหาความเที่ยง

หาได้จากสูตร

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{X}}$$

SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย

$$RSD_R = 2^{(1 - 0.5 \log C)}$$

$$Horrat = \frac{ExterimemtalRSD}{PredictedRSD}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในวิธียูวี-วิติเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทำกราฟมาตรฐานซีไอดี

ค่าดูดกลืนแสง ครั้งที่								
ค่าซีไอดี	1	2	3	4	5	6	7	ค่าเฉลี่ย
0	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
50	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
100	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
150	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
200	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
250	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
300	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
350	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
400	0.16	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15
450	0.16	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16	0.17	0.16
500	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17
550	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
600	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
650	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
700	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
750	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30	0.30	0.29
800	0.31	0.32	0.33	0.32	0.33	0.32	0.34	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดลองด้วยวิธียูวี-วิลิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี

ทดลอง หนองปรือ จุดที่ 1

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.033	0.079
2	0.033	0.074
3	0.034	0.076
4	0.037	0.073
5	0.037	0.078
6	0.034	0.083
7	0.033	0.085
ค่าเฉลี่ย	0.034	0.078

จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานซีไอดี  $y = 0.0004x + 0.0066$

โดยที่  $y =$  ค่าดูดกลืนแสง

$x =$  ค่าซีไอดี

ดังนั้นค่าซีไอดีที่ได้จากการทดลอง คือ

$$\text{COD} = \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสง} - 0.0066}{0.0004}$$

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.034 - 0.0066}{0.0004} = 69.571 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.078 - 0.0066}{0.0004} = 179.179 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

คลอง หนองปรือ จุดที่ 2

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.037	0.079
2	0.031	0.077
3	0.035	0.082
4	0.033	0.081
5	0.032	0.082
6	0.037	0.081
7	0.034	0.078
ค่าเฉลี่ย	0.034	0.080

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.034 - 0.0066}{0.0004} = 68.85 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.080 - 0.0066}{0.0004} = 183.50 \text{ mg/L}$$

คลองห้วยตะเภา จุดที่ 1

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.040	0.083
2	0.042	0.081
3	0.039	0.088
4	0.043	0.081
5	0.042	0.090
6	0.040	0.087
7	0.039	0.086
ค่าเฉลี่ย	0.040	0.085

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.040 - 0.0066}{0.0004} = 85.28 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.085 - 0.0066}{0.0004} = 196.35 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

## คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 2

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.032	0.076
2	0.031	0.080
3	0.029	0.073
4	0.029	0.078
5	0.029	0.073
6	0.030	0.076
7	0.029	0.074
ค่าเฉลี่ย	0.029	0.075

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.029 - 0.0066}{0.0004} = 58.14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.075 - 0.0066}{0.0004} = 172.78 \text{ mg/L}$$

## Water Syn COD 500 จุดที่ 1

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.168	0.211
2	0.167	0.218
3	0.168	0.213
4	0.170	0.218
5	0.168	0.214
6	0.168	0.211
7	0.169	0.214
ค่าเฉลี่ย	0.168	0.214

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.168 - 0.0066}{0.0004} = 404.21 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.214 - 0.0066}{0.0004} = 518.85 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

## Water Syn COD 500 จุดที่ 2

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.185	0.238
2	0.188	0.232
3	0.185	0.236
4	0.189	0.235
5	0.186	0.236
6	0.187	0.237
7	0.188	0.234
ค่าเฉลี่ย	0.186	0.235

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.186 - 0.0066}{0.0004} = 450.64 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.235 - 0.0066}{0.0004} = 572.07 \text{ mg/L}$$

## โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำเข้า) จุดที่ 1

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.038	0.090
2	0.041	0.083
3	0.038	0.080
4	0.039	0.092
5	0.040	0.086
6	0.040	0.091
7	0.042	0.084
ค่าเฉลี่ย	0.039	0.086

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.039 - 0.0066}{0.0004} = 82.42 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.086 - 0.0066}{0.0004} = 199.92 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำเข้า) จุดที่ 2

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.041	0.085
2	0.041	0.089
3	0.040	0.082
4	0.039	0.086
5	0.042	0.088
6	0.039	0.089
7	0.037	0.084
ค่าเฉลี่ย	0.039	0.086

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.039 - 0.0066}{0.0004} = 83.14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spike sample} = \frac{0.086 - 0.0066}{0.0004} = 198.85 \text{ mg/L}$$

โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำออก) จุดที่ 1

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.044	0.087
2	0.042	0.081
3	0.041	0.079
4	0.044	0.084
5	0.041	0.084
6	0.044	0.089
7	0.040	0.09
ค่าเฉลี่ย	0.042	0.084

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.042 - 0.0066}{0.0004} = 89.21 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spike sample} = \frac{0.084 - 0.0066}{0.0004} = 195.64 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

## โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำออก) จุดที่ 2

หลอดที่	ค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่าง	ค่าดูดกลืนแสงของ Spiked sample
1	0.044	0.087
2	0.043	0.089
3	0.041	0.089
4	0.044	0.088
5	0.043	0.086
6	0.042	0.089
7	0.040	0.087
ค่าเฉลี่ย	0.042	0.087

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{0.042 - 0.0066}{0.0004} = 89.57 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{0.087 - 0.0066}{0.0004} = 203.14 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดลองด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

คลองหนองปรือ จุดที่ 1

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.70	2.40	1.90
2	2.80	2.50	1.80
3	2.70	2.50	1.80
4	2.80	2.50	1.80
5	2.80	2.50	1.80
6	2.80	2.60	1.80
7	2.70	2.50	1.80
ค่าเฉลี่ย	2.76	2.50	1.81

$$\text{COD, mg/L} = ((A - B) \times N \times 8000) / S$$

เมื่อ A = ปริมาตร FAS ที่ใช้ Titrate blank, mL

B = ปริมาตร FAS ที่ใช้ Titrate sample, mL

N = ความเข้มข้นของ FAS ที่ใช้ Titrate 0.05 N

S = ปริมาตร sample ที่ใช้, mL

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{(2.76 - 2.5) \times 0.05 \times 8000}{2.5} = 41.14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{(2.76 - 1.81) \times 0.05 \times 8000}{2.5} = 150.71 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

## คลองหนองปรือ จุดที่ 2

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.90	2.60	1.80
2.00	2.90	2.50	1.80
3.00	2.80	2.50	1.90
4.00	2.90	2.50	1.90
5.00	2.80	2.60	1.90
6.00	2.80	2.50	1.90
7.00	2.90	2.50	1.90
ค่าเฉลี่ย	2.86	2.53	1.87

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{(2.86 - 2.53) \times .05 \times 8000}{2.5} = 52.57 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{(2.86 - 1.87) \times .05 \times 8000}{2.5} = 157.56 \text{ mg/L}$$

## คลองห้วยตะเฒ่า จุดที่ 1

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1.00	2.90	2.50	1.90
2.00	2.90	2.50	1.80
3.00	2.80	2.50	1.80
4.00	2.90	2.60	1.90
5.00	2.90	2.50	1.80
6.00	2.90	2.50	1.90
7.00	2.80	2.50	1.80
ค่าเฉลี่ย	2.87	2.51	1.84

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{(2.87 - 2.51) \times .05 \times 8000}{2.5} = 57.14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{(2.87 - 1.84) \times .05 \times 8000}{2.5} = 164.41 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

## คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 2

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.90	2.50	1.80
2	2.80	2.50	1.80
3	2.80	2.50	1.80
4	2.80	2.60	1.90
5	2.70	2.50	1.80
6	2.80	2.50	1.90
7	2.80	2.60	1.90
ค่าเฉลี่ย	2.80	2.53	1.84

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{(2.80 - 2.53) \times .05 \times 8000}{2.5} = 57.14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{(2.80 - 1.84) \times .05 \times 8000}{2.5} = 164.41 \text{ mg/L}$$

## Water Syn COD 500 mg/L จุดที่ 1

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.90	1.30	0.70
2	2.80	1.30	0.60
3	2.80	1.30	0.60
4	2.80	1.30	0.70
5	2.70	1.30	0.70
6	2.80	1.40	0.60
7	2.80	1.40	0.60
ค่าเฉลี่ย	2.80	1.33	0.64

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \left( \frac{(2.80 - 1.33) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) \times 2 = 470.86 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \left( \frac{(2.80 - 1.84) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) \times 2 = 689.60 \text{ mg/L}$$

ในการทดลองมีการเจือจางน้ำตัวอย่าง 50:50 ของปริมาณน้ำจริงจึงต้องคูณแฟกเตอร์กลับ

ด้วย 2 เพื่อได้ปริมาณค่าซีโอดีที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

## Water Syn COD 500 mg/L จุดที่ 2

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.90	1.30	1.10
2	2.80	1.30	0.90
3	2.80	1.30	1.10
4	2.80	1.30	0.90
5	2.90	1.30	1.00
6	2.90	1.30	1.00
7	2.90	1.40	1.00
ค่าเฉลี่ย	2.86	1.31	1.00

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \left( \frac{(2.86 - 1.33) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) \times 2 = 493.71 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \left( \frac{(2.86 - 1.00) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) \times 2 = 593.69 \text{ mg/L}$$

## โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำเข้า) จุดที่ 1

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.80	2.50	1.70
2	2.90	2.50	1.80
3	2.80	2.40	1.70
4	2.90	2.50	1.80
5	2.80	2.50	1.80
6	2.90	2.40	1.90
7	2.80	2.50	1.80
ค่าเฉลี่ย	2.84	2.47	1.79

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \left( \frac{(2.84 - 2.47) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 59.43 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \left( \frac{(2.84 - 1.79) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 168.97 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

## โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำเข้า) จุดที่ 2

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.80	2.40	1.80
2	2.90	2.40	1.70
3	2.90	2.50	1.90
4	2.90	2.40	1.90
5	2.80	2.50	1.70
6	2.90	2.50	1.80
7	3.00	2.40	1.80
ค่าเฉลี่ย	2.89	2.44	1.80

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \left( \frac{(2.89 - 2.44) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 70.86 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \left( \frac{(2.89 - 1.80) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 173.54 \text{ mg/L}$$

## โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำออก) จุดที่ 1

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	spiked sample
1	2.80	2.40	1.80
2	2.90	2.50	1.90
3	2.80	2.50	1.90
4	2.90	2.40	1.80
5	2.80	2.50	1.80
6	2.90	2.40	1.80
7	2.80	2.50	1.90
ค่าเฉลี่ย	2.84	2.46	1.84

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \left( \frac{(2.80 - 2.46) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 61.71 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \left( \frac{(2.80 - 1.84) \times .05 \times 8000}{2.5} \right) = 159.84 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

โรงบำบัดน้ำเสีย ที่ 1 (น้ำออก) จุดที่ 2

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)		
	Blank	sample	Spiked sample
1	2.80	2.40	1.80
2	2.90	2.50	1.80
3	2.90	2.40	1.80
4	2.90	2.40	1.80
5	2.80	2.40	1.70
6	2.90	2.50	1.70
7	3.00	2.50	1.80
ค่าเฉลี่ย	2.89	2.44	1.77

$$\text{น้ำตัวอย่าง} = \frac{(2.89 - 2.44) \times .05 \times 8000}{2.5} = 70.86 \text{ mg/L}$$

$$\text{Spiked sample} = \frac{(2.89 - 1.77) \times .05 \times 8000}{2.5} = 178.11 \text{ mg/L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### ข้อมูลเกี่ยวกับการประเมินทางสถิติ

ตารางที่ ง-1 แสดงผลการทดลองการประเมินผลทางสถิติเพื่อการหาความแม่นยำ และความเที่ยงของน้ำตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี				วิธีรีฟลักซ์แบบปิด			
	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}_1$	SD <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> <sup>2</sup>	%RSD <sub>1</sub>	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}_2$	SD <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> <sup>2</sup>	%RSD <sub>2</sub>
คลองหนองปรือ จุดที่ 1	69.57	4.53	20.52	6.51	41.14	6.53	42.64	15.8
คลองหนองปรือ จุดที่ 2	68.86	5.85	34.23	8.50	52.57	7.80	60.84	14.8
คลองหัวตะเภา จุดที่ 1	85.29	4.00	16.00	4.69	57.14	6.04	36.48	10.5
คลองหัวตะเภา จุดที่ 2	58.14	3.03	9.18	5.21	43.43	7.80	60.84	17.9
water Syn COD 500 mg/L 1	404.21	2.37	5.62	0.59	470.86	12.09	146.17	2.57
water Syn COD 500 mg/L 2	450.64	3.93	15.44	0.87	493.66	8.55	73.10	1.73
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 1	82.43	3.75	14.06	4.55	59.43	7.80	60.84	13.1
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 2	83.14	4.19	17.56	5.04	70.86	8.55	73.10	12.0
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 1	89.21	4.26	18.15	4.78	61.71	7.80	60.84	12.6
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 2	89.57	3.77	14.21	4.21	70.86	8.55	73.10	12.0

เมื่อ  $\bar{X}_1$  = ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

$\bar{X}_2$  = ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

S<sub>1</sub><sup>2</sup> = ค่าความแปรปรวนที่ได้จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

S<sub>2</sub><sup>2</sup> = ค่าความแปรปรวนที่ได้จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

%RSD<sub>1</sub> = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์จากวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

%RSD<sub>2</sub> = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์จากวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การหาความแม่นยำของวิธี

หาได้จากสูตร 
$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

โดยที่ Degree of freedom (df) =  $n_1 + n_2 - 2$

### ตัวอย่างการคำนวณ

คลองหนองปรือ จุดที่ 1

$$t = \frac{(69.57 - 41.14)}{\sqrt{\frac{20.52}{7} + \frac{42.64}{7}}} = 9.46$$

Degree of freedom (df) = (14-2) = 12

ค่า t คำนวณได้ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ง-2

ตารางที่ ง-2 ค่า t ที่ได้จากการคำนวณหาความแม่นยำของวิธี

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่า t คำนวณ	
	น้ำตัวอย่าง	Spiked sample
คลองหนองปรือ จุดที่ 1	5.94	9.46
คลองหนองปรือ จุดที่ 2	7.42	4.42
คลองหัวตะเข้ จุดที่ 1	6.88	10.27
คลองหัวตะเข้ จุดที่ 2	4.86	4.65
water Syn COD 500 mg/L 1 <sup>[1]</sup>	31.11	21.63
water Syn COD 500 mg/L 2 <sup>[1]</sup>	4.23	12.09
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า) จุดที่ 1	5.17	7.03
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า) จุดที่ 2	4.57	3.41
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก) จุดที่ 1	7.15	8.19
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก) จุดที่ 2	7.92	5.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ทดสอบความเที่ยงของวิธี

$$\text{หาได้จากสูตร } \text{Horrat} = \frac{\text{ExterimemtalRSD}}{\text{Pr edictedRSD}}$$

$$\text{โดย } \text{RSD}_R = 2^{(1-0.5\log C)} \quad \text{ใช้ประเมิน Repeatability}$$

$$\text{RSD}_r = 0.672^{(1-0.5\log C)} \quad \text{ใช้ประเมิน Reproducibility}$$

### ตัวอย่างการคำนวณ

ทดลองหองปรือ จุดที่ 1

ประเมิน Repeatability

$$\text{เมื่อ RSD จากการทดลอง} = 6.51$$

$$\text{และ } \text{RSD}_R = 2^{(1-0.5\log 0.000069)} = 8.45$$

$$\text{ดังนั้น Horrat} = \frac{6.51}{8.45} = 0.77$$

ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Repeatability ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ง-3

ประเมิน Reproducibility

$$\text{เมื่อ RSD จากการทดลอง} = 6.51$$

$$\text{และ } \text{RSD}_r = 0.672^{(1-0.5\log 0.000069)} = 5.66$$

$$\text{ดังนั้น Horrat} = \frac{6.51}{8.45} = 1.15$$

โดยค่า Horrat ที่ยอมรับได้จะอยู่ที่  $\leq 1.5$

ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Reproducibility ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ง-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Repeatability

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่า Horrat			
	วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี		วิธีฟลักซ์แบบปิด	
	น้ำตัวอย่าง	Spiked sample	น้ำตัวอย่าง	Spiked sample
คลองหนองปรือ จุดที่ 1	0.77	0.85	1.74	0.53
คลองหนองปรือ จุดที่ 2	1.01	0.37	1.68	0.66
คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 1	0.57	0.62	1.22	0.70
คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 2	0.60	0.52	1.98	0.74
water Syn COD 500 1 <sup>[1]</sup>	0.09	0.22	0.41	0.31
water Syn COD 500 2 <sup>[1]</sup>	0.14	0.14	0.28	0.35
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 1	0.55	0.79	1.52	0.88
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 2	0.61	0.47	1.44	1.02
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 1	0.59	0.72	1.47	0.72
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 2	0.52	0.21	1.44	0.60

ตารางที่ ง-3 ค่า Horrat ที่คำนวณได้จากการทำ Reproducibility

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่า Horrat			
	วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี		วิธีฟลักซ์แบบปิด	
	น้ำตัวอย่าง	Spiked sample	น้ำตัวอย่าง	Spiked sample
คลองหนองปรือ จุดที่ 1	1.15	1.27	2.60	0.80
คลองหนองปรือ จุดที่ 2	1.50	0.56	2.51	0.99
คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 1	0.86	0.93	1.82	1.05
คลองห้วยตะเข้ จุดที่ 2	0.90	0.77	2.96	1.11
water Syn COD 500 1 <sup>[1]</sup>	0.13	0.34	0.61	0.46
water Syn COD 500 2 <sup>[1]</sup>	0.20	0.21	0.41	0.52
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 1	0.83	1.18	2.27	1.31
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำเข้า)จุดที่ 2	0.92	0.70	2.15	1.52
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 1	0.88	1.07	2.20	1.07
โรงบำบัดน้ำเสีย(น้ำออก)จุดที่ 2	0.77	0.31	2.15	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้