

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การออกแบบการทดลอง

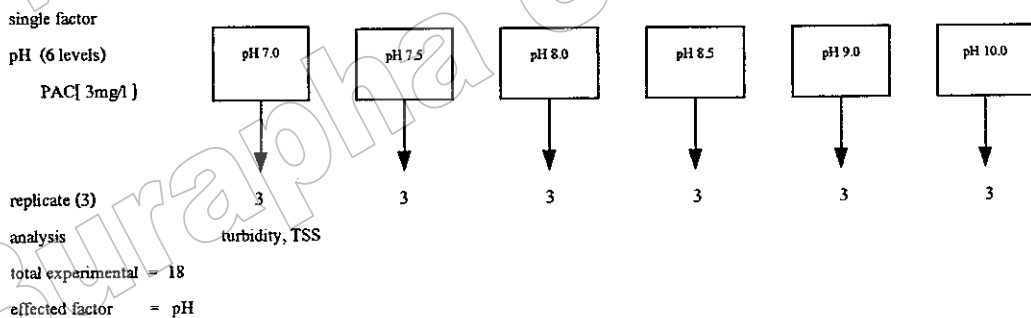
การวิจัยนี้เมื่อพิจารณาถึงเป้าหมายในการดำเนินงานจัดเป็นการวิจัยประยุกต์ (applied research) เป็นการค้นคว้าหาความรู้ในเรื่องที่อยู่ในความสนใจและเป็นประโยชน์ต่อสังคมโดยรวม และผลของการวิจัยสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้โดยตรง

ใช้รูปแบบงานวิจัยเชิงทดลองตามจำนวนตัวแปรอิสระ (treatment variable) ที่ศึกษาแบบแฟกทอเรียลดีไซน์ (factorial design) ซึ่งเป็นการทดลองศึกษาตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัวแปร

แผนการทดลองหรือการเก็บตัวอย่างเป็นแบบปัจจัยคงที่ทั้งหมด (all fixed factor or factorial or orthogonal design) เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ใช้จะเห็นว่าเมื่อทำการสลับลำดับของปัจจัยที่ใช้ทุกระดับปัจจัยรองก็จะยังอยู่ในทุกระดับของปัจจัยหลัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งหมดเป็นปัจจัยคงที่และแสดงให้เห็นผลที่จะเกิดขึ้นจากแต่ละปัจจัย นอกจากนี้ยังมีผลรวมที่เกิดขึ้นระหว่างปัจจัยทั้งหมดด้วย (interaction effect) หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ได้ดังนี้ A, B, และ AB

สรุปแผนโครงสร้างแสดงแผนการเก็บตัวอย่างแบบปัจจัยคงที่ทั้งหมด ได้ดังนี้

1. หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียด้วยพีเอช ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แผนโครงสร้างการเก็บตัวอย่างหาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียด้วยพีเอช

2. หาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียด้วยไคโตซานและโพลิเมอร์สังเคราะห์ ประจุบวกและลบ ดังภาพที่ 42

two fixed factors
polymer (3 levels)
[3 mg/l]

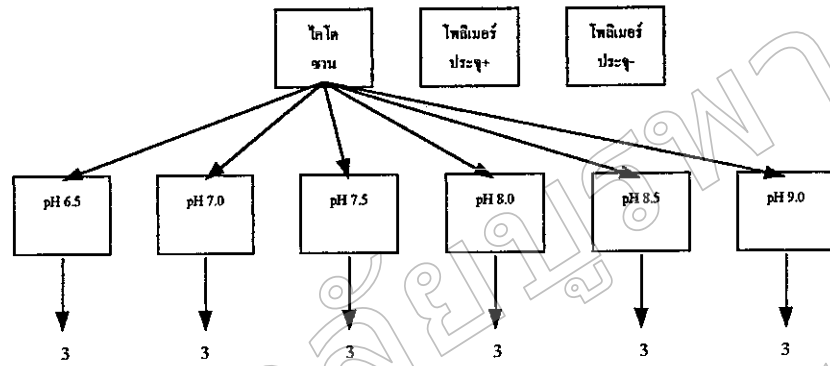
pH (6 levels)

replicate (3)

analysis

total experimental = 54

effected factor = polymer, pH, polymer*pH



turbidity, TSS

ภาพที่ 42 แผนโครงสร้างการเก็บตัวอย่างหาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียด้วยไคโตซานและโพลิเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ

3. หาชนิดและปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบระหว่างไคโตซานและโพลิเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ ดังภาพที่ 43

two fixed factors
polymer (3 levels)
PAC [3mg/l]

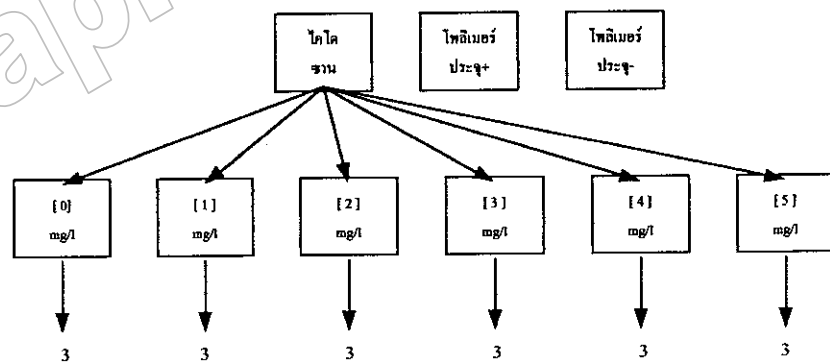
[] (6 levels)

replicate (3)

analysis

total experimental = 54

effected factor = polymer, [], polymer*[]



ภาพที่ 43 แผนโครงสร้างการเก็บตัวอย่างหาชนิดและปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบระหว่างไคโตซานและโพลิเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ

4. หาปริมาณฟิเอซีและไคโตซานที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสีย ดังภาพที่ 44

two fixed factors

[PAC] (6 levels)



[chitosan] (6 levels)



replicate (3)

analysis

turbidity, TSS, COD

total experimental = 108

effected factor = { PAC }; [chitosan], [PAC] * [chitosan]

ภาพที่ 44 แผนโครงสร้างการเก็บตัวอย่างหาปริมาณฟิเอซีและไคโตซานที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสีย

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เป็นการวัดความกระจาย จะช่วยอธิบายว่าข้อมูลแต่ละค่านั้นมีค่าห่างกันมากน้อยเพียงใด โดยใช้ค่าของข้อมูลทุกตัวมาคำนวณ ใช้วิธีทำให้เครื่องหมายลบหายไปโดยการยกกำลังสองของผลต่าง และเมื่อเฉลี่ยแล้วให้ถอดรากที่สองกลับมาอย่างเดิม สูตรจึงเป็นดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

เมื่อ $\sum (x - \bar{x})^2$ = ผลรวมของผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น ยกกำลังสอง

N = จำนวนข้อมูลที่มีทั้งหมดในชุดนั้น

ร้อยละในการกำจัดมวลสาร (%removal) จะช่วยอธิบายว่าประสิทธิภาพของการกำจัดมวลสารมีมากน้อยเพียงใด คำนวณได้โดยใช้ค่าผลต่างของข้อมูลมวลสารเริ่มต้นและมวลสารหลังกำจัดมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ สูตรจึงเป็นดังนี้

$$\% \text{removal} = \frac{\text{มวลสารเริ่มต้น} - \text{มวลสารหลังกำจัด}}{\text{มวลสารเริ่มต้น}} * 100$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดหลังจากตกตะกอนโดยพีเอช ที่พีเอช 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0 และ 10.0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	46643.611	5	9328.722	11994.071	.000*
Error	9.333	12	.778		
Total	542993.000	18			
Corrected Total	46652.944	17			

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 15 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากตกตะกอนโดยพีเอซี ที่พีเอช 7.0 , 7.5 , 8.0 , 8.5 , 9.0 และ 10.0 โดยใช้ LSD วิเคราะห์

pH		Mean Difference	Std. Error	Sig.
7.0	7.5	47.00	.72	.000*
	8.0	78.33	.72	.000*
	8.5	111.00	.72	.000*
	9.0	130.00	.72	.000*
	10.0	149.33	.72	.000*
7.5	7.0	-47.00	.72	.000*
	8.0	31.33	.72	.000*
	8.5	64.00	.72	.000*
	9.0	83.00	.72	.000*
	10.0	102.33	.72	.000*
8.0	7.0	-78.33	.72	.000*
	7.5	-31.33	.72	.000*
	8.5	32.67	.72	.000*
	9.0	51.67	.72	.000*
	10.0	71.00	.72	.000*
8.5	7.0	-111.00	.72	.000*
	7.5	-64.00	.72	.000*
	8.0	-32.67	.72	.000*
	9.0	19.00	.72	.000*
	10.0	38.33	.72	.000*
9.0	7.0	-130.00	.72	.000*
	7.5	-83.00	.72	.000*
	8.0	-51.67	.72	.000*
	8.5	-19.00	.72	.000*
	10.0	19.33	.72	.000*
10.0	7.0	-149.33	.72	.000*
	7.5	-102.33	.72	.000*
	8.0	-71.00	.72	.000*
	8.5	-38.33	.72	.000*
	9.0	-19.33	.72	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดหลังจากตกตะกอนโดยไคโตซาน, โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ ที่พีเอช 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 และ 9.0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Chemical	348.593	2	174.296	151.806	.000*
pH	26346.537	5	5269.307	4589.397	.000*
Chemical * pH	9134.074	10	913.407	795.548	.000*
Error	41.333	36	1.148		
Total	1616595.000	54			
Corrected Total	35870.537	53			

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 17 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากตกตะกอนโดยไคโตซาน, โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ โดยใช้ LSD วิเคราะห์

Chemical		Mean Difference	Std. Error	Sig.
Chitosan	Polymer+	5.33	.36	.000*
	Polymer-	-.11	.36	.758
Polymer+	Chitosan	-5.33	.36	.000*
	Polymer-	-5.44	.36	.000*
Polymer-	Chitosan	.11	.36	.758
	Polymer+	5.44	.36	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 18 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากตกตะกอนโดยไคโตซาน, โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ ที่พีเอช 6.5 , 7.0 , 7.5 , 8.0 , 8.5 และ 9.0 โดยใช้ LSD วิเคราะห์

pH		Mean Difference	Std. Error	Sig.
6.5	7.0	-15.44	.51	.000*
	7.5	-13.11	.51	.000*
	8.0	-13.33	.51	.000*
	8.5	27.22	.51	.000*
	9.0	41.44	.51	.000*
7.0	6.5	15.44	.51	.000*
	7.5	2.33	.51	.000*
	8.0	2.11	.51	.000*
	8.5	42.67	.51	.000*
	9.0	56.89	.51	.000*
7.5	6.5	13.11	.51	.000*
	7.0	-2.33	.51	.000*
	8.0	-.22	.51	.663
	8.5	40.33	.51	.000*
	9.0	54.56	.51	.000*
8.0	6.5	13.33	.51	.000*
	7.0	-2.11	.51	.000*
	7.5	.22	.51	.663
	8.5	40.56	.51	.000*
	9.0	54.78	.51	.000*
8.5	6.5	-27.22	.51	.000*
	7.0	-42.67	.51	.000*
	7.5	-40.33	.51	.000*
	8.0	-40.56	.51	.000*
	9.0	14.22	.51	.000*
9.0	6.5	-41.44	.51	.000*
	7.0	-56.89	.51	.000*
	7.5	-54.56	.51	.000*
	8.0	-54.78	.51	.000*
	8.5	-14.22	.51	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดหลังจากตกตะกอน โดยสารช่วยสร้างตะกอนไคโตซาน , โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ ที่ระดับความเข้มข้น 0 , 1 , 2 , 3 , 4 และ 5 มก./ล

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Coagulant aid	4520.259	2	2260.130	1564.705	.000*
Conc.	20968.759	5	4193.752	2903.367	.000*
Coagulant aid * Conc.	1483.963	10	148.396	102.736	.000*
Error	52.000	36	1.444		
Total	704625.000	54			
Corrected Total	27024.981	53			

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 20 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากตกตะกอนโดยสารช่วยสร้างตะกอนไคโตซาน , โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ โดยใช้ LSD วิเคราะห์

Coagulant aid		Mean Difference	Std. Error	Sig.
Chitosan	Polymer+	-10.33	.40	.000*
	Polymer-	-22.39	.40	.000*
Polymer+	Chitosan	10.33	.40	.000*
	Polymer-	-12.06	.40	.000*
Polymer-	Chitosan	22.39	.40	.000*
	Polymer+	12.06	.40	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 21 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากตกตะกอนโดยสาร
ช่วยสร้างตะกอนไคโดซาน, โพลีเมอร์สังเคราะห์ประจุบวกและลบ ที่ระดับความ
เข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก./ล โดยใช้ LSD วิเคราะห์

	Conc.	Mean Difference	Std. Error	Sig.
0	1	15.22	.57	.000*
	2	19.78	.57	.000*
	3	36.78	.57	.000*
	4	46.89	.57	.000*
	5	57.89	.57	.000*
1	0	-15.22	.57	.000*
	2	4.56	.57	.000*
	3	21.56	.57	.000*
	4	31.67	.57	.000*
	5	42.67	.57	.000*
2	0	-19.78	.57	.000*
	1	-4.56	.57	.000*
	3	17.00	.57	.000*
	4	27.11	.57	.000*
	5	38.11	.57	.000*
3	0	-36.78	.57	.000*
	1	-21.56	.57	.000*
	2	-17.00	.57	.000*
	4	10.11	.57	.000*
	5	21.11	.57	.000*
4	0	-46.89	.57	.000*
	1	-31.67	.57	.000*
	2	-27.11	.57	.000*
	3	-10.11	.57	.000*
	5	11.00	.57	.000*
5	0	-57.89	.57	.000*
	1	-42.67	.57	.000*
	2	-38.11	.57	.000*
	3	-21.11	.57	.000*
	4	-11.00	.57	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดหลังจากใช้ฟิเอซีเป็น
สารสร้างตะกอนและไคโตซานเป็นสารช่วยสร้างตะกอน

Source	Type III	df	Mean Square	F	Sig.
Sum of Squares					
PAC	79487.083	5	15897.417	18072.853	.000*
Chitosan	14160.306	5	2832.061	3219.606	.000*
PAC * Chitosan	5242.194	25	209.688	238.382	.000*
Error	63.333	72	.880		
Total	929507.000	108			
Corrected Total	98952.917	107			

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 23 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากใช้ฟิเอซีเป็นสาร
สร้างตะกอน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มก./ล โดยใช้ LSD
วิเคราะห์

	PAC	Mean Difference	Std. Error	Sig.
0	3	34.89	.31	.000*
	6	50.89	.31	.000*
	9	63.89	.31	.000*
	12	74.83	.31	.000*
	15	79.67	.31	.000*
3	0	-34.89	.31	.000*
	6	16.00	.31	.000*
	9	29.00	.31	.000*
	12	39.94	.31	.000*
	15	44.78	.31	.000*
6	0	-50.89	.31	.000*
	3	-16.00	.31	.000*
	9	13.00	.31	.000*
	12	23.94	.31	.000*
	15	28.78	.31	.000*
9	0	-63.89	.31	.000*
	3	-29.00	.31	.000*
	6	-13.00	.31	.000*
	12	10.94	.31	.000*
	15	15.78	.31	.000*
12	0	-74.83	.31	.000*
	3	-39.94	.31	.000*
	6	-23.94	.31	.000*
	9	-10.94	.31	.000*
	15	4.83	.31	.000*
15	0	-79.67	.31	.000*
	3	-44.78	.31	.000*
	6	-28.78	.31	.000*
	9	-15.78	.31	.000*
	12	-4.83	.31	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 24 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด หลังจากใช้ไคโตซานเป็นสาร
ช่วยสร้างตะกอน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก./ล โดยใช้ LSD
วิเคราะห์

Chitosan		Mean Difference	Std. Error	Sig.
0	1	4.33	.31	.000*
	2	9.72	.31	.000*
	3	16.94	.31	.000*
	4	25.94	.31	.000*
	5	32.22	.31	.000*
1	0	-4.33	.31	.000*
	2	5.39	.31	.000*
	3	12.61	.31	.000*
	4	21.61	.31	.000*
	5	27.89	.31	.000*
2	0	-9.72	.31	.000*
	1	-5.39	.31	.000*
	3	7.22	.31	.000*
	4	16.22	.31	.000*
	5	22.50	.31	.000*
3	0	-16.94	.31	.000*
	1	-12.61	.31	.000*
	2	-7.22	.31	.000*
	4	9.00	.31	.000*
	5	15.28	.31	.000*
4	0	-25.94	.31	.000*
	1	-21.61	.31	.000*
	2	-16.22	.31	.000*
	3	-9.00	.31	.000*
	5	6.28	.31	.000*
5	0	-32.22	.31	.000*
	1	-27.89	.31	.000*
	2	-22.50	.31	.000*
	3	-15.28	.31	.000*
	4	-6.28	.31	.000*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณซีโอดีหลังจากใช้พีเอจีเป็นสารสร้างตะกอน และไคโตซานเป็นสารช่วยสร้างตะกอน

Source	Type III	df	Mean Square	F	Sig.
	Sum of Squares				
PAC	121671.380	5	24334.276	60.322	.000*
Chitosan	126769.713	5	25353.943	62.849	.000*
PAC * Chitosan	23807.454	25	952.298	2.361	.002
Error	29045.333	72	403.407		
Total	24168835.000	108			
Corrected Total	301293.880	107			

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 26 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณซีโอดี หลังจากใช้ฟิเอซีเป็นสารสร้างตะกอน
ที่ระดับความเข้มข้น 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มก./ล โดยใช้ LSD วิเคราะห์

	PAC	Mean Difference	Std. Error	Sig.
0	3	18.61	6.70	.007
	6	37.06	6.70	.000*
	9	59.50	6.70	.000*
	12	79.28	6.70	.000*
	15	96.61	6.70	.000*
3	0	-18.61	6.70	.007
	6	18.44	6.70	.007
	9	40.89	6.70	.000*
	12	60.67	6.70	.000*
	15	78.00	6.70	.000*
6	0	-37.06	6.70	.000*
	3	-18.44	6.70	.007
	9	22.44	6.70	.001
	12	42.22	6.70	.000*
	15	59.56	6.70	.000*
9	0	-59.50	6.70	.000*
	3	-40.89	6.70	.000*
	6	-22.44	6.70	.001
	12	19.78	6.70	.004
	15	37.11	6.70	.000*
12	0	-79.28	6.70	.000*
	3	-60.67	6.70	.000*
	6	-42.22	6.70	.000*
	9	-19.78	6.70	.004
	15	17.33	6.70	.012
15	0	-96.61	6.70	.000*
	3	-78.00	6.70	.000*
	6	-59.56	6.70	.000*
	9	-37.11	6.70	.000*
	12	-17.33	6.70	.012

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 27 ทดสอบความแตกต่างของปริมาณซีโอดี หลังจากใช้ไคโตซานเป็นสารช่วยสร้าง
ตะกอน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก./ล โดยใช้ LSD วิเคราะห์

Chitosan		Mean Difference	Std. Error	Sig.
0	1	23.56	6.70	.001
	2	35.94	6.70	.000*
	3	73.94	6.70	.000*
	4	87.44	6.70	.000*
	5	91.17	6.70	.000*
1	0	-23.56	6.70	.001
	2	12.39	6.70	.068
	3	50.39	6.70	.000*
	4	63.89	6.70	.000*
	5	67.61	6.70	.000*
2	0	-35.94	6.70	.000*
	1	-12.39	6.70	.068
	3	38.00	6.70	.000*
	4	51.50	6.70	.000*
	5	55.22	6.70	.000*
3	0	-73.94	6.70	.000*
	1	-50.39	6.70	.000*
	2	-38.00	6.70	.000*
	4	13.50	6.70	.047
	5	17.22	6.70	.012
4	0	-87.44	6.70	.000*
	1	-63.89	6.70	.000*
	2	-51.50	6.70	.000*
	3	-13.50	6.70	.047
	5	3.72	6.70	.580
5	0	-91.17	6.70	.000*
	1	-67.61	6.70	.000*
	2	-55.22	6.70	.000*
	3	-17.22	6.70	.012
	4	-3.72	6.70	.580

* ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์หน้า

การวิเคราะห์น้ำ

พีเอช (pH) วิธีการวัดด้วยอิเล็กโทรด (electrometric method)

1. หลักการ พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร $pH = -\log[H^+]$ เมื่อ $[H^+]$ เท่ากับความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็นโมลต่อ ลบ.คม. ในทางปฏิบัติค่าพีเอชแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย น้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่ามากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่าเท่ากับ 7 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา เช่น การตกตะกอน กระบวนการโคแอกกูเลชัน การกักกรอง เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

วิธีการวัดด้วยอิเล็กโทรดเป็นการวัดด้วยกลาสอิเล็กโทรด (glass electrode) เครื่องมือที่ใช้วัดพีเอช (pH, positive potential of the hydrogen ions) เรียก พีเอชมิเตอร์ (pH meter) เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดพีเอชของสารละลายโดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง โดยที่อิเล็กโทรดทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ตัวเครื่อง (potentiometer) ทำหน้าที่สำคัญตามประการคือ ประการแรก ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิงให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่ ประการที่สอง แปลสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และประการสุดท้าย ขยายสัญญาณของความต่างศักย์ทางไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้เข็มหรือตัวเลขแสดงออกทางมิเตอร์

2. ปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องวัดพีเอช

2.1.2 บีกเกอร์

2.1.3 กระดาษชำระเนื้อละเอียด

2.2 วิธีการวัด

2.2.1 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งอิเล็กโทรดให้สะอาด นำกระดาษทิชชูชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง

2.2.2 ปรับเครื่องมือให้ได้มาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องนั้น ๆ ใช้วิธีปรับเทียบมาตรฐานพีเอชแบบสองจุด (two point standardization) โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำตัวอย่างที่จะวัด

2.2.3 ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ชับน้ำให้แห้ง

2.2.4 วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำโดยจุ่มปลายอิเล็กโทรดให้จมลงไปใต้น้ำตัวอย่าง (ตัวอย่างที่จะนำมาหาค่าต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2.2.2

ความขุ่น (turbidity) วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องแบบเนฟโฟโลมิเตอร์ (nephelometer)

1. หลักการ ความขุ่น หมายถึง สิ่งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ ความขุ่นของน้ำเกิดจากสิ่งแขวนลอยนานาชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน อาจเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (scattered) และดูดซึมของแสง แทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง

เมื่อฉายลำแสงขนานไปยังสารละลายหรือของเหลวที่ใส และมองไปในทิศทางตั้งฉากกับลำแสงจะเห็นเป็นสีดำนั่นเป็นเพราะของเหลวซึ่งขุ่น เมื่อมองโดยวิธีเดียวกันจะเห็นแสงจ้า เนื่องจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยเหล่านี้ วิธีการนี้เป็นการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างกับของสารมาตรฐานภายใต้สภาวะเดียวกัน ความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายมากก็จะมีค่าความขุ่นมาก สารละลายความขุ่นมาตรฐานที่ใช้คือ ฟอว์มาซิน โพลิเมอร์ (formazin polymer) ประกอบด้วยสารละลายสองอย่าง คือ สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต (hydrazine sulfate) กับ สารละลายเฮกซะเมทิลีน เทตระมิน (hexamethylene tetramine)

2. การเก็บและรักษาตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างน้ำควรจะรีบวัดความขุ่นเลย แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ให้เก็บไว้ในที่มืด และไม่ควรเกิน 24 ชม.

3. ปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟโฟโลมิเตอร์ สามารถวัดค่าความแตกต่างของความขุ่นได้ 0.02 เอ็นทียู หรือน้อยกว่าในกรณีที่ความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 1 เอ็นทียู

3.1.2 หลอดวัดตัวอย่างน้ำ (sample tubes) เป็นแก้วใส ไม่มีสี ต้องดูแลให้สะอาดอยู่เสมอต้งด้านนอกด้านในอย่าให้มีรอยขีดข่วน

3.2 สารเคมี

3.2.1 น้ำกลั่นที่ใสไม่มีความขุ่น นำน้ำกลั่นกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ขนาด 0.2 ไมครอน ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมสารละลายความขุ่นมาตรฐาน และการเจือจางตัวอย่าง

3.2.2 สารละลายสื่อดักความขุ่นมาตรฐาน 400 เอ็นทียู

3.2.2.1 ละลายไฮโดรซีนซัลเฟต $(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$ 1.00 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

3.2.2.2 ละลายเฮกซะเมทิลลีน เตตระมีน $(\text{CH}_3)_6\text{N}_4$ 10.00 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

3.2.2.3 คูณ 5 มล. ของสารละลายไฮโดรซีนซัลเฟตและ 5 มล. ของสารละลายเฮกซะเมทิลลีน เตตระมีน ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. เขย่าผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่ $25 \pm 3^\circ\text{C}$ แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. สารละลายนี้ใช้ได้หนึ่งเดือน

3.2.3 สารละลายความขุ่นมาตรฐาน

3.2.3.1 คูณสารละลายสื่อดักความขุ่นมาตรฐานมา 10 มล. แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 100 มล. ความขุ่นของสารละลายนี้ คือ 40 เอ็นทียู

3.2.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานความขุ่นต่าง ๆ ได้โดยนำสารละลายความขุ่นมาตรฐานที่มีความขุ่น 40 เอ็นทียูมาเจือจาง ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 การเจือจางสารละลายมาตรฐานความขุ่นต่าง ๆ

ความขุ่น (เอ็นทียู)	ปริมาตรของสารละลายความขุ่น 40 เอ็นทียู เจือจางให้เป็น 20 มล.
5	2.5
10	5.0
20	10.0
30	15.0
40	20.0

3.2.3.3 ทำเส้นโค้งมาตรฐานของความขุ่น โดยวัดเปอร์เซ็นต์ของความเข้มแสงที่กระจัดกระจายของสารละลายความขุ่นมาตรฐานเหล่านี้ โดยใช้เครื่องเนฟโฟมิเตอร์ ใช้น้ำกลั่นเป็นแบล็ก เขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์แสงที่กระจัดกระจายกับเอ็นทียู จะได้เส้นโค้งเป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น

3.2.3.4 อ่านค่าเปอร์เซ็นต์แสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างน้ำ และคำนวณค่าความขุ่นโดยอ่านจากเส้นโค้งมาตรฐานที่ได้

3.2.3.5 สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมากกว่า 40 เอ็นทียู ให้ทำการเจือจางก่อนด้วยน้ำกลั่น แล้วทำการคำนวณหาค่าความขุ่นที่แท้จริงจากสูตร ดังนี้

$$\text{ความขุ่น (เอ็นทียู)} = \frac{A \times (B+C)}{C}$$

เมื่อ A = ค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำ ที่ได้ทำการเจือจางแล้ว

B = มล. ของน้ำกลั่นที่ใช้ในการทำเจือจาง

C = มล. ของตัวอย่างน้ำที่นำมาทำการเจือจาง

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 เปิดเครื่องวัดความขุ่นและเตรียมเครื่องตามคู่มือการใช้ และวัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างตามวิธีของเครื่องนั้น ๆ

3.3.2 น้ำตัวอย่างต้องเขย่าให้เข้ากันดีก่อนเทใส่หลอดวัดตัวอย่าง เพื่อนำไปวัดความขุ่น

3.3.3 ถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นเกิน 40 เอ็นทียู ให้เจือจางตัวอย่างน้ำก่อน (ดังข้อ 3.2.3.5)

สารแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid , TSS) ซึ่งทำให้แห้งที่ 103 – 105^oซ.

1. หลักการ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ หรือสารแขวนลอย และของแข็งแขวนลอย หาได้จากการกรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองใยแก้ว อาจจะใช้ชุดกรองหรือกรวยบุคเนอรัก็ได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ไม่สามารถกรองผ่านกระดาษกรองได้ อาจใช้สำหรับวัดความสมดุลของของแข็งในระบบซึ่งเกี่ยวข้องกับการตกเก็บของแข็ง

2. ปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 กระดาษกรองใยแก้ว ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

2. 2 – 4.7 ซม.(glass – fiber filter disks ; Whatman grade 934AH ; Gelman type A/E ; Millipore type AP40 : E – D Scientific Specialties grade 161)

2.1.2 กรวยบุคเนอรั (buchner funnel) หรือชุดเขี่ยกรอง

2.1.3 ขวดดูด (suction flask) 500 มล. หรือ 1,000 มล.

2.1.4 เครื่องดูดอากาศ (suction pump)

2.1.5 ตู้อบแห้ง 103°C .

2.1.6 เครื่องชั่งวิเคราะห์ที่ติดตั้ง

2.1.7 ภาชนะกั้นแบน ทำจากอะลูมิเนียม หรือเหล็กไร้สนิม

2.1.8 โลหะแห้ง (desiccator)

2.1.9 กระบอกตวง

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 วางกระดาศกรองโดยให้ด้านขรุขระอยู่ด้านบนในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ เปิดเครื่องดูดอากาศ และล้างกระดาศกรองด้วยน้ำกลั่น 20 มล. โดยล้างติดต่อกันสาม ครั้ง เปิดเครื่องดูดอากาศต่อ เพื่อกำจัดน้ำจำนวนเล็กน้อยบนกระดาศกรอง

2.2.2 นำกระดาศกรองใส่ภาชนะแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}\text{C}$. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำกระดาศกรองออกจากเตาอบ ทิ้งให้เย็นในโลหะแห้ง ชั่งน้ำหนัก ทำการอบและชั่งน้ำหนักซ้ำจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งน้ำหนักที่สูญหายไป น้อยกว่า 0.5 มก. เก็บในโลหะแห้งจนกว่าจะใช้ และชั่งน้ำหนักทันทีก่อนนำไปใช้

2.2.3 เตรียมชุดกรองและวางกระดาศกรองโดยให้ด้านขรุขระอยู่ด้านบนในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาศกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อให้กระดาศกรองติดกับกรวยบุคเนอร์ (ควรให้กระดาศกรองอยู่ตรงกลางและขอบเรียบเสมอกัน)

2.2.4 กรองตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 100 มล. หรือจำนวนที่ต้องการในกระบอกตวง โดยกะให้อัตราการกรองเพียงพอ และสม่ำเสมอโดยที่ไม่มีการล้น ขณะทำการกรองให้ล้างกระบอกตวง แล้วเทลงผ่านกระดาศกรอง จากนั้นล้างบริเวณผนังและกระดาศกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มล. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที จนกระทั่งตัวอย่างน้ำไหลผ่านหมด

2.2.5 เมื่อแห้งแล้วนำกระดาศกรองออกมาวางในภาชนะเดิม แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}\text{C}$. เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโลหะแห้ง และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักครั้งแรก หรือน้ำหนักที่สูญหายไปน้อยกว่า 0.5 มก. เลือกอันใดอันหนึ่ง

2.3 การคำนวณ

$$\text{มก./ล. สารแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{(A-B) \times 1,000}{\text{มล. ตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาด + น้ำหนักของแข็งที่แห้ง, มก.

B = น้ำหนักของกระดาดกรอง, มก.

ให้เลือกปริมาตรตัวอย่างที่ให้ค่าของแข็งไม่มากกว่า 200 มก. แต่ถ้าหากใช้เวลาในการกรองมากกว่า 10 นาที ให้เพิ่มขนาดกระดาดกรอง หรือ ลดปริมาณตัวอย่างลง แต่ต้องให้มีค่าของแข็งไม่น้อยกว่า 0.25 มก.

ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (total dissolved solid, TDS) ซึ่งทำให้แห้งที่ 180°C .

1. หลักการ ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (dissolved solids) หมายถึง สารที่สามารถผ่านกระดาดกรองใยแก้วมาตรฐานแล้วยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำจนแห้ง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 180°C . การอบแห้ง จะทำให้สารอินทรีย์ลดลงโดยระเหยเป็นไอ แต่ยังไม่ถูกทำลาย คลอรีน และเกลือไนเตรทจะสูญหายไป โบคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอเนต ซึ่งบางส่วนอาจสลายเป็นรูปของออกไซด์ หรือเกลือโดยทั่วไปทั้งที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์เป็นหลัก หรือ มีฟิเอชสูงกว่า 9

2. ปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 กระดาดกรองใยแก้ว ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

2.2 – 4.7 ซม. (glass – fiber disks ; Whatman grade 934AH ; Gelman type A/E ; Millipore type AP40 : E – D Scientific Specialties grade 161)

2.1.2 กรวยบุคเนอร์ (buchner funnel) หรือชุดเยื่อกรอง

2.1.3 ขวดดูด (suction flask) 500 มล. หรือ 1,000 มล.

2.1.4 เครื่องดูดอากาศ (suction pump)

2.1.5 ตู้อบแห้ง 180°C .

2.1.6 เครื่องชั่งวิเคราะห์ที่ติดตั้ง

2.1.7 ภาชนะกั้นเบน ทำจากอะลูมิเนียม หรือเหล็กไร้สนิม

2.1.8 โถทำแห้ง (desiccator)

2.1.9 กระบอกตวง

2.1.10 จานระเหย (evaporating dishes) ความจุ 100 มล. ทำจาก เพลทดินนัม หรือ แก้วซิลิกา

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 นำจานระเหยที่แห้งและสะอาด ไปอบที่อุณหภูมิ $180 \pm 2^{\circ}\text{C}$. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำจานระเหยออกจากเตาอบ ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง เก็บในโถทำแห้งจนกว่าจะใช้ และชั่งน้ำหนักทันทีก่อนนำไปใช้

2.2.2 กรองสารแขวนลอยทั้งหมดออก หรือ อาจใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรองที่เหลือจากการหาสารแขวนลอยทั้งหมด

2.2.3 ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรองนี้ 100 มล. หรือจำนวนที่ต้องการใส่ลงในจานระเหยที่เตรียมไว้

2.2.4 นำจานระเหยไปประเหยน้ำให้แห้งบนเครื่องอังไอน้ำ ถ้าหากใส่น้ำตัวอย่างในจานระเหยไม่หมด ให้ระเหยไปชุดหนึ่งก่อน แล้วเติมน้ำตัวอย่างที่เหลือในจานระเหยใบเดิม และนำไปประเหยอีกครั้ง

2.2.5 นำจานระเหยไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $180 \pm 2^{\circ}\text{C}$. เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง และชั่งน้ำหนักทำการอบและทิ้งให้เย็นอีกในโถทำแห้ง จนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 4 % ของน้ำหนักครั้งแรก หรือน้ำหนักที่สูญหายไปน้อยกว่า 0.5 มก. เลือกอันที่น้อยที่สุด

2.3 การคำนวณ

$$\text{มก./ล. ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด} = \frac{(A-B) \times 1,000}{\text{มล.ตัวอย่าง}}$$

เมื่อ $A =$ น้ำหนักของจานระเหย + สารละลายที่แห้ง , มก.

$B =$ น้ำหนักของจานระเหย , มก.

ซีโอดี (chemical oxygen demand , COD)

1. ทฤษฎี วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (closed reflux method) เช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด สารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าในระบบเปิดเพราะมีเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจสอบฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกตรงรอยต่อของทีเอฟอีไลเนอร์ (TFE liner) หรือไม่ ฝาถูกของหลอดทดลองที่อาจเกิดชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรที่

จะต้องระมัดระวัง สำหรับการย่อยสลายในเตาอบจะใช้อุณหภูมิที่ 150°C . เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีไอดีต่ำควรใช้หลอดแก้วขนาด 25×250 มม. เพราะจะต้องใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่มาก

สารแทรกสอด โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์หาค่าซีไอดีจะไม่แม่นยำถ้าหากในตัวอย่างมีคลอไรด์มากกว่า 2000 มก./ล

2. การเก็บตัวอย่าง ควรเก็บตัวอย่างในขวดแก้วเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์หาซีไอดีในทันที หากไม่สามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้ทันทีให้เก็บรักษาตัวอย่างโดยการทำให้ตัวอย่างเป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. sulfuric acid) โดยให้ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรดต่ำไม่เกิน 2 ก่อนทำการวิเคราะห์ควรผสมตัวอย่างให้ตะกอนและน้ำตัวอย่างผสมกันดีโดยใช้เครื่องกวนผสม (homogenizer) ทั้งนี้เพื่อให้การปิเปตน้ำตัวอย่างจากขวดเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์เป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำที่เก็บมา ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีค่าซีไอดีสูงควรทำการเจือจางตัวอย่างก่อนมาทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดในการปิเปตตัวอย่างในปริมาณน้อย

3. ปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (digestion vessel) ควรใช้หลอดทดลองที่เป็นบอโรซิลิเกตซึ่งมีขนาด 16×100 มม. หรือ 20×150 มม. หรือ 25×150 มม. พร้อมทั้งฝาจุกที่บุด้วยทีเอฟอี

3.1.2 ที่วางหลอดทดลองสเตนเลส มีช่องหลาย ๆ ช่องซึ่งมีความลึก 45 ถึง 50 มม. เป็นช่องที่จะให้หลอดตั้งอยู่ได้พอดี

3.1.3 เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ ให้ความร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง $150 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

3.2 รีเอเจนต์

3.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์ ซึ่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบอุณหภูมิ 103°C . เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มล. เติมเมอร์คิวรีซัลเฟต (mercuric sulfate, HgSO_4) 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

3.2.2 กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (silver sulfate, Ag_2SO_4) จำนวน 5.5 กรัม ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) จำนวน 1 กิโลกรัม หรือละลายซิลเวอร์ซัลเฟต

จำนวน 22 กรัมในกรดซัลฟิวริก 2.5 ลิตร โดยต้องใช้เวลาในการละลายนานหนึ่งถึงสองวัน แต่ถ้าต้องการละลายให้เร็วขึ้นก็อาจจะใช้วิธีการกวนอย่างต่อเนื่องซึ่งวิธีนี้จะสามารถละลายซิลเวอร์ซัลเฟตได้ภายในเวลา 30 นาที

3.2.3 เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไปหรืออาจจะเตรียมขึ้นเองโดยละลาย 1,10 phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)หนัก 1.485 กรัมและเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (ferrous sulfate heptahydrate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$)หนัก 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มล.

3.2.4 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล. คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที้นำมาใช้ ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0167 โมลาร์ 5.0 มล. ใส่ขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วจึงค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มล. ทิ้งให้เย็น เติมเฟอโรอิน 2-3 หยดไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้จุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{โมลาริตีของเอฟเอเอส} = \frac{\text{ปริมาตรของ } K_2Cr_2O_7 [0.0167 M] \times 0.10}{\text{ปริมาตรเอฟเอเอสที่ใช้ไทเทรต}}$$

3.2.5 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลท ละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลท (potassium phthalate, $HCOOC_6H_4COOK$) ซึ่งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่แล้วที่อุณหภูมิ 120°C .หนัก 425 มก. ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1000 มล. ซึ่งในทางทฤษฎีโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลทมีค่าที่ไอเรติคัล (theoretical) ซีไอดีเท่ากับ 1.176 มก. O_2 /มก. และสารละลายนี้จะมีค่าที่ไอเรติคัล ซีไอดีเท่ากับ 500 มก./ล สารละลายนี้เมื่อเก็บไว้ในตู้เย็นจะคงสภาพอยู่ได้ถึงสามเดือน ถ้าไม่มีการเจริญเติบโตของจุลชีพ

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 ถ้างลอคย่อยสลายและฟาจุกด้วยกรดซัลฟิวริกร้อยละ 20 ก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

3.3.2 เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางที่ 29 (โดยอาจเจือจางน้ำก่อนถ้าความเข้มข้นของค่าซีไอดีสูง)

3.3.3 นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลาย เดิมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งได้แก่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

3.3.4 ค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกเอเจนต์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและน้ำย่อยสลาย

ตารางที่ 29 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่าง ๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของหลอด	ตัวอย่างน้ำ	สารละลายมาตรฐาน	กรดซัลฟิวริกเอเจนต์	ปริมาตรทั้งหมด
ย่อยสลาย (มม.)	(มล.)	โพแทสเซียมไดโครเมต (มล.)	(มล.)	(มล.)
16 × 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150	10.0	6.0	14.0	30.0

3.3.5 ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้ง เพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง ข้อควรระวัง ในขณะที่ผสมในภาชนะให้ใส่หน้ากากป้องกันและให้ใส่ถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนด้วย และต้องผสมของผสมให้เข้ากันให้ดีก่อนนำไปรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่เฉพาะที่ก้นหลอด เพราะอาจทำให้เกิดระเบิดได้

3.3.6 นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย หรือเตาอบ ซึ่งได้ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150°ซ. ก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางไว้ในที่ว่างหลอดทดลอง

3.3.7 เปิดฝาจุก ให้เทของผสมลงไปในภาชนะที่ใหญ่กว่าเพื่อนำไปไทเทรต เดิมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ประมาณ 0.05 – 0.1 มล. (1 หรือ 2 หยด) เขย่าให้เข้ากัน และไทเทรตด้วย 0.1 โมลาร์ FAS จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดงถึงแม้บางครั้งสีฟ้าอมเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาที่ถัดมา และในลักษณะเดียวกันให้ทำรีฟลักซ์และไทเทรตแบบค้ำที่มีรีเอเจนต์กับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

3.4 การคำนวณ

$$\text{COD as mgO}_2\text{/L} = \frac{(A-B) \times M \times 8 \times 1000}{\text{มล.น้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ COD = ค่าซีโอดี หน่วยเป็นมิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มล.)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มล.)

M = โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

8 = 32/4, เมื่อ 4 โมเลกุลของ FAS ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 โมเลกุล O₂ และ 32 เป็นมวลโมเลกุล (molecular weight) ของ O₂

1000 = มก./ก.

บีโอดี (biochemical oxygen demand, BOD₅)

1. ทฤษฎี ทดสอบค่าบีโอดีที่ 5 วัน (5-Day BOD Test, BOD₅) วิธีนี้ใช้หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยการวัดปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย การวิเคราะห์นี้ประกอบด้วยการวัดซีโโอก่อนและหลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C เป็นเวลา 5 วัน เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในกระบวนการชีวเคมี ในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดซึ่งมีความสกปรกมาก จำเป็นจะต้องทำการเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำเจือจางมาตรฐาน จากนั้นจึงทำการหาค่าซีโอก่อนและหลังจากบ่มเป็นระยะเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ คำนวณค่าบีโอดี และเนื่องจากออกซิเจนในอากาศสามารถละลายได้ในจำนวนจำกัดคือ ประมาณ 9 มก./ล. ในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°C ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสียซึ่งมีความสกปรกมากจึงจำเป็นต้องทำให้ปริมาณความสกปรกเจือจางลงอยู่ในระดับซึ่งสมมูลพอดีกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ และเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีนี้เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในน้ำจึงจำเป็นต้องทำให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ไม่มีสารพิษ แต่มีอาหารเสริมเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะกระทำโดยจุลินทรีย์หลายชนิดจึงจำเป็นต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านี้เพียงพออยู่ในน้ำตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ ถ้าไม่มีหรือมีปริมาณน้อยไปควรเติมจุลินทรีย์ ซึ่งเรียกว่าห้วเชื้อ (seed) ลงไปด้วย

2. การเก็บตัวอย่าง ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่าง ควรมีจุกเป็นกราวด์จอยท์ (ground joint) สำหรับน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป การเก็บตัวอย่างน้ำควรจะต้องล้างขวดด้วยน้ำตัวอย่างก่อนเก็บตัวอย่างให้เต็มขวด ปิดจุกทันทีเพื่อไม่ให้ฟองอากาศเหลืออยู่ในขวด การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำจะนำมาหาค่าบีโอดีในกรณีที่ทำการหาทันทีไม่ได้ให้เก็บไว้ในตู้อุณหภูมิค่าประมาณ 4°C . และนำมาตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเป็น 20°C . ก่อนจึงจะทำการวิเคราะห์

2.1 ตัวอย่างแยก (grab or catch samples) ถ้าสามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 2 ชั่วโมง ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องแช่เย็น แต่ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 2 ชั่วโมง ให้เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C . และให้เริ่มวิเคราะห์ภายใน 6 ชั่วโมง

2.2 ตัวอย่างรวมแบบคอมโพสิท (composite sample) ให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4°C . ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

3. ปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 บิวเรตต์ ขนาด 50 มล. มีขีดบอกปริมาตรทุก 0.1 มล.

3.1.2 ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาด 300 มล.

3.1.3 ฝาพลาสติกปิดปากขวดบีโอดีกันน้ำระเหย

3.1.4 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.

3.1.5 บีเปตต์ ขนาด 10 มล.

3.1.6 บีเปตต์วัดปริมาตร

3.1.7 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้เองโดยอัตโนมัติที่ 20°C .

(ต้องเป็นตู้ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้แสงผ่านเข้าไปได้ เพื่อป้องกันการเกิดคลอรีน อันเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสง)

3.1.8 กระบอกตวงขนาด 250 มล.

3.1.9 อุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์บีโอดี

3.2 สารเคมี

3.2.1 น้ำกลั่น น้ำกลั่นจะต้องมีคุณภาพดีกลั่นจากเครื่องกลั่นที่ทำด้วยแก้ว และมีปริมาณทองแดง น้อยกว่า 0.01 มก./ล. และต้องปราศจากคลอรีน คลอรามิน ความเป็นด่าง เนื่องจากไฮดรอกไซด์ อินทรีย์สารและกรดต่าง ๆ

3.2.2 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer solution) ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) หนัก 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (dipotassium hydrogen phosphate, K_2HPO_4) หนัก 21.75 กรัม

ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตาไฮเดรต (disodium hydrogen phosphate heptahydrate , $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)หนัก 33.4 กรัมและ แอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride , NH_4Cl)หนัก 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 มล. สารละลายนี้จะมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ

3.2.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate solution) ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต (magnesium sulfate heptahydrate , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)หนัก 22.5 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 มล.

3.2.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride solution) ละลายแอนไฮไดรตแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous calcium chloride , CaCl_2)หนัก 27.5 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 มล.

3.2.5 สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride solution) ละลายไอรออน (III) คลอไรด์เฮกซาไฮเดรต (ferric chloride hexahydrate , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 มล.

3.2.6 สารละลายกรดและด่าง เข้มข้น 1 นอ้มัล (acid and alkali solutions , 1N) ใช้สำหรับปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดและด่างให้เป็นกลางก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์

3.2.6.1 สารละลายกรด (acid) ค่อย ๆ เติมหวนช้า ๆ เมื่อใส่ 25 มล.กรดซัลฟูริกเข้มข้นผสมกับน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.2.6.2 สารละลายด่าง (alkali) ละลาย 40 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.2.7 สารละลายกลูโคส – กรดกลูตามิก (glucose – glutamic acid solution) นำสารกลูโคสและกลูตามิกชนิดรีเอเจนต์เกรดไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103°C . เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วให้สารผสมสองตัวนี้อย่างละ 150 มก. ผสมน้ำปรับจนมีปริมาตร 1 ลิตร ต้องเตรียมใหม่ในวันที่จะใช้ทำนั้น

3.2.8 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride solution) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.15 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. และปรับให้พีเอชเป็น 7.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH solution) หลังจากนั้นผสมน้ำปรับจนมีปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้จะประกอบด้วย 0.3 mg N/ml.

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ (sample pretreatment) ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำไม่เป็นกลางจะต้องทำให้มีพีเอช 6.5 – 7.5 ด้วย 1 นอร์มัลสารละลายกรด (H_2SO_4) หรือสารละลายด่าง ($NaOH$) และต้องระวังไม่ให้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.5 %

3.3.2 การวิเคราะห์มีสองวิธี

3.3.2.1 วิธีตรง (direct method) ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีค่าบีโอดีน้อยกว่า 7 มก./ล. และไม่ต้องเติมหัวเชื้อ ทำได้ดังนี้

นำตัวอย่างน้ำที่ปรับปรุงแล้วตามวิธีการในข้อที่ 3.3.1 มาปรับอุณหภูมิให้ได้ประมาณ $20 \pm 1^\circ C$. เติมน้ำออกซิเจนละลายอิ่มตัว (ใช้เวลาประมาณ 10 – 15 นาที) รินตัวอย่างน้ำลงใส่ขวดบีโอดีจนเต็มสามขวด ปิดจุกให้สนิท ดูให้แน่ใจว่ามีน้ำหล่อที่ปากขวด นำขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลายก่อน อีกสองขวดนำไปอินคิวเบตที่อุณหภูมิ $20 \pm 1^\circ C$. เป็นเวลา 5 วัน หลังจาก 5 วันแล้ว นำตัวอย่างน้ำมาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่

$$\text{การคำนวณ บีโอดี (มก./ล.)} = D_1 - D_2$$

เมื่อ D_1 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันแรก

D_2 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไทเทรตได้ในวันที่ 5 (ค่าเฉลี่ยของสองขวดที่เหลือ)

3.3.2.2 วิธีทำให้เจือจาง (dilution method) ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีความสกปรกสูง (มีค่าบีโอดีมากกว่า 7 มก./ล.) จำเป็นจะต้องทำให้ตัวอย่างน้ำที่สกปรกเจือจางลงโดยใช้น้ำผสมเจือจาง และควรทำหลาย ๆ ความเข้มข้นอย่างน้อยสามความเข้มข้น ทำได้ดังนี้

3.3.2.2.1 การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ 1 ลิตร ใส่ในขวดที่สะอาด ปรับอุณหภูมิของน้ำให้เท่ากับ $20 \pm 1^\circ C$. เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ อย่างน้อย 1 ชั่วโมง เติมน้ำออกซิเจนอิ่มตัวฟอสเฟตบีเฟอร์แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และเฟอร์ริกคลอไรด์ตามลำดับใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มล.ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

3.3.2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเจือจาง (dilution water) เติมน้ำเจือจางที่ยังไม่ได้ใส่หัวเชื้อลงในขวดบีโอดีสามขวด ขวดหนึ่งนำไปหาปริมาณออกซิเจนละลายก่อน อีก 2 ขวด ปิดจุกนำไปอินคิวเบต หลังจากนั้นนำมาหาค่าการใช้ออกซิเจนไป หลังจากอินคิวเบต 5 วัน ที่อุณหภูมิ $20^\circ C$. และไม่ต้องนำไปใช้ในการคำนวณ ผลต่างของปริมาณออกซิเจนละลายก่อนและหลัง 5 วัน ที่ $20^\circ C$. ไม่ควรเกิน 0.2 มก./ล. และจะยิ่งดีถ้าไม่เกิน 0.1 มก./ล.

3.3.2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการทำ
 เจือจางที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่
 ติดกันตามตารางที่ 30 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ค่าบีโอดีโดยประมาณก่อนเพื่อประกอบในการประมาณ
 อัตราการเจือจางได้ ค่อย ๆ รินน้ำเจือจางลงในกระบอกตวง (ขนาด 1000 มล.) ประมาณ 500 มล.
 โดยให้น้ำค่อย ๆ ไหลลงตามข้างกระบอกตวง พยายามอย่าให้มีฟอง เติมตัวอย่างน้ำตามส่วนที่
 คำนวณได้เพื่อให้ได้ตัวอย่างน้ำหลังจากที่เจือจางแล้วมีค่าความสกปรกน้อยกว่า 7 มก./ล. เติมน้ำ
 เจือจางลงไปในกระบอกตวงจนครบ 1000 มล. กวนให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วเสียบจุกยางไว้ที่ปลาย
 ชักขึ้นลงเบา ๆ โดยจะต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ ค่อย ๆ รินตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้วนี้ลง
 ในขวดบีโอดีที่แห้งและสะอาดจนเต็มขวดทั้ง 3 ขวด โดยจะต้องระวังไม่ให้มีฟองอากาศในขวดบีโอดี
 หลังจากปิดจุกให้สนิทแล้ว ขวดที่หนึ่งนำไปวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายวันแรก (D_1)
 ส่วนอีกสองขวดนำไปอินคิวเบตที่อุณหภูมิ 20°C . เป็นเวลา 5 วัน ก่อนนำไปอินคิวเบตให้ตรวจดูว่ามี
 น้ำหล่อที่ปากขวดและควรตรวจดูทุกวันอย่าให้แห้ง (ถ้าแห้งให้เติมด้วยน้ำเจือจาง) หรืออาจใช้ฝา
 พลาสติกครอบปากขวดกันน้ำระเหยก็ได้ ทำเช่นเดียวกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่า
 และสูงกว่าตามลำดับ

การหาค่าปริมาณดีโอที่จุดเริ่มต้น ใช้วิธีเอไซด์แบบ โมดิฟิเคชัน (azide modification) ดัง
 กล่าวในการหาค่าดีโอ

การเพาะเลี้ยง (incubation) เพาะเลี้ยงโดยเก็บสองขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือ
 จางในตู้เย็นมีอุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณดีโอ

ตารางที่ 30 ช่วงของค่าบีโอดีกับวิธีการเจือจางต่าง ๆ ของตัวอย่าง

Using Percent mixture		By direct pipetting into 300 ml bottles	
%mixture	Range of BOD	ml	Range of BOD
0.01	20,000 – 70,000	0.02	30,000 – 105,000
0.02	10,000 – 35,000	0.05	12,000 – 42,000
0.05	4,000 – 14,000	0.10	6,000 – 21,000
0.1	2,000 – 7,000	0.20	3,000 – 10,500
0.2	1,000 – 3,500	0.50	1,200 – 4,200
0.5	400 – 1,400	1.0	600 – 2,100
1.0	200 – 700	2.0	300 – 1,050
2.0	100 – 350	5.0	120 – 420
5.0	40 – 140	10.0	60 – 210
10.0	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

3.3.2.2.4 สารละลายมาตรฐานกลูโคส – กรดกลูตามิก (glucose-glutamic acid solution) เนื่องจากน้ำกลั่นที่ใช้ อาจจะมีสารพิษเจือปนอยู่ซึ่งมาจากเครื่องมือที่ใช้กลั่นน้ำ (โดยทั่วไปจะใช้เครื่องกลั่นแก้ว) โดยเฉพาะทองแดงซึ่งจะทำให้หัวเชื้อมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง มีผลทำให้ค่าบีโอดีที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง และเพื่อให้ทราบถึงการดำเนินการวิเคราะห์ว่าถูกต้องหรือไม่ จึงควรตรวจสอบโดยใช้สารอินทรีย์บริสุทธิ์ที่ทราบค่าบีโอดีแล้ว สารประกอบมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ กลูโคส และกรดกลูตามิก ทั้งนี้เนื่องจากกลูโคสถูกออกซิไดส์ได้ง่ายและใช้ได้กับหัวเชื้อทั่วไป

วิธีการเตรียม การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิก ทำได้โดยการละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก (ซึ่งได้อบแห้งที่ 103°C . นาน 1 ชั่วโมงแล้ว) อย่างละ 150 มก. ในน้ำกลั่น และเจือจางจนได้ปริมาณ 1000 มล.

วิธีการวิเคราะห์ คูณสารละลายที่เตรียมมา 20 มล. ใส่กระบอกวงขนาด 1,000 มล. เติมหหัวเชื้อ 2 มล. เติมน้ำผสมเจือจางจนครบปริมาตร 1,000 มล. ผสมให้เข้ากัน เทลงขวดบีโอดี จนเต็ม ปิดจุกให้แน่น ขวดหนึ่งนำไปไทเทรตหาค่าออกซิเจนละลายวันแรกอีกสองขวดนำไปอินคิวเบต

พร้อมกับน้ำตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 20°ซ. นาน 5 วัน จากนั้นนำมาหาค่า ออกซิเจนที่ใช้ไป (oxygen depletion) และคำนวณค่าบีโอดีที่ได้

3.3.2.2.5 การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่าบีโอดี ผลที่น่าเชื่อถือ และจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมียค่าปริมาณดีโอเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มก./ล. และต้องมีค่าปริมาณดีโอลดลงไปอย่างน้อย 2 มก./ล. ของตัวอย่างที่ทำการเจือจาง จึงจะทำให้ค่าบีโอดีที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

3.3.2.2.6 การคำนวณ เมื่อใช้น้ำเจือจางที่ไม่ได้เติมน้ำเชื้อ

$$BOD_5, \text{ มก./ล.} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

เมื่อ D_1 = ดีโอ ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วและวัดในทันที, มก./ล.

D_2 = ดีโอ ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วและนำไปอินคิวเบต 5 วัน ที่ 20°ซ.,

มก./ล

P = เศษส่วนปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ ต่อปริมาตรรวม (ปริมาตรตัวอย่าง, มล. / ปริมาตรน้ำเต็มขวดบีโอดี (300, มล.))

3.3.2.2.7 วิธีการตรวจสอบการวิเคราะห์ ทำโดยหาค่าบีโอดี 5 วัน ของสารละลายเจือจาง 2% ของสารละลายตรวจสอบมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิกนี้ตามขั้นตอนที่ 3.3.2.2.4 และเนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่าบีโอดีที่ได้ การประเมินผลสามารถทำได้ดังนี้ เปรียบเทียบและปรับปรุงวิธีวิเคราะห์จากช่วงควบคุมจำกัด (control limit) ที่ได้จากค่าบีโอดีหลายห้องปฏิบัติการ ได้วิเคราะห์ออกมาจากสารละลายตรวจสอบมาตรฐานนี้ ตาม standard method for the examination of water and wastewater (Lenore, Arnold, and Trussell, 1989) ช่วงควบคุมจำกัดสำหรับค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ยหลายแห่งจากห้องปฏิบัติการในสหรัฐอเมริกา ที่ทำการวิเคราะห์จากสารละลายตรวจสอบมาตรฐาน 300 มก./ล. ของกลูโคสและกรดกลูตามิก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 198 มก./ล. และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 30.5 มก./ล.)

ค่าออกซิเจนที่ละลาย (dissolved oxygen , DO)

1. ทฤษฎี วิธีไฮไดรด์แบบโมดิฟิเคชัน (azide modification) การหาค่าออกซิเจนละลาย หรือดีโอ คือ การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำอันเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่า น้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ตลอดจนใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำ

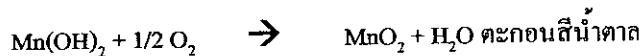
วิธีไฮไดรด์แบบปรับปรุงเป็นวิธีที่ใช้หาปริมาณออกซิเจนละลายได้ดีในน้ำเกือบทุกชนิด แม้ว่าจะยังใช้ไม่ได้กับน้ำเสียจากโรงงานบางอย่าง หรือน้ำที่มีสารลดออกซิเจนหรือสารเติมออกซิเจนอยู่ วิธีนี้เหมาะที่จะวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและไม่เหมาะที่จะใช้ในภาคสนามหรือใช้วัดออกซิเจนในแม่น้ำและในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งต้องวัดออกซิเจนละลายอย่างต่อเนื่อง

หลักการคือ ออกซิเจนจะออกซิไดส์ Mn^{+2} ไปเป็น Mn^{+4} ภายใต้สภาวะเป็นด่าง Mn^{+4} นี้สามารถจะออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I_2 อิสระภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นั่นคือปริมาณของ I_2 อิสระที่ถูกขับออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไทโอซัลเฟตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

เมื่อเติมแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) และ สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-ไฮไดรด์ (alkali-iodine - azide)



ถ้าในน้ำมีก๊าซออกซิเจน (O_2) จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้



เมื่อเติมกรดกำมะถันเข้มข้น I^- จะถูกออกซิไดส์ไปเป็น I_2



ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เพื่อหาค่า I_2 ที่เกิดขึ้น



2. การเก็บตัวอย่าง ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วระดับดีไอในตัวอย่างที่จะเก็บมักจะต่ำกว่าค่าอิมิตัว การปล่อยให้ตัวอย่างนั้นสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดการผิพลาดของผลที่จะหาได้ ด้วยเหตุนี้ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างที่จะหาดีไอ จะต้องยึดหลักที่จะไม่ให้ตัวอย่างที่เก็บมาถูกอากาศ ดังนั้นจึงเป็นกรวดจ้อยท์ สำหรับน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป การเก็บตัวอย่างน้ำควรจะล้างขวดด้วยน้ำตัวอย่างก่อนเก็บตัวอย่างให้เต็มขวด ปิดจุกทันทีเพื่อไม่ให้ฟองอากาศเหลืออยู่ในขวด

การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่าดีไอในกรณีที่ทำกรหาพื้นที่ไม่ได้ ควรทำการฟิ๊คซ์ ตัวอย่างทันทีที่เก็บ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนของค่าดีไอ เนื่องจากปฏิกิริยาทางชีวะซึ่งทำได้โดย

2.1 สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีค่าไอโอได้น คีมานด์ (iodine demand) อาจเก็บไว้ได้ 2 – 3 ชั่วโมง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากการเติมน้ำยาเคมีที่ใช้ในการหาดีไอ คือ แมงกานีสซัลเฟต , อัลคาไล-ไฮโอไดค์-เอไซด์ และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ตามด้วยการเขย่าอย่างเช่นที่ทำในการหาดีไอ ตัวอย่างที่ทำถึงจุดนี้แล้ว จะต้องป้องกันไม่ให้ถูกแสงจ้า ๆ และทำการไทเทรตทันทีที่นำตัวอย่างมาถึงห้องวิเคราะห์

2.2 ถ้าสำหรับตัวอย่างที่มีค่าไอโอได้น คีมานด์ การเก็บ 4 – 5 ชั่วโมง อาจทำได้โดยเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.7 มล. และโซเดียมไฮโอไซด์ (NaIO_3) 1 มล. (2 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล.) ลงในตัวอย่างในขวดบีโอดี เก็บที่อุณหภูมิ 10 – 20°C. โดยหล่อน้ำกลั่นบนจุกขวด และทำการเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มล. อัลคาไล-ไฮโอไดค์ 3 มล. และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 มล. ทันทีที่ถึงห้องปฏิบัติการ และทำการไทเทรตต่อจนเสร็จ

ตัวอย่างที่ทำการฟิ๊คซ์แล้วควรเก็บไว้ในที่มืดและเย็นจนกระทั่งถึงเวลาวิเคราะห์

3. ปฏิบัติการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 บิวเรตต์ มีขีดบอกปริมาตรถึง 0.1 มล. ขนาด 50 มล.
- 3.1.2 ขวดบีโอดี ขนาด 300 มล. พร้อมจุกแก้วที่เป็นกรวดจ้อยท์
- 3.1.3 ขวดรูปชมพู่ปากกว้าง ขนาด 250 มล.
- 3.1.4 ปีเปดค์ ขนาด 10 มล.
- 3.1.5 กระบอกตวง ขนาด 250 มล.
- 3.1.6 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 201 มล.

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 400 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 364 กรัม ในน้ำกลั่น

400 ถึง 600 มล. กรองด้วยกระดาษกรอง เติมน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายที่เตรียมได้ ไม่ควรให้สักับน้ำแข็งเมื่อเติมลงไปในการละลายที่ทำให้เป็นกรดแล้วของโปแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

3.2.2 สารละลายอัลคาไล - ไอโอไดด์ - เอไซด์ (alkali - iodide - azide reagent) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 700 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม หรือ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 150 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ซึ่งละลายในน้ำกลั่น 40 มล. ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายที่เตรียมได้ ไม่ควรให้สักับน้ำแข็งเมื่อเติมลงไปในการละลายที่ทำให้เป็นกรด สารละลายจะมีลักษณะขาวเนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) แต่จะไม่มีผลต่ออย่างใด ข้อพึงระวัง ห้ามปรับสภาพสารละลายนี้ให้เป็นกรด เพราะจะเกิดควันของกรดไฮดราโซอิก (hydrazoic acid) ที่เป็นพิษ

3.2.3 กรดซัลฟิวริก 18 M (sulfuric acid) ซึ่ง 1 มล. จะสมมูลกับ 3 มล. ของสารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นรีเอเจนต์เกรด (พึงใช้อย่างระมัดระวัง เพราะสารนี้เมื่อถูกมือและเสื้อผ้าจะทำให้ไหม้ได้ ให้ล้างบริเวณที่เปื้อนด้วยน้ำก๊อกเพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายหรือบาดเจ็บ)

3.2.4 น้ำแป้ง (starch solution) ละลายแป้ง (soluble starch) จำนวน 2 กรัม และกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 0.2 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อย เทส่วนผสมนี้ลงในน้ำกลั่นที่ร้อน 100 มล. นำไปต้มให้เดือด 2 - 3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นและทิ้งให้ตกตะกอนข้ามคืน แล้วดูเอาเฉพาะส่วนใสมาเก็บไว้ส่วนที่เหลือให้ทิ้งไป

3.2.5 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้นที่ต้องการก่อน โดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.82 กรัม ในน้ำกลั่นซึ่งต้มใหม่ ๆ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1.6 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (standardization) ด้วยสารไบโอไอเดค และเมื่อทราบ ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจึงนำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มี ความเข้มข้น 0.025 M. และหาความเข้มข้นที่แน่นอนอีกที

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่เตรียมไว้ ให้ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 2 กรัม ในขวดรูปกรวยด้วยน้ำกลั่น 100 - 150 มล. เติม 10 มล. ของ สารละลายระหว่างน้ำ 1 มล. กับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 9 มล. ลงไป ตามด้วย 20 มล. สารละลายมาตรฐานไบโอไอเดค [$\text{KH}(\text{IO}_3)_2$] 0.025 โมล เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มล. ไทเทรต I_2 ซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ให้เติมน้ำแป้ง

เมื่อใกล้จะถึงจุดยุติ (end point) ซึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายเป็นสีฟางข้าว ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต มีความเข้มข้น 0.025 โมล พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20 มล.พอดี ปกติแล้วมักปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ให้เท่ากับ 0.0250 นอร์มัลพอดี เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

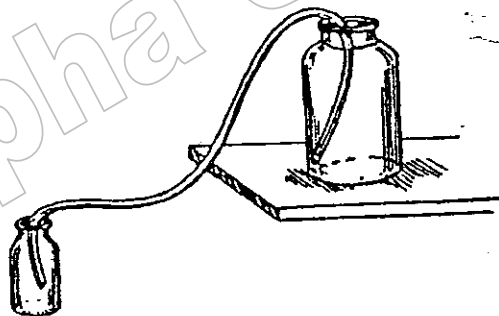
3.2.6 สารละลายมาตรฐานโพดัสเซียมไบโอไอเดต 0.0021 M ละลายโพดัสเซียมไบโอไอเดต $[KH(IO_3)_2]$ 812.4 มก. ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ในขวดบีโอดีขนาด 300 มล. ให้เต็มโดยวิธีกลักน้ำอย่างช้า ๆ และปล่อยให้มันสักระยะหนึ่งให้แทนที่ปริมาตรของขวดสองถึงสามเท่า (ภาพที่ 45) ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ

3.3.2 เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มล. และสารละลายอัลคาไล - ไอโอไดค์ - เอไซด์ 1 มล. โดยให้ปลายปิเปตต่ออยู่ที่ผิวของตัวอย่างน้ำ

3.3.3 ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลงเบา ๆ ประมาณ 15 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เขย่า แล้วปล่อยให้ตกตะกอนนอนก้นอีกครั้ง (ถ้าเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)



ภาพที่ 45 ใส่ตัวอย่างลงในขวดบีโอดี ด้วยวิธีกลักน้ำ

3.3.4 ภายหลังจากสังเกตเห็นน้ำข้างบนมีปริมาตรได้ประมาณ 100 มล. เปิดจุกออก แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มล. โดยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ ขอบขวด โดยวางปิเปตเหนือบริเวณผิวน้ำ ปิดจุก ผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลงเบา ๆ จนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้ไอโอดีนที่เกิดกระจายไปทั่วขวดก่อนริน แต่อย่าให้ถูกแสงแดดโดยตรง ในสภาวะนี้สารละลายจะเก็บไว้ได้ 2 ชั่วโมง

3.3.5 เปรียบเทียบมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมลลงในบิวเรตที่สะอาดและแห้ง

3.3.6 คำนวณปริมาตรของตัวอย่างที่จะใช้ในการไทเทรตโดยยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง 200 มล.เป็นหลัก นั่นคือ ถ้าขนาด 300 มล. และเติมน้ำยาเคมีแมงกานีสซัลเฟต และอัลคาไล-ไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ ลงไปทั้งหมด 2 มล. ปริมาตรที่จะต้องนำมาไทเทรตจะเป็น $200 \times 300 / (300-2) = 201$ มล.

3.3.7 ดูดสารละลายดังกล่าวมา 201 มล. ในขวดรูปชมพู่ โดยใช้ขวดวัดปริมาตร และนำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายเริ่มจางลง (เนื่องจากขวดบิวเรตมาตรฐานมีความจุ 300 มล. ดังนั้นวิธีที่ง่ายก็คือเทสารละลายออก 99 มล. ในกระบอกตวงและทำการไทเทรตสารละลายที่เหลือ 201 มล. โดยตรงในขวดบิวเรต ก็จะเป็นการลดขั้นตอนลงไป)

3.3.8 เติมน้ำแข็ง 1 มล. จะได้สีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไปเป็นครั้งแรก

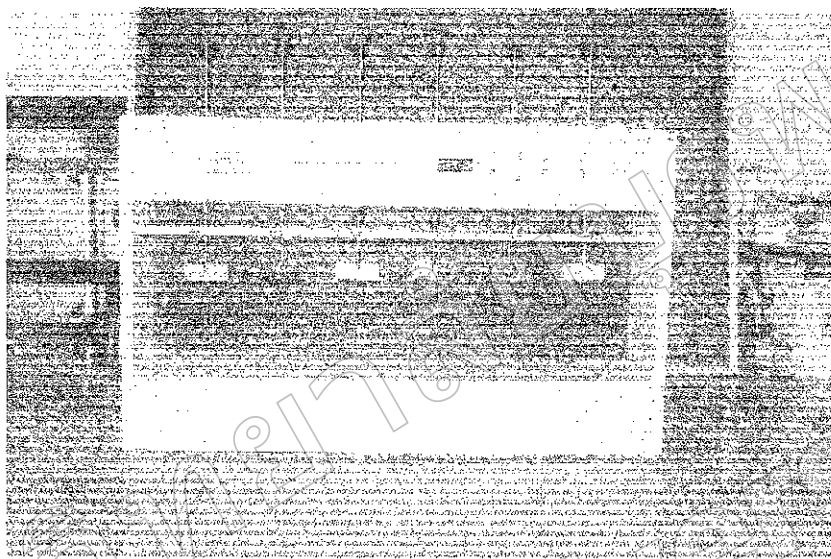
3.3.9 ถ้าหาก ไทเทรตจนเลยจุดยุติ ให้ทำการไทเทรตย้อนกลับด้วย 0.0021 M สารละลายไบไฮดรอกไซด์ หรือโดยการเติมปริมาณน้ำตัวอย่าง การแก้ไขปริมาณของสารละลายไบไฮดรอกไซด์ หรือ น้ำตัวอย่าง ไม่ต้องพิจารณาถึงที่เกิดขึ้นภายหลังจากตัวละลายโซลต์ของไนไตรท์หรือเกลือเฟอร์ริกที่ไม่ได้ประกอบด้วยฟลูออไรด์

3.4 การคำนวณ ค่าออกซิเจนละลายแสดงผลเป็นมก./ล. ซึ่งเทียบเท่ากับจำนวนมล.ทั้งหมดของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M ที่ใช้ไปในการไทเทรต 1 มล. ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เท่ากับ 1 มก./ล. ของออกซิเจนละลาย ($1 \text{ ml } 0.025 \text{ M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1 \text{ mg DO/L}$)

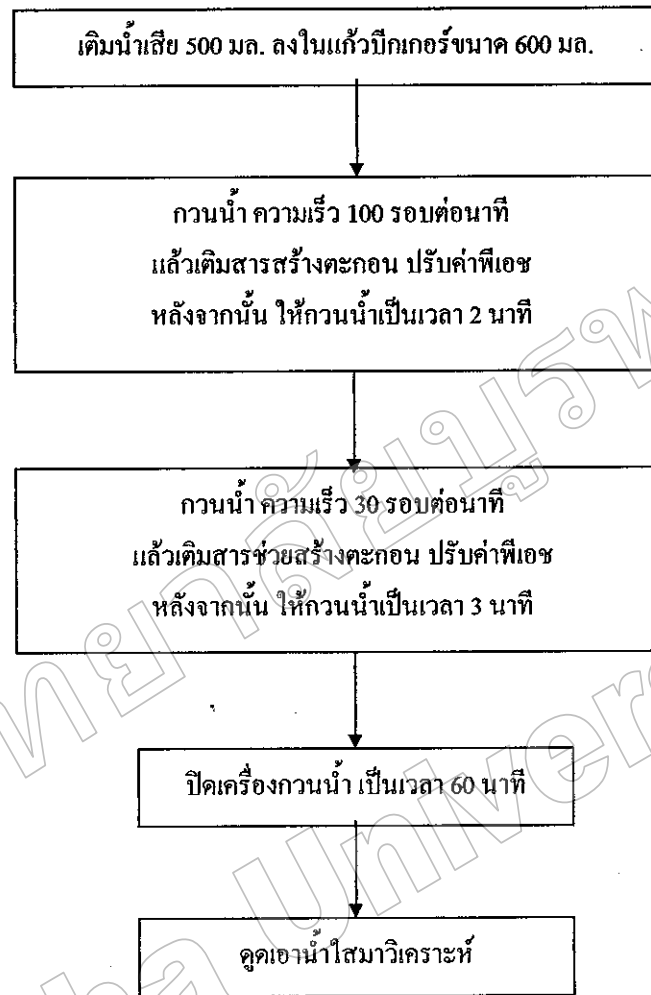
วิธีการทดสอบจาร์เทสต์

เติมน้ำตัวอย่าง 500 มล. ลงในแก้วบีกเกอร์ขนาด 600 มล. แต่ละใบจำนวน 6 ใบและเปิดเครื่องกวนน้ำอย่างเร็วที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที แล้วเติมสารสร้างตะกอน(โคแอกกูแลนต์) ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไปในแก้ว หากต้องการปรับค่าพีเอชของน้ำให้ปรับภายหลังจากเติมสารสร้างตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล หลังจากนั้นให้กวนน้ำเป็นเวลา 2 นาที กวนน้ำอย่างช้าที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที แล้วเติมสารช่วยสร้างตะกอน(โคแอกกูแลนต์เอ็ด) ความเข้มข้นต่างๆ ลงไปในแก้ว ปรับพีเอชหากต้องการ หลังจากนั้นให้กวนน้ำเป็นเวลา 3 นาที ทิ้งให้ตกตะกอนโดยปิดเครื่องกวนน้ำเป็นเวลา 60

นาที่ ใช้เปิดดูเอาแต่น้ำใสออกจากแก้วโดยมิให้กระเทือนถึงตะกอนที่จมอยู่ก้นแก้ว วิเคราะห์น้ำใสเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สรุปขั้นตอนได้ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 46 อุปกรณ์ทดสอบจาร์ทดสอบ



ภาพที่ 47 ขั้นตอนการทดสอบการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์

ภาคผนวก ก
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

ตารางที่ 31 กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามประกาศกระทรวง
อุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

อันดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
1.	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.5-9.0
2.	ค่าที่เค็ช (TDS)	มก./ล	3,000(5,000)
3.	สารแขวนลอย (SS)	มก./ล	50(150)
4.	โลหะหนัก		
	- ปรอท (Hg)	มก./ล	0.005
	- เซเลเนียม (Se)	มก./ล	0.02
	- แคดเมียม (Cd)	มก./ล	0.03
	- ตะกั่ว (Pb)	มก./ล	0.2
	- อาร์เซนิก (As)	มก./ล	0.25
	- โครเมียม Trivalent (Cr^{3+})	มก./ล	0.75
	- แบเรียม (Ba)	มก./ล	1.0
	- นิกเกิล (Ni)	มก./ล	1.0
	- ทองแดง (Cu)	มก./ล	2.0
	- สังกะสี (Zn)	มก./ล	5.0
	- แมงกานีส (Mn)	มก./ล	5.0
5.	ซัลไฟด์ในรูป H_2S	มก./ล	1.0
6.	ไซยาไนด์ในรูป HCN	มก./ล	0.2
7.	ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	มก./ล	1.0
8.	สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds)	มก./ล	1.0
9.	คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มก./ล	1.0
10.	เพสทิไซด์ (Pesticide)	-	ไม่พบ
11.	อุณหภูมิ (Temperature)	$^{\circ}C$	40
12.	สี (Color)	-	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

ตารางที่ 31 (ต่อ) กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามประกาศกระทรวง
อุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

อันดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
13.	กลิ่น (Odor)	-	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
14.	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	มก./ล	5(15)
15.	ค่าทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล	100(200)
16.	ค่าบีโอดี (BOD)	มก./ล	20(60)
17.	ค่าซีโอดี (COD)	มก./ล	120(400)

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานในวงเล็บ () ให้ดูคำอธิบายในหมายเหตุแนบท้าย

ตารางที่ 32 หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

อันดับ	รายละเอียด
1.	ทีดีเอส (Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้ 1.1 ค่าทีดีเอสไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 1.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2.	สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
3.	น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 32 (ต่อ) หมายเหตุแนบท้ายตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

อันดับ	รายละเอียด
4.	ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.	ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
6.	ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร