

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาการวิเคราะห์บีไอดี

นางสาวศิริรักษ์ ทรัพย์สมบูรณ์
นายสวีโรจน์ แสงเจริญวานากุล
นายสุทธิพงษ์ ฉันทิกุล

๒/๗

๕ ๗๗๒ ๗

เลขหมู่ 2537
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี

612549007

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

Development of BOD Analysis

**SIRIRUK SUBSOMBOON
SWEEROJ SANGCHAROENVANAGUL
SUTTHIPONG CHANTHIGUL**

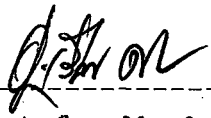
**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Biology
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

1994



หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาการวิเคราะห์บีบีโอดี
โดย นางสาวศิริรักษ์ ทรัพย์สมบูรณ์
 นายสวี่โรจน์ แสงเจริญวานากุล
 นายสุทธิพงษ์ ฉันทิกุล
ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วันชัย สุทธิบุญ

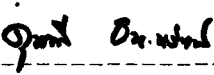
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยา-
ศาสตร์บัณฑิต



(ดร.อุ้นเรื่อน ศิริวานิชกุล)

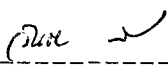
หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ




(รศ.ดร. ชวนิตี ธนะบริพัฒน์)

ประธานกรรมการ



(อาจารย์ วันชัย สุทธิบุญ)

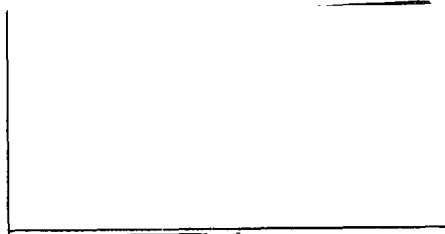
กรรมการ



(อาจารย์ อารี กังแสด)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาการวิเคราะห์บีไอดี
นักศึกษา	นางสาวศิริรักษ์ ทรัพย์สมบูรณ์ นายสวีโรจน์ แสงเจริญวานากุล นายสุทธิพงษ์ ฉันทิกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วันชัย สุทธิหุ่น
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์
ปีการศึกษา	2537

บทคัดย่อ

ในการหาค่าบีไอดีของตัวอย่างน้ำทิ้งนั้นต้องใช้เวลาจนถึง 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดความล่าช้า ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะหาวิธีลดเวลาในการวิเคราะห์ลง โดยการนำตัวอย่างน้ำทิ้งมาบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือ 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น เพื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 3 ประเภทเป็นตัวแทนของน้ำทิ้งที่มีโปรตีน, คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และน้ำที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ตามลำดับ เมื่อใช้ผลของค่าบีไอดีที่ 20 องศาเซลเซียสเวลา 5 วัน เป็นค่ามาตรฐาน(ให้บีไอดีเป็นค่าร้อยละ 100) แล้วทำการเปรียบเทียบค่าบีไอดีที่วันและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ให้ผลของค่าบีไอดีเทียบเท่ากับค่ามาตรฐานได้ผลดังนี้ น้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักเทียบได้กับบีไอดี $4.12,25$, บีไอดี $3.58,30$, บีไอดี $2.87,37$ และบีไอดี $3.56,น้ำ$, น้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักเทียบได้กับค่าบีไอดี $3.63,25$, บีไอดี $3.31,30$, บีไอดี $2.47,37$ และบีไอดี $3.44,น้ำ$, น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่เทียบได้กับบีไอดี $3.66,25$, บีไอดี $2.95,30$, บีไอดี $2.40,37$ และบีไอดี $3.48,น้ำ$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อบีไอดีมีค่าเทียบเท่ากับค่ามาตรฐานดังกล่าว น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทมีแนวโน้มในการใช้เวลาลดลงเป็นไปในทางเดียวกัน คือที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการหาค่าบีไอดีน้อยที่สุด ตามด้วยอุณหภูมิ30, อุณหภูมิน้ำ และ25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความสัมพันธ์ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท พบว่าอุตสาหกรรมที่มีสาร โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ จะใช้เวลาในการหาค่าบีไอดีที่อุณหภูมิเดียวกันใกล้เคียงกันมากกว่าอุตสาหกรรมที่มีสาร คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

Special Project Title Development of BOD Analysis
 Name Siriruk Subsomboon
 Saweeroj Sangcharoenvanagul
 Sutthipong Chanthigul
 Special Project Advisor Wanchai Suthinoon
 Department Applied Biology
 Academic Year 1994

Abstract

BOD analysis of wastewater usually take 5 days at 20°C which is considered to be quite a slow procedure. Thus, the quicker method has been proposed by raising the incubation temperature from 20°C to 25°, 30°, 37°C and at water temperature . It is presumed that the degradation of organic matter would be faster at higher temperature. Three types of wastewater samples containing protein, carbohydrate and inorganic matter respectively were used in this present study and the comparison between BOD at various temperatures and at 20°C (5 days) were examined. The results showed that BOD_{5,20} of wastewater containing carbohydrate is BOD_{4.12,25} , BOD_{3.58,30} , BOD_{2.87,37} and BOD_{3.56,water} . BOD_{5,20} of wastewater containing protein is BOD_{3.63,25} , BOD_{3.31,30} , BOD_{2.47,37} and BOD_{3.44,water} . BOD_{5,20} of wastewater containing inorganic matter is BOD_{3.66,25} , BOD_{2.95,30} , BOD_{2.40,37} and BOD_{3.48,water} . Incubation time of all the samples was decreased with the increased temperatures and 37°C showed to give the shortest incubation period for BOD analysis followed by 30°C ,water temperature and 25°C respectively. BOD analysis of wastewater containing protein is similar to the analysis of wastewater containing inorganic matter.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์วันชัย สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาควบคุมโครงการพิเศษ ซึ่งควบคุมดูแลการปฏิบัติการให้แนวคิด ให้ข้อมูลเอกสารที่ใช้ประกอบการค้นคว้าที่เป็นประโยชน์ และให้ความเอาใจใส่ และติดตามผลการดำเนินงานเป็นอย่างดี รศ.ดร.คุณณี ฐนะบริพัฒน์ และอาจารย์อารี กังแฮ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และชี้แนะเกี่ยวกับข้อมูลในการดำเนินการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ คุณศิริินภา ศรีทองทิม นักวิชาการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กระทรวง - วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และพลังงาน ที่ช่วยกรุณาช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล การแปรผล และแนะนำวิธีการดำเนินงานได้เป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2538

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 ครรชนิที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำเสีย	3
2.2 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรดชีวภาพ	9
2.3 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี	10
2.4 การหาค่าบีโอดีโดยวิธีเฮรบีโอดี	12
2.5 การทดลองวัดค่าบีโอดีในเขตร้อน	13
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	14
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	14
3.2 วิธีการ	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง	22
4.1 ลักษณะทางกายภาพ	22
4.2 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง	23
4.3 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง	24
4.4 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับค่าซีโอดี	41
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุป	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
ภาคผนวก	43
ก. การวิเคราะห์ซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด	43
ข. รูปจากการทดลอง	45
ค. ข้อมูลการทดลอง	61
เอกสารอ้างอิง	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ช่วงของค่าบีโอดีที่วัดได้ตามเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง	20
4-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้ง	22
4-2 ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	23
4-3 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก	24
4-4 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก	25
4-5 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่าค่ามาตรฐาน ของน้ำทิ้งที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก	25
4-6 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก	30
4-7 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก	30
4-8 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่าค่ามาตรฐาน ของน้ำทิ้งที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก	35
4-9 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่	35
4-10 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่	36
4-11 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่าค่ามาตรฐาน ของน้ำทิ้งที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่	36
4-4 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับค่าซีโอดี	41
6-1 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1	61
6-2 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2	62
6-3 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1	63
6-4 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2	64
6-5 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1	65

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6-6	ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์ เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2	66

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์	11
2 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1	26
3 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	27
4 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2	28
5 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	29
6 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1	31
7 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	32
8 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ครั้งที่ 2	33
9 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	34
10 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1	37
11 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	38
12 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2	39
13 คำปีโอติของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ	40
14 ตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทำการทดลอง	45
15 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีไอติ	45
16 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใส่สารเคมีเตรียมวิเคราะห์ซีไอติ	46
17 ลักษณะการรีฟลักซ์แบบเปิดใช้เวลา 2 ชั่วโมง	46
18 ลักษณะการไทเทรตด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต	47
19 ลักษณะสีก่อนถึงจุดยุติ	47
20 ลักษณะสีเมื่อถึงจุดยุติ	48
21 สารเคมีที่ใช้ในการทำน้ำเจือจาง	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
22	น้ำเจือจางที่มีการให้อากาศ 1 ชั่วโมง	49
23	การตรวจน้ำ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยน้ำไม่เกิดฟองอากาศ	49
24	วิธีการทำเจือจาง (dilution method)	50
25	การทำการคนเพื่อให้มีความเข้มข้นเท่ากัน	50
26	เทคนิคการใส่น้ำในขวดบีโอดี	51
27	อัตราการเจือจางน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	51
28	ตู้ที่ใช้ในการบ่มน้ำตัวอย่าง	52
29	สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	52
30	เทคนิคในการใส่สารละลายแมงกานีสซัลเฟต	53
31	เทคนิคในการใส่สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดค์ เอ ไฮค์ (เอไอเอ)	53
32	ตัวอย่างน้ำเสียที่ใส่แมงกานีสซัลเฟต และเอไอเอ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน	54
33	ลักษณะน้ำตัวอย่างที่มีตะกอนสีขาวเมื่อใส่แมงกานีสซัลเฟต และเอไอเอแล้ว	54
34	เทคนิคในการใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	55
35	น้ำตัวอย่างที่มีการใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น	55
36	ลักษณะน้ำตัวอย่างที่ใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้นแล้วไม่มีสี ไม่สามารถวัดค่าได้	56
37	เทคนิคการตรวจเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศ	56
38	ปริมาณน้ำเสียดวงครบ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร	57
39	เทคนิคการเทตัวอย่างน้ำใส่ขวดเพื่อนำไปไทเทรต	57
40	สารเคมีที่ใช้ในการไทเทรตหาค่าการละลายออกซิเจน	58
41	การไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต	58
42	ลักษณะสีก่อนเติมน้ำแป้ง	59
43	ลักษณะสีเมื่อเติมน้ำแป้ง	59
44	ลักษณะสีเมื่อถึงจุดยุติ	60

บทที่ 1

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ได้อาศัยน้ำเพื่อเป็นปัจจัยในการดำรงชีพทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเป็นองค์ประกอบขั้นพื้นฐานที่สำคัญของร่างกายมนุษย์ ได้มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น การอุปโภคบริโภค การผลิตพลังงาน การชลประทาน การประมง การสาธารณสุข การอุตสาหกรรม การคมนาคม และการเกษตร ปัจจุบันการใช้น้ำเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรที่มีจำนวนมากขึ้น ประกอบกับความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรม เพราะน้ำเมื่อผ่านกระบวนการใช้งานหนึ่ง ๆ ย่อมมีระดับคุณภาพเปลี่ยนไปซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ

การวิเคราะห์ความสกปรกของน้ำจากแหล่งต่าง ๆ นั้นมีวิธีการที่นิยมใช้คือ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการสลายสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำทั้งหมดที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และไม่ได้ ข้อดีของวิธีนี้คือใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น อีกค่าหนึ่งคือ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการสลายสารอินทรีย์ในน้ำเท่านั้น ซึ่งในการวิเคราะห์ต้องนำตัวอย่างน้ำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำในประเทศหนาวเป็นเวลา 5 วัน ถึงแม้ว่าค่าที่วิเคราะห์จะใกล้เคียงกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในธรรมชาติ แต่เนื่องจากเวลาที่ใช้นานเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาด่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำได้ทัน่วงที

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาการหาค่าบีโอดีโดยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีใช้อิเล็กโทรดชีวภาพ วิธีอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี หรือวิธีเฮปบีโอดี จนมาถึงวิธีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการบ่มจาก 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์บีโอดีลงได้ โดยที่ผลยังคงใกล้เคียงกับค่าบีโอดีปกติ น่าจะเป็นการช่วยควบคุมมลพิษทางน้ำได้เร็วขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิและเวลาในการหาค่าบีโอดีของน้ำทิ้งประเภทต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีโดยวิธีปกติ ที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำค่าบีโอดีที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน มาใช้เพื่อแก้ปัญหามลพิษทางน้ำได้เร็วขึ้น

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

น้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เมื่อผ่านกระบวนการใช้งานย่อมมีคุณภาพเปลี่ยนไป ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้ต่อไป และบางครั้งหากไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้ว จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้

2.1 ธรรมชาติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

2.1.1. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen ,DO)

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช เพราะต้องถูกนำไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน กระบวนการต่าง ๆ ที่ต้องการออกซิเจนเรียก aerobic process ก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศละลายน้ำได้ต่างกัน ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมากและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ดังนั้นการละลายจึงขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

ค่าความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจะอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัมต่อ1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ7 มิลลิกรัมต่อ1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ซึ่งจะเห็นว่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะอัตราการออกซิเดชันทางชีววิทยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลง ในฤดูร้อนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลงเพราะอุณหภูมิสูงทำให้เกิดเน่าเหม็นในสระบ่อ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ

ความสามารถในการละลายของออกซิเจนต่ำเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดความสามารถในการที่จะฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ของน้ำตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องกำจัดสารสกปรกในน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงแม่น้ำลำคลอง ปริมาณของออกซิเจนในน้ำจะมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่อิมตัวขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำนั้น เช่นถ้ามีการสังเคราะห์แสงมากจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง มีการละลายดีขึ้น แต่ถ้ามีการสลายตัวของสารอินทรีย์ ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไป ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง นอกจากนั้นปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

การละลายของออกซิเจนที่มีในน้ำที่มีเกลือแร่จะน้อยกว่าในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิหนึ่ง การละลายของออกซิเจนในน้ำจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อน้ำจืดเปลี่ยนเป็นน้ำทะเล นั่นคือการละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและคลอไรด์ในน้ำ และในทำนองเดียวกันในน้ำโสโครกมีค่าอิมตัวของออกซิเจนที่ละลายได้น้อยกว่าในน้ำที่สะอาด

ก. ความสำคัญของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1. เป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่เกิดขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ หรือจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจะใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ขณะที่จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศทำให้เกิดออกซิเดชันโดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาให้สถานะของแหล่งน้ำให้มีออกซิเจน เพื่อที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้
2. รักษาสถานะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ
3. เป็นพื้นฐานของค่าบีโอดี เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชันทางชีววิทยา ซึ่งวัดได้โดยการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ
4. เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกักตัวของเหล็กโดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และในหม้อน้ำ โดยเฉพาะในหม้อน้ำไม่ควรมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเลย
5. ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในระบบบำบัดที่มีการให้อากาศ

ข. วิธีการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1. Azide Modification วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับน้ำเสีย และน้ำตามธรรมชาติ ตลอดจนน้ำที่มี $\text{NO}_2\text{-N}$ มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมี Fe^{++} น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ควรมีสารลดออกซิเจน หรือสารเติมออกซิเจนอยู่
2. Permanganate Modification วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างที่มี Fe^{++} หรือ Fe^{+++} อยู่ในปริมาณสูงมาก โดยเติมโปแตสเซียมฟลูออไรด์และเอไซด์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการไทเทรตทันทีหลังจากเติมกรดแล้ว วิธีนี้ไม่มีผลกับการออกซิเดชันของ $\text{SO}_3^{=}$, $\text{S}_2\text{O}_3^{=}$ และ polythionate หรือสารอินทรีย์ในน้ำโสโครก
3. Alum Flocculation Modification ใช้สำหรับน้ำที่มีสารแขวนลอยสูงซึ่งอาจ ทำลายสารไอโอดีนในสารละลายกรดได้เป็นจำนวนมาก จึงต้องตกตะกอนด้วยสารส้มก่อน
4. Copper Sulfate-Sulfamic Acid Flocculation Modification เหมาะสำหรับน้ำที่มีการใช้ออกซิเจนสูง
5. Membrane Electrode method ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้วัด ณ ตำแหน่งของแหล่งน้ำตัวอย่าง ทำให้สามารถขจัดข้อผิดพลาดจากการเก็บและรักษาตัวอย่าง

2.1.2 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

บีโอดี คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สถานะที่มีออกซิเจน จากกระบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอาหารเหล่านี้จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ

แอมโมเนียขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร การใช้ออกซิเจนในการย่อยสารอาหารแบ่งเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ

saprophytic bact



saprophytic bact.



ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของ $\text{NH}_3 \longrightarrow \text{NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3$

ตามลำดับโดยพวก autotrophic bacteria และ nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำเสีย การแบ่งตัวของเชื้อเหล่านี้ที่ 20 องศาเซลเซียสนี้น้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีจึงน้อยมาก หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารแอมโมเนีย ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรตในตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

การหาค่าบีโอดีเป็นวิธีการวิเคราะห์ทางชีวภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติมากที่สุด ค่าบีโอดีมาตรฐานจะทำการบ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวก็เพราะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำในประเทศหนาว และ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกเวลาที่ใช้บ่ม 5 วัน เพราะถ้าวานน้อยกว่านี้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ ออกซิเจนในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น ประการสุดท้ายถ้าเวลาทำการบ่มนานเกินไปอาจไม่ทันกับการที่ปล่อยน้ำเสียต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง มักเขียนสัญลักษณ์ของค่าบีโอดีที่ใช้บ่ม 5 วัน ว่า BOD_5

ในการหาค่าบีโอดีควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่จะทำให้ค่าบีโอดีที่ได้มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้โดยยึดหลักทั่วไปดังนี้

1. ใช้อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ในการบ่มเป็นเวลา 5 วัน
2. ไม่ควรให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศ และแสงสว่างเพื่อป้องกันการเติมออกซิเจนและการสังเคราะห์แสง
3. น้ำบางชนิดมีความสกปรกมากต้องทำให้เจือจางก่อน มิฉะนั้นออกซิเจนในน้ำอาจไม่เพียงพอตลอดช่วงเวลาในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี ปกติใช้ตัวอย่างน้ำเสียร้อยละ 1-5 ส่วนน้ำในธรรมชาติทั่ว ๆ ไปใช้ร้อยละ 20-100 นอกจากนี้จะต้องให้ปริมาณของออกซิเจนลดน้อยลงไป

อย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเหลือออกซิเจน 1 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของแต่ละตัวอย่าง

4. น้ำสำหรับใช้เจือจางควรปราศจากสารซึ่งไปหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย นอกจากนี้ควรมีพีเอชที่เหมาะสม คือ 7 และประกอบด้วยธาตุที่จำเป็นตลอดจนสารอื่น ๆ ที่แบคทีเรียต้องการ

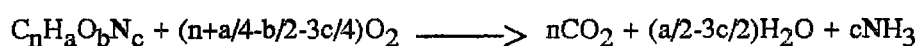
5. น้ำตัวอย่างบางชนิดมีแบคทีเรียที่จะย่อยสารอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเติมแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าน้ำเชื้อ (seed) น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่อุณหภูมิสูง น้ำทิ้งที่เป็นกรดหรือด่างสูง จะต้องเติมน้ำเชื้อลงในน้ำที่จะใช้เจือจาง น้ำเชื้อมาตรฐานได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนซึ่งปล่อยให้ตกตะกอน และใส่ไว้ในตู้อบที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมงจึงควรเอาน้ำส่วนบนมาใช้ โดยทั่วไปใช้น้ำเชื้อมาตรฐาน 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือใช้น้ำเชื้อในปริมาณที่เพียงพอที่จะให้ผลของ seed correction อย่างน้อย 0.6 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

6. เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับเจือจางไม่มีสารหรือสิ่งไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทุกครั้งที่ทำจึงควรมีตัวอย่างมาตรฐาน โดยใส่น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำแล้วไปหาค่าการละลายออกซิเจนเหมือนเดิม

จากการหาค่าบีโอดีที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่ามีความยุ่งยากมากรวมทั้งมีข้อจำกัดต่าง ๆ อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการวัดค่าบีโอดี ก็ต้องใช้เวลานานถึง 5 วัน และยังต้องการความชำนาญสูงด้วย จึงได้เกิดการพยายามหาวิธีการตรวจวัดค่าบีโอดีที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีเดิม วิธีการที่ได้รับความนิยม คือ การใช้อิเล็กทรอนิกส์ , การทำอิเล็กทรอนิกส์ และ การใช้วิธีเอชบีโอดี ซึ่งจะกล่าวต่อไป

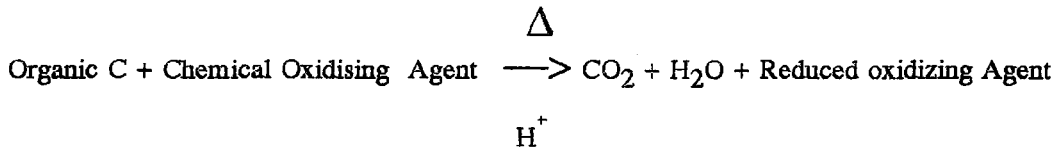
2.1.3 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอาจบอกได้จากค่าซีโอดีซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะเป็นกรดอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตดังสมการ



สมการข้างบนนี้เกิดขึ้นทั้งในปฏิกิริยาของบีโอดี และซีโอดีดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลักของการหาซีโอดีคล้ายกับบีโอดี คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ต่างกันที่ บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้สารเคมีที่เป็นตัวเติมออกซิเจน ดังสมการ



จากปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดี และค่าบีโอดี

โดยปกติแล้วค่าซีโอดีจะสูงกว่าค่าบีโอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ค่าซีโอดีสูงกว่าบีโอดี และจะสูงกว่ามากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ทางชีววิทยาอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส และลิกนิน แต่ในบางกรณีถ้ามีพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และไพรีซินซึ่งไม่ถูกออกซิไดซ์ทางเคมี ค่าซีโอดีจะน้อยกว่าค่าบีโอดี

สำหรับงานประจำจากข้อมูลของค่าซีโอดีอาจจะใช้บอกค่าบีโอดีอย่างคร่าว ๆ ได้โดยการพลอตกราฟระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองของน้ำเสียแต่ละชนิด ค่าซีโอดีใช้มากในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและควบคุมระบบท่อน้ำเสียเนื่องจากใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการหา จึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับบีโอดีจะบอกถึงสถานะที่เป็นพิษ หรือการมีสารอินทรีย์ที่ต่อต้านการย่อยสลายของจุลินทรีย์

ข. ข้อดีและข้อเสียของการหาค่าซีโอดี

ข้อดี 1. รวดเร็ว ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชั่วโมง ในขณะที่การหาค่าบีโอดีต้องใช้เวลาราว 5 วัน

2. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการหาบีโอดี จึงเหมาะสำหรับงานประจำ

3. สารมีพิษไม่ขัดขวางการหาซีโอดี ดังนั้นจึงเป็นวิธีเดียวที่ใช้หาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งมีสารพิษ ค่าที่ได้สามารถใช้ประมาณค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย

ข้อเสีย 1. ไม่สามารถจะใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ หรือไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ออกจากกันได้

2. ไม่สามารถให้ข้อคิดใด ๆ เกี่ยวกับอัตราที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย หรือออกซิไดซ์ทางชีววิทยาภายใต้สภาวะตามธรรมชาติ

2.1.4 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น หมายถึงน้ำที่มีสารแขวนลอยซึ่งขัดขวางทางเดินของแสงที่ผ่านน้ำนั้น เช่นดินละเอียด สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แผลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายและดูดซึมของแสงที่ผ่าน สารแขวนลอยในน้ำที่เป็นสาเหตุของความขุ่นอาจจะมีขนาดตั้งแต่

คอลลอยด์ซึ่งละเอียดมากจนกระทั่งถึงหยาบ พวกหลังนี้จะตกตะกอนได้ง่ายในขณะที่พวกแรกไม่ตกตะกอน ความขุ่นส่วนใหญ่จะเนื่องจากสารแขวนลอยขนาดใหญ่

2.1.5 สี (Color)

สีของน้ำตามธรรมชาติ เป็นผลจากการที่น้ำนั้นไหลผ่านสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ซากสัตว์ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารแทนนิน กรดฮิวมิก วัตถุประสงค์ของการกำจัดสีเพื่อให้สีน้ำนั้นเหมาะสมที่จะใช้ในกิจการทั่วไปตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสีที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ ดังนั้นการกำจัดสีจึงนิยมใช้พวกเกลือของโลหะที่มีวาเลนซ์ 3 เพื่อไปจับกับประจุลบ ส่วนน้ำที่มีสีที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพวกผัก หญ้าจากบึงหนอง ไม่ถือว่าเป็นสารพิษ สีของน้ำพวกนี้มักให้สีเหลืองน้ำตาลคล้าย ๆ ปัสสาวะ

2.1.6 พีเอช (pH)

สิ่งที่ชี้บ่งความเป็นกรดคือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและสิ่งที่ชี้บอกความเป็นเบสคือความเข้มข้นของไฮดรอกซีไอออน ความเข้มข้นของไอออนในน้ำทั้งสองมีค่าน้อยมาก ซึ่งทำให้การบอกด้วยตัวเลขได้ยาก จึงมีวิธีบอกความเป็นกรดให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นด้วยหน่วยที่เรียกว่า พีเอช (positive potential of the hydrogen ion = $-\log[H^+]$) น้ำบริสุทธิ์มีค่าไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ 10^{-7} โมล ดังนั้นจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 แสดงว่าน้ำเป็นกลาง เพราะฉะนั้นสารละลายใดก็ตามที่ไม่เป็นทั้งสารละลายกรดหรือสารละลายเบส หรือที่เรียกว่าสารละลายสะเทินมีพีเอชเท่ากับ 7 ทั้งสิ้น

2.1.7 การนำไฟฟ้า (Conductivity)

เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของประจุที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิที่ทำการวัด น้ำที่มีประจุของสารต่าง ๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ในสนามไฟฟ้าประจุบวกจะเคลื่อนไปที่อิเล็กโทรดขั้วลบและประจุลบจะเคลื่อนไปที่อิเล็กโทรดขั้วบวก กรด เบส และเกลืออนินทรีย์ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้ประจุบวก และลบ ในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์จะไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะประจุตัวใดตัวหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของประจุทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีเพิ่มหรือลดของประจุที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น น้ำกลั่นใหม่ ๆ จะมีค่าการนำไฟฟ้า 0.5-2 $\mu\text{hos/cm}$. และจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-4 $\mu\text{hos/cm}$. หลังจากเก็บไว้ 2-3 สัปดาห์ ค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดซึมของคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอมโมเนียจำนวนเล็กน้อย

2.1.8 ความเป็นกรด (Acidity) ความเป็นกรดของน้ำใดเป็นความสามารถของน้ำที่จะให้โปรตอน หรือ H^+ รวมถึงกรดอ่อนที่แตกตัวให้โปรตอนได้น้อย ความเป็นกรดมีความสำคัญเพราะเป็นตัวที่ทำให้น้ำนั้นเกิดการกัดกร่อน และมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมีและชีววิทยา ความเป็นกรดของน้ำวัดได้โดยการไทเทรตน้ำ

นั้นด้วยค่าที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน การวัดค่านี้จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพแหล่งน้ำด้วย

2.1.9 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นความสามารถของน้ำที่จะรับโปรตอน หรือเป็นปริมาณความสามารถของน้ำนั้นที่จะสะเทินกรดแก่จนถึงพีเอชที่ต้องการ

2.1.10 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างของน้ำเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะตกตะกอนสบู่โดยแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนในน้ำ แต่อาจตกตะกอนโดยไอออนตัวอื่น เช่น อลูมิเนียม และแมกนีเซียไอออนได้ด้วย แต่แคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนมีอยู่ในธรรมชาติเป็นจำนวนมาก จึงทำให้จำกัดความของความกระด้างน้ำว่าเป็นคุณสมบัติของน้ำซึ่งแทนค่าความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน

2.1.11 ของแข็ง (Solid)

ของแข็ง หมายถึงตะกอนหลังจากผ่านการระเหยตัวอย่างน้ำด้วยไอน้ำและทำให้แห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส สิ่งที่กลายเป็นไอได้ก็จะสูญเสียไปเหลือเพียงตะกอนของสารที่มีในตัวอย่างน้ำเท่านั้น ตะกอนที่เกิดมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ นิยมหาในน้ำที่จะนำมาทำน้ำประปา น้ำทิ้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ค่าที่ได้บอกในรูปน้ำหนักของสารต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำ

2.2 การวัดค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรดชีวภาพ

สถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียวได้ทดลองใช้แบคทีเรียบรรจุในเนื้อเยื่อของลูกวัวกับ ออกซิเจนอิเล็กโทรด นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียชนิด *Clostridium butyricum* กับอิเล็กโทรดแพลตตินัม อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนจัดเก็บแบคทีเรีย และขั้วไฟฟ้า โดยที่ชนิดของขั้วไฟฟ้าและชนิดของแบคทีเรียได้ถูกทำการค้นคว้าเพื่อให้สามารถวัดค่าบีโอดี ได้ในช่วงที่กว้างเหมาะสมต่อการใช้งาน

หลักการงานเริ่มต้นโดยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำอ้อมด้วยออกซิเจนจากนั้นอิเล็กโทรดจะถูกหย่อนลงไปบนตัวอย่างน้ำ ดังนั้นกลไกการทำงานของแบคทีเรียซึ่งต้องการใช้ออกซิเจนจะเริ่มขึ้นในทันที ออกซิเจนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับอิเล็กโทรด จะมีปริมาณลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอิเล็กโทรดมีปริมาณลดลงจนกระทั่งถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง สาเหตุที่เกิดสภาวะคงที่ขึ้นสืบเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียกับอัตราการแพร่ของออกซิเจนละลายในน้ำเป็นไปในปริมาณที่เท่ากัน ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จะมีสภาวะคงที่ค่าบีโอดีที่สภาวะคงที่สามารถวัดได้ภายในระยะเวลาเพียง 10 ถึง 15 นาทีเท่านั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อนำอิเล็กโทรดออกจากตัวอย่างทดสอบดังกล่าวแล้วนำไปจุ่มลงในสารละลาย

ที่ปราศจากสารอินทรีย์ กระแสไฟฟ้าจะมีค่ากลับสูงขึ้นถึงค่าเดิมภายในเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

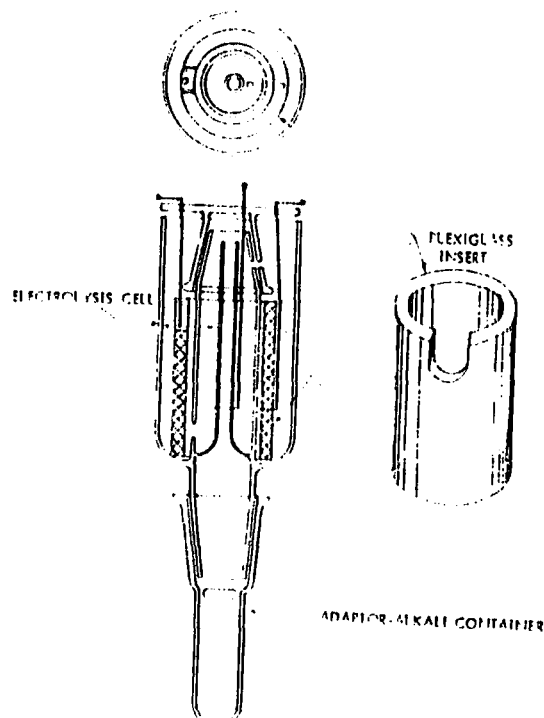
กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำตัวอย่างด้วยคือ อยู่ในช่วงความเป็นกรดต่างที่ 6.5 ถึง 8 เท่านั้นหากค่าความเป็นกรดต่างต่างไปจากนี้ ยังผลให้ปฏิกิริยาของแบคทีเรียลดลง ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้า เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้นั้นขึ้นกับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีปริมาณลดลง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียลดลงอย่างมาก เป็นผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

วิธีการวัดค่าบีโอดีจากอิเล็กโทรดชีวภาพ นอกจากจะสะดวกรวดเร็วแล้ว ความถูกต้องแม่นยำของค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับกรวัดค่าบีโอดีแบบเดิมซึ่งยากต่อการหาค่าที่แน่นอน นอกจากนี้ อุปกรณ์นี้มีอายุที่คงความแม่นยำที่เชื่อถือได้นานถึง 30 วัน โดยไม่ต้องมีการบำรุงรักษาใด ๆ แต่อุปกรณ์นี้มีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับการหาค่าบีโอดีแบบปกติ จึงมีการพัฒนาการหาค่าบีโอดีต่อไป

2.3 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี (Electrolysis BOD)

เครื่องมืออิเล็กโทรไลซิสบีโอดีนี้ใช้ในการวิจัย และการควบคุมคุณภาพของน้ำในอุตสาหกรรม วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ หรือใช้ในการวัดค่าบีโอดีเป็นประจำ หรือวัดความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน

ระบบอิเล็กโทรไลซิสเซลล์ จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 คือ reaction vessel จะบรรจุตัวอย่างและมีการกวนเพื่อที่จะผสมอาหารกับจุลินทรีย์ที่แขวนลอย ส่วนที่ 2 คือ adaptor unit ใช้บรรจุโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือสารละลายอื่นที่จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศบนตัวอย่าง และส่วนที่เป็นหัวใจของระบบคืออิเล็กโทรไลซิสเซลล์ จะบรรจุสารอิเล็กโทรไลต์อย่างอ่อน เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมซัลเฟตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ อิเล็กโทรไลซิสเซลล์จะมีโมโนมิเตอร์ป้องกันการเปลี่ยนแปลงความดันหรือควบคุมปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในขวดบรรจุตัวอย่างให้คงที่ดังแสดงในรูปที่ 1 ระบบการวัดของอิเล็กโทรไลซิสบีโอดีจะเป็น respirometer ขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีการวัดกึ่งต่อเนื่องและมีการบันทึกค่าอย่างอัตโนมัติ และมีการปรับความดันให้เหมาะสมกับใน reaction vessel เพราะจะมีการใช้ออกซิเจนจากจุลินทรีย์



รูปที่ 1 ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดี

2.3.1 การเปรียบเทียบวิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดี และวิธีการหาค่าบีโอดีปกติ

เมื่อเปรียบเทียบถึงวิธีการใช้อิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดีกับวิธีการหาค่าบีโอดีปกติซึ่งใช้มาเป็นเวลานานพบว่าเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีปกติต้องใช้เวลา 5 วัน ซึ่งต่างกับการใช้อิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดีสามารถอ่านค่าบีโอดีได้ทันทีในแต่ละวัน แต่ผลที่ได้โดยทั่วไปมีข้อเสียที่การรวบรวมข้อมูลในระหว่างการศึกษานี้เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดแม่นยำนั้นทำได้ยากซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และที่ไม่จำเป็นต้องใช้ขวดวัดบีโอดี นั่นคือราคาเครื่องมือ ขวด สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตู้บ่ม และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้นับว่าราคาของเครื่องมือเหล่านี้จะมีราคาพอ ๆ กับการใช้อิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดี ในเวลานี้หาค่าบีโอดีจากอิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดีก็ยังเป็นที่ต้องการน้อยกว่าการหาค่าบีโอดีแบบปกติ

วิธีอิเล็กทรอนิกส์โทรไลซิสบีโอดีเป็นวิธีการวัดค่าบีโอดีโดยตรง และวัดการใช้ออกซิเจนในตัวอย่างไม่เสียได้อย่างต่อเนื่อง ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ

1. มีการเจือจางที่น้อยหรือไม่มีการเจือจางตัวอย่างเลย
2. มีการสุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้หลายตัวอย่าง
3. สามารถทดสอบอย่างต่อเนื่องได้เป็นเวลานาน
4. การวิเคราะห์ง่ายกว่าการหาค่าบีโอดีปกติ
5. ค่าการใช้ออกซิเจนสามารถอ่านได้ง่าย เพราะไม่มีการไทเทรต
6. ค่าบีโอดี ที่วัดได้นั้นแน่นอนกว่าการหาโดยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่วิธีการหาค่าแบบปกติ

2.3.2 ผลของ nitrification ที่มีต่ออิเล็กโทรไลต์

nitrification เป็นหนึ่งในหลายกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาในการวัดบีโอดี สำหรับการศึกษานี้ในปัจจุบัน TCMP (2-Chloro-6 (trichloromethyl) pyridine) เป็นสารที่ควบคุม nitrification ในการหาค่าบีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นทำ 2 ครั้ง โดยมีการเติมและไม่เติม TCMP ข้อมูลของวิธีอิเล็กโทรไลต์จะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการยับยั้ง และตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง ค่าบีโอดีที่ 5 วันของตัวอย่างที่มีการยับยั้ง nitrification จะสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง สำหรับวิธีการหาบีโอดีปกติ ค่าบีโอดี 5 (BOD_5) ของตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง nitrification จะสูงกว่าตัวอย่างที่มีการใส่ TCMP

2.4 การหาค่าบีโอดีโดยวิธีเฮดสเปซบีโอดี (headspace biochemical oxygen demand, HBOD)

ในการทดลองวิธีบีโอดีนั้นต้องมีการทำเจือจาง (dilution) และใช้เวลาในการหาค่า แม้ว่าจะมีวิธีใหม่ในการทดสอบออกซิเจนโดยมีการใช้ความดันในการผนึก และไม่ต้องทำการเจือจางก็ตามแต่ก็มีต้นทุนสูง และต้องมาทำงานเป็นเวลา เทคนิคอื่น ๆ ที่ถูกเสนอขึ้นมาแทนที่วิธีของบีโอดี แต่ก็ยังไม่มีการนำวิธีอื่น ๆ มาใช้ประจำในการบำบัดน้ำเสีย ต่อมาได้มีการใช้เครื่องมืออิเล็กโทรไลต์เซลล์ (electrolytic cell) อย่างแพร่หลาย การใช้อิเล็กโทรไลต์เซลล์มีการใช้กันเรื่อยมาแม้ว่าจะเป็นวิธีที่ดี แต่ค่าใช้จ่ายและการปฏิบัติเป็นไปอย่างจำกัดในการบำบัดน้ำเสีย และได้มีการทำการทดลองใหม่ ๆ เพื่อที่จะนำมาแทนที่วิธีบีโอดี วิธีที่ใช้ต้องมีราคาไม่สูงหรือต้องไม่มีการฝึกฝนทางเทคนิคสูง และจะต้องสามารถวัดค่าออกซิเจนที่เปลี่ยนไปได้โดยตรง คือวิธีเฮดสเปซบีโอดีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ที่ว่างด้านบนเพื่อเติมออกซิเจน และออกซิเจนส่วนนี้สามารถละลายในน้ำเสียได้ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์เริ่มต้นนี้จะมีค่าเข้มข้นสูงซึ่งจะเป็นตัวเพิ่มพลังงานจลน์ การทดลองสามารถใช้เวลาในการวัดประมาณ 24-36 ชั่วโมง เพราะมีการละลายของออกซิเจน และไม่มีความดันก๊าซการวัดจะไม่มี การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในระหว่างการบ่ม และเป็นวิธีที่ง่ายสะดวก โดยใช้ non-consumptive DO probe เป็นตัววัด

การหาค่าเฮดสเปซบีโอดีจะทำได้โดยใช้การอัดแน่นของก๊าซในหลอดทดลอง (28 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยให้ปริมาตรของที่ว่างด้านบนเท่ากับ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร บ่มไว้ 24-36 ชั่วโมง แล้วใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลาย วัดปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาหักจากค่าปริมาณออกซิเจนก่อนบ่มตัวอย่างน้ำ ก็จะได้ค่าบีโอดี ในการศึกษาได้ทำการทดลอง 6 ครั้ง และการหาค่าบีโอดี แม้จะทำในวันที่แตกต่างกันค่าบีโอดีจะคงที่เสมอ และการวัดค่าจะเบี่ยงเบนน้อยมาก ผลที่ได้คือใน 6 การทดลองค่าเฉลี่ยในการใช้ออกซิเจน 5 วัน เท่ากับ 113 ± 15 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรของบีโอดี และค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจน 5 วันของเฮดสเปซบีโอดีเท่ากับ 111 ± 7 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดลองแสดงว่าวิธีเฮดสเปซบีโอดีและบีโอดีให้ผลไม่แตกต่างกัน

การทำนายค่าแอมบีไอดี โดยใช้ค่าแอมบีไอดี₁ (HBOD₁) ผลที่ออกมาใช้ได้ดีเป็นที่ยอมรับหนึ่งในเหตุผลที่สามารถสนับสนุนว่าทำไมปริมาณความต้องการออกซิเจนจึงต่ำกว่าค่าที่คาดไว้เป็นเพราะการใช้สารยับยั้ง nitrification ในวิธีแอมบีไอดีนั้นมีการบ่ม ความต้องการออกซิเจนโดยพวก nitrifier จึงทำให้เกิดผลข้างเคียงขึ้น อย่างไรก็ตามก็มีการทดสอบอื่นในห้องปฏิบัติการ และมีการเสนอเกี่ยวกับพวก nitrification นั้นจะไม่ใช่ปัญหาในตัวอย่างที่ใช้น้ำเสียจาก activated sludge

จากข้อมูลค่าบีไอดีและแอมบีไอดีที่ได้จากการทดลอง พบว่าทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน (no consistent bias) และมีค่าความชันเท่ากับ 1.006 ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นถึงความไม่เบี่ยงเบนของวิธีแอมบีไอดีแต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในการหาค่า คือ

1. ที่วางด้านบนของหลอดทดลองที่ใช้หาค่ามีปริมาตรมาก หรือน้อยกว่า 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะให้ค่าบีไอดีผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับวิธีปกติ
2. ไม่สามารถวัดค่าบีไอดีในน้ำเสียที่มีความหนาแน่นจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ในปริมาณที่น้อยได้

2.5 การวัดค่า BOD ในเขตร้อน (BOD test for Tropical Countries)

เป็นการพัฒนาวิธีการหาค่าบีไอดี เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาค่าบีไอดีของประเทศเขตร้อน ที่สามารถให้ค่าเทียบเท่ากับการหาค่าบีไอดีโดยวิธีปกติ ได้มีการทำการทดลอง 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 เป็นการศึกษารายของ Environmental Engineer Reserarch Institute (NEERI) Nagpur, Bombay, Hyderabad, Kanpar และ Madras ที่มีการประมาณค่าของบีไอดีโดยมีการศึกษาปฏิบัติการอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 110 กลุ่มแล้ว ทำการหาค่าบีไอดีโดยบ่มที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 6 ประเภท และตัวอย่างน้ำประปา การทดลองนี้ไม่มีการหาไนโตรเจน และจากผลการทดลองมาหาค่าทางสถิติแล้วยืนยันได้ว่าค่าบีไอดีวันที่ 3 อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับค่าบีไอดีวันที่ 5 ของอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าบีไอดีมาตรฐานที่ใช้กันทางทฤษฎีได้

การทดลองครั้งที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองครั้งที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาค่าบีไอดีในเขตร้อนนั้นตรงกับอุณหภูมิของน้ำในประเทศอินเดีย โดยในการทดลองศึกษาเฉพาะที่อุณหภูมิ 20 และ 27 องศาเซลเซียส คือพิจารณาที่ค่าบีไอดี_{5,20} กับค่าบีไอดี_{3,27} ผลที่ได้พบว่าค่าทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง นั่นคือผลที่ได้ตรงกับ การทดลองครั้งที่ 1

แต่การทดลองครั้งนี้ทำในประเทศอินเดีย (ซึ่งเป็นอุณหภูมิน้ำของอินเดีย) ก็น่าจะได้ผลถูกต้องในประเทศอินเดียหรือประเทศที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แต่สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส น่าจะมีการพัฒนาวิธีการหาค่าบีไอดีที่เหมาะสมกับประเทศไทยต่อไป

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$ solution) เข้มข้น 0.0417 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (มาตรฐานปฐมภูมิ) ซึ่งอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 12.259 กรัม ลงในน้ำกลั่น ทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ (H_2SO_4 solution) ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 กิโลกรัม (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)

3. สารละลายมาตรฐานไอร์ออน(II) แอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2$ solution] เข้มข้น 0.25 โมล / ลิตร ละลายไอร์ออน(II) แอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$] ชนิดที่ใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (analytical grade crystals) 98 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต โดยการนำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาเติมน้ำ 90 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้นจำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับไอร์ออน(II) - แอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอิน (ferroin) จำนวน 0.10-0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตร (2-3 หยด) เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน(II) แอมโมเนียมซัลเฟตเป็น

$$\text{โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร} = \frac{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร } 0.0417 \text{ M } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1, 10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8H_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม และไอร์ออน(II) ซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

5. เมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต ชนิดที่ใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ($HgSO_4$)

6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (HOCC₆H₄COOK solution) ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลทที่ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ จำนวน 425 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

7. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (MnSO₄ solution) ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต (MnSO₄·4H₂O) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต (MnSO₄·2H₂O) 400 กรัม หรือ แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต (MnSO₄·H₂O) 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

9. น้ำแป้ง ละลายแป้ง(soluble starch) 2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

10. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃ solution) 0.0021 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃·5H₂O) 6.025 กรัม ในน้ำกลั่นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต

11. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต {KH(IO₃)₂ solution} 0.0021 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต 812.4 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในฟลาสก์เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำให้ เจือจางเป็น 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไทเทรตไอโอไดด์ซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้เติมน้ำแป้งเมื่อใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.0021 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.0021 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

12. สารละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ (KF solution) ละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ไดไฮเดรต (KF·2H₂O) 40 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้ใช้ต่อเมื่อตัวอย่างนั้นมีไอร์ออน Fe(III) มาก

13. น้ำกลั่น จะต้องมีความบริสุทธิ์ และต้องเป็นน้ำกลั่นซึ่งมีปริมาณของทองแดงน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัม / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต้องปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่างเนื่องจากไฮดรอกไซด์ สารอินทรีย์ และกรด

14. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปต้าไฮเดรต (Na_2HPO_4) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้จะมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.2

15. สารละลายแมกเนเซียมซัลเฟต (MgSO_4 solution) ละลายแมกเนเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 22.5 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

16. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2 solution) ละลายแอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (anhydrous CaCl_2) 22.5 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

17. สารละลายไอร์ออน(III)คลอไรด์ (FeCl_3 solution) ละลายไอร์ออน(III) คลอไรด์-เฮกซาไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.25 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

18. สารละลายกรดและด่างเข้มข้น 1 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้สำหรับปรับตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดและด่างให้เป็นกลางก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์

19. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ (alkali-iodide-azide reagent) เตรียมได้

2 วิธี

19.1 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ 10 กรัม ซึ่งละลายในน้ำกลั่นจำนวน 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนที่จะเติมลงในสารละลายข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแข็ง เมื่อทำให้เป็นกรดหรือเจือจาง

19.2 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้เย็นเท่ากับ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อละลายจะเกิดความร้อนขึ้น ทิ้งไว้ให้เย็นเล็กน้อย เติมโซเดียมไอโอไดด์ 900 กรัม ละลายโซเดียมเอไซด์ 100 กรัม ในน้ำกลั่น 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเทลงในสารละลายข้างต้น ถ้าปริมาตรของสารละลายที่เตรียมยังไม่ถึง 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ในทางปฏิบัติสารละลายที่เตรียมขึ้นนี้จะมีปริมาตรเกิน 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เล็กน้อยอยู่แล้ว โดยไม่ต้องทำให้เจือจางลงอีกเนื่องจากมีความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่สูง

20. สารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution) 0.0125 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 1.575 กรัมในน้ำกลั่น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่จะใช้เท่านั้น)

3.1.2 อุปกรณ์

1. ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง
2. ปิเปต ขนาด 10, 5 และ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. แท่งแก้วยาว
4. แท่งแก้วคน
5. บีกเกอร์ ขนาด 2000, 1000, 500, 100 และ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. ขวดปิไอตี ขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. สายยางอ่อนสีน้ำตาลเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เซนติเมตร
8. ฟลาสก์ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
9. กระบอกตวง ขนาด 1000, 250 และ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
10. บิวเรตต์
11. ขวดแก้วใสสำหรับทำน้ำเจือจาง ขนาด 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร
12. หัวทราย
13. ชุดให้อากาศ
14. ขวดกั้นแบน ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
15. ชุดกลั่น
16. เตาให้ความร้อน
17. ตู้บ่ม อุณหภูมิ 20, 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และกล่องโฟมที่สามารถป้องกันแสงผ่านได้ ซึ่งอุณหภูมิภายในกล่องโฟมอยู่ในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส

3.1.3 แหล่งน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจาก

- ก. โรงงานพีเอ็มฟูคส์ (ปลาสุวรรณค์ และถั่วลันเตาเคลือบ)
- ข. โรงงานไก่สดศรีไทย (ไก่สด และผลิตภัณฑ์จากไก่)
- ค. โรงงานลีเวอร์บราเธอร์ ประเทศไทยจำกัด (เครื่องอุปโภคบริโภค เช่น ยา
สระผม ยาสีฟัน และไอศกรีม)

3.1.4 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

เก็บในจุดที่น้ำทั้งหมดมารวมกันก่อนทำการบำบัดขั้นสุดท้ายเพื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำทั่วไป

3.2 วิธีการ

3.2.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

นำตัวอย่างน้ำมาศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น และพีเอช ด้วยวิธีใช้ประสาทสัมผัสในกรณีของสี และกลิ่น ส่วนการวัดพีเอชใช้เครื่องวัดพีเอช

3.2.2 การวิเคราะห์หาค่าซีไอดี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux)

1. ใส่เมอร์คิวรี(II) ซัลเฟต (HgSO_4) ประมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมตัวอย่างน้ำหรือตัวอย่างน้ำที่ทำให้เจือจางแล้วลงไป 20.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต จำนวน 10.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลูกแก้ว 5-6 เม็ด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรง

หมายเหตุ : ก่อนที่จะทำการรีฟลักซ์จะต้องผสมสารละลายในขวดให้เข้ากันเสียก่อน มิฉะนั้น เมื่อสารละลายในส่วนกันขวดเริ่มร้อนอาจทำให้ส่วนผสมพุ่งออกมาจากเครื่องควบแน่น การใช้เมอร์คิวรี(II) - ซัลเฟต จำนวน 0.4 กรัม เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำปกติ ถ้ามีคลอไรด์มากกว่านี้จะต้องเติมเมอร์คิวรี(II) ซัลเฟต ลงไปอีกเพื่อให้ได้อัตราส่วน โดยน้ำหนักของ $\text{HgSO}_4 : \text{Cl}$ เป็น 10:1 และถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยหลังจากเติมเมอร์คิวรี(II) ซัลเฟตลงไปแล้วก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการวิเคราะห์แต่อย่างใด

2. นำขวดรีฟลักซ์ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น ใช้ปิเปตเตอร์เล็ก ๆ ปิดปลายด้านเปิดของเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันสารต่าง ๆ จากภายนอกหลุดเข้าไป แล้วรีฟลักซ์หรือต้มเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนจะถอดเครื่องควบแน่นออกจากขวดรีฟลักซ์

3. ทำส่วนผสมให้เจือจางลงด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรประมาณ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตหาปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินไปด้วยสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวไปเป็นน้ำตาลแดง

4. การทำแบบลงค์ควรทำพร้อมกับตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่น 20.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนตัวอย่างน้ำ เติมนีโอเจนต์ที่ใช้ และทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{(A-B)M \times 8,000}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร ของตัวอย่าง}}$$

A = ลูกบาศก์เซนติเมตรของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งใช้ไทเทรตสำหรับแบบลงค์

B = ลูกบาศก์เซนติเมตรของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งใช้ไทเทรตสำหรับตัวอย่างน้ำ

M = โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต

3.2.3 การวิเคราะห์หาค่าบีไอดี

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาณที่ต้องการใช้ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ ,แมกนีเซียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ตามลำดับใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อน้ำเจือจาง 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นค่างหรือกรดต้องปรับให้เป็นกลาง คือพีเอชประมาณ 7 ด้วยซัลฟิวริก 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะละลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มาก ต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟด์ ที่จะเติมทำได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100 - 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วไตเตรทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์ที่จะต้องเติมลงไปในตัวอย่งน้ำ

2.3 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

วิธีการเจือจาง

ก. เลือกอัตราการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยการประมาณจากค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้ในหัวข้อ 3.2.2 (บีโอดีมีค่าประมาณ 2 ใน 3 ของซีโอดี) แล้วจึงเลือกอัตราการเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น ตามตารางที่ 3-1

ข. นำตัวอย่างใส่ในขวดบีโอดี และเติมน้ำเจือจางให้เต็ม ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ นำไปเก็บในตู้ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด เป็นเวลา 1-5 วัน ส่วนขวดที่เหลือนำไปหาการละลายของออกซิเจนทันที เพื่อทราบค่าการละลายของออกซิเจนที่จุดเริ่มต้น (D1)

ค. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 2 - 5 สำหรับอัตราการเจือจาง ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ

ตารางที่ 3-1 ช่วงของค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าร้อยละของตัวอย่างการเจือจาง

ช่วงบีโอดี	อัตราการจางเจือจาง
20,000-70,000	0.01
10,000-25,000	0.02
4,000-14,000	0.05
2,000-7,000	0.1
1,000-3,500	0.2
400-1,400	0.5
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100.0

3. การหาปริมาณการละลายของออกซิเจน

- 3.1. จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวดบีโอดี เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3.2. แล้วเติมสารละลาย อัลคาไลด์-ไอโอดีน-เฮไซค์ ตามลงไปทันที 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ปลายหลอดจมอยู่ในตัวอย่างน้ำ
- 3.3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าแบบ พลิกมือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น
- 3.4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดเข้มข้นลงไปทันที 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด
- 3.5. ปิดจุก ค่อย ๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด
- 3.6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาณจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 ลูกบาศก์ เซนติเมตร เนื่องจากปริมาตรของ ตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร คือแมงกานีสซัลเฟต 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัลคาไลด์-ไอโอดีน-เฮไซค์ 2 ลูกบาศก์-เซนติเมตร ที่เติมลงไป ในขวดขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไทเทรตจึงควรเป็น 200x300 เท่ากับ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร) (300-4)
- 3.7. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จนได้สีเหลืองอ่อนๆ
- 3.8. เติมน้ำแข็ง 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และไทเทรตจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

4. การคำนวณ

$$\text{mg/l BOD} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

D_1 = ค่าออกซิเจนละลายหลังเจือจางตัวอย่าง 15 นาที

D_2 = ค่าออกซิเจนละลายหลังล้งบ่มตัวอย่าง

P = เศษส่วนของอัตราการเจือจางตัวอย่างน้ำ

3.2.4 วัดค่าบีโอดีที่อุณหภูมิและจำนวนวันต่าง ๆ

วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.2.3 แต่ใช้อุณหภูมิในการบ่มตัวอย่างที่ 25 ,30 ,37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำที่อุณหภูมิห้องแทนที่ 20 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์จะทำในวันที่ 1 ,2 ,3 ,4 และ 5 ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

จากการนำน้ำทิ้งของอุตสาหกรรม 3 ประเภทคือ อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (โรงงานพีเอ็มฟูคส์), อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก (โรงงานไก่สดศรีไทย) และอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ (โรงงานลีเวอร์บราเซอร์) มาทำการศึกษา ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าซีไอดีโดยวิธีฟลักซ์แบบเปิด และค่าบีไอดีโดยวิธี Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ ในการบ่มใช้เวลา 0-5 วัน ได้ผลดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพที่ศึกษา สี, กลิ่น และ พีเอช ได้ผลตามตาราง

ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้ง

ประเภทอุตสาหกรรม	ลักษณะที่ศึกษา	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สารคาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลัก	สี กลิ่น พีเอช	สีเขียว ตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย 6.9	ไม่มี แต่มีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 7.2
สารโปรตีน เป็นองค์ประกอบหลัก	สี กลิ่น พีเอช	สีแดงเล็กน้อย มีตะกอนละเอียด มีกลิ่นสาบ และคาวเลือดไก่บ้าง 6.7	เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 6.4
สารอินทรีย์เจือปนอยู่	สี กลิ่น พีเอช	ไม่มี และไม่มีตะกอนแขวนลอย มีกลิ่นผงซักฟอกบ้างเล็กน้อย 7.9	เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 8.1

จากตารางจะเห็นว่า สีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักครั้งที่ 1 มีสีเขียวนี้อาจเนื่องจากในวันและช่วงเวลาที่ไปเก็บตัวอย่างน้ำนั้นมีการต้มถั่วลันเตา จึงมีสีของถั่วลันเตาละลายมากับน้ำทิ้งด้วย ส่วนในครั้งที่ 2 ในวันและช่วงเวลาที่ไปเก็บตัวอย่างน้ำเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสี, น้ำทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักในการศึกษาทั้ง 2 ครั้งพบว่า มีสีแดงเนื่องจาก ในกระบวนการผลิตมีการล้างไก่ ซึ่งก็จะมีเลือดไก่ละลายในน้ำทิ้ง ส่วนน้ำ

ทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ไม่มีสีเนื่องจากในกระบวนการผลิต หรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นไม่มีสารที่ทำให้เกิดสี หรือสารที่มีสีละลายอยู่

กลิ่นของน้ำทิ้ง อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อยซึ่งกลิ่นนั้นเป็นกลิ่นของการสลายสารโดยไม่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ เนื่องจากในน้ำทิ้งมีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญอยู่ด้วย, อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักมีกลิ่นสาบและกลิ่นคาวเลือดไก่ เนื่องจากมีการล้างเลือดไก่จึงมีเลือดไก่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง, อุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่มีกลิ่นผงซักฟอก เนื่องจากในการผลิตมีการล้างสารที่มีกลิ่นของผงซักฟอกละลายมากับน้ำทิ้ง

พีเอชของน้ำทิ้ง อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในช่วง 6.9-7.2 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกลาง, อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักมีพีเอชอยู่ใน ช่วง 6.4-6.7 มีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่มีพีเอชอยู่ในช่วง 7.9-8.1 มีฤทธิ์เป็นเบสเล็กน้อย

จากลักษณะทางกายภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่า น้ำส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากในช่วงวันและเวลานั้นมีการผลิตผลิตภัณฑ์แบบเดียวกัน แต่ในกรณีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 และ 2 ที่มีสีต่างกันมาก เนื่องจากในวันและเวลาที่ไปเก็บตัวอย่างน้ำมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน แต่สีที่เกิดขึ้นเป็นสีตามธรรมชาติ ซึ่งเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งทั้ง 3 ประเภท ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ซีไอดี และ บีไอดี ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยในครั้งนี้

4.2 ค่าซีไอดี

ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท ได้ผลตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท

ประเภทของอุตสาหกรรม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก	1253	315
สารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก	1422	1432
สารอนินทรีย์เจือปนอยู่	4866	6851

จากตารางจะเห็นว่าค่าซีไอดีของน้ำทิ้งทั้ง 3 ประเภทมีค่าสูง โดยค่าซีไอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักทั้ง 2 ครั้งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ต่างกัน ส่วนอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีค่าต่างกันมาก โดยอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ

หลักครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่ 2 มากอาจเป็นเพราะในครั้งที่ 1 มีการต้มถั่วลันเตาและในน้ำทิ้งที่ต้มถั่วมี สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้อยู่ จึงทำให้ค่าซีไอดีที่ได้มากกว่า ครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการผลิต ปกติที่ไม่มีการต้มถั่วลันเตา และในกรณีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ครั้งที่ 1 และครั้ง- ที่ 2 มีค่าซีไอดีต่างกันมากทั้งที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์แบบเดียวกัน อาจเกิดเพราะเก็บตัวอย่างน้ำเวลาต่าง กัน ซึ่งอาจมีการใช้น้ำปริมาณต่างกันจึงทำให้ความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่างกันด้วย จึงทำให้ค่าซีไอดีที่ได้ต่าง กัน จากค่าซีไอดีที่มีค่าสูงนั้นในการวิเคราะห์หาค่าบีไอดี จึงต้องนำน้ำทิ้งดังกล่าวมาทำการเจือจาง โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 4-2 นำมาประมาณการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนจึงสามารถวิเคราะห์หาค่าบีไอดี ได้

4.3 ค่าบีไอดีของน้ำทิ้ง

4.3.1 อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ค่าบีไอดีที่อุณหภูมิและเวลา ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าบีไอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	680	920	1160	1180	1210	0	110	160	225	235	240
25	0	640	980	1120	1220	1250	0	120	195	225	240	245
30	0	730	980	1190	1240	1260	0	125	205	230	245	250
37	0	920	1130	1220	1260	1270	0	135	210	240	255	260
น้ำ	0	680	1020	1150	1220	1250	0	125	205	240	245	250

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีไอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และเวลามากขึ้น กล่าวคือที่ 37 องศาเซลเซียสมีค่าบีไอดีสูงสุด และที่อุณหภูมิ 30, อุณหภูมิ น้ำ, 25 และ 20 องศาเซลเซียสมีค่าบีไอดี ลดลงตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น จึงมีการใช้ ออกซิเจนมากตามไปด้วย และสาเหตุที่ค่า บีไอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันมากเนื่อง จากตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์เก็บที่เวลาใกล้เคียงกันแต่วันต่างกัน ซึ่งมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีไอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 2, 3, 4 และ 5 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นช่วงวันแรก ๆ จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน ปริมาณสูง และในวันต่อมาจะลดลงและคงที่ตามลำดับ โดยในวันที่ 1 มีการสลายสารอินทรีย์มากที่สุด และช่วงวันที่ 4-5 การสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างคงที่ อาจเป็นผลเนื่องจาก

ปริมาณออกซิเจน และปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีปริมาณน้อย จึงเกิดการแข่งขันของเชื้อที่มีปริมาณมาก และเชื้อบางส่วนตายไป จึงทำให้อัตราการสลายสารอินทรีย์ในน้ำค่อนข้างคงที่ เมื่อนำค่าบีโอดีมาคิดเป็นร้อยละ โดยให้ค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 100 จะได้ผลดังตารางที่ 4-4

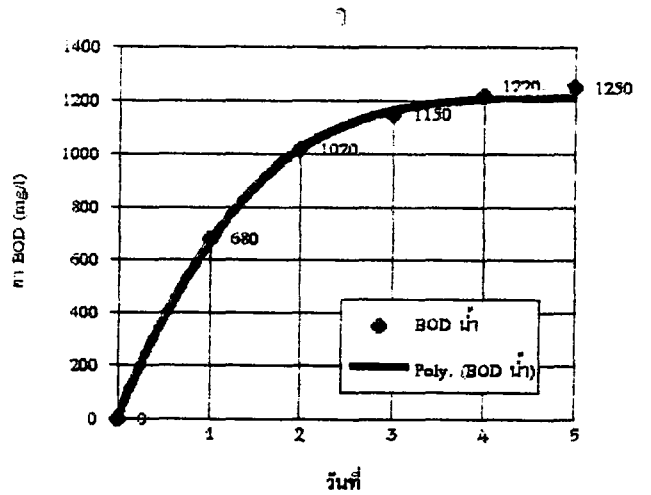
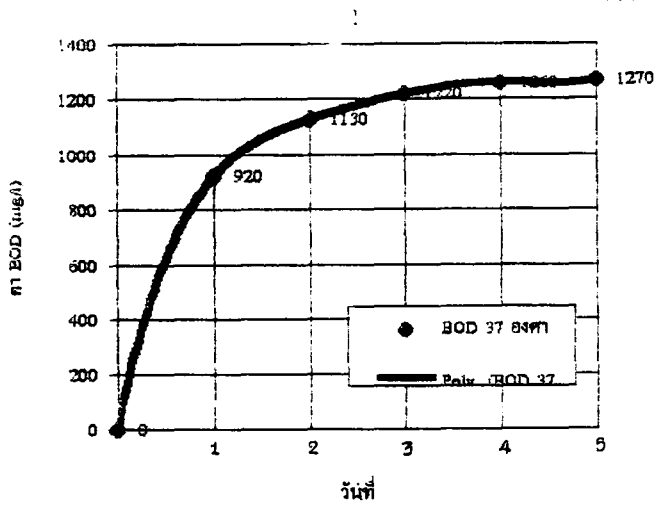
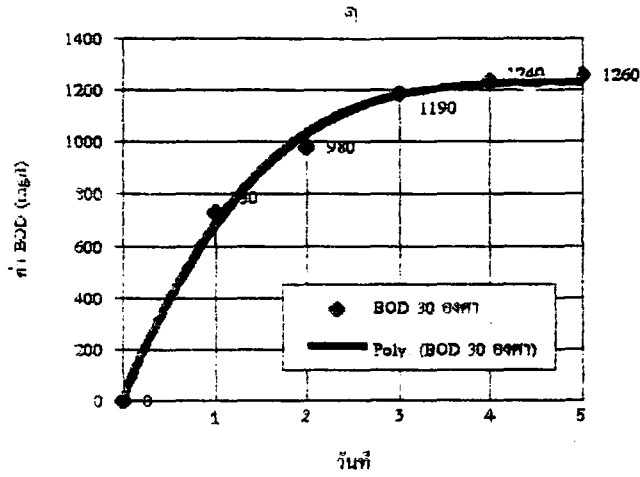
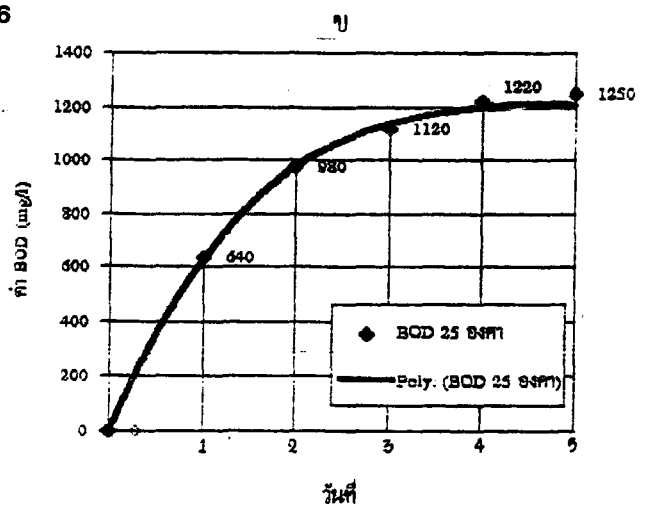
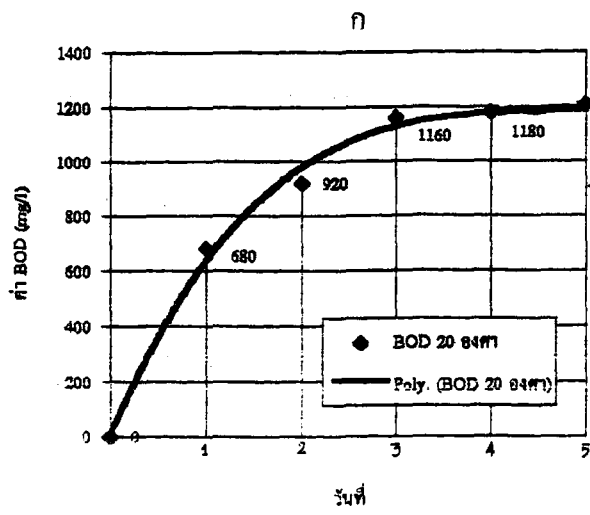
ตารางที่ 4-4 ค่าร้อยละบีโอดีน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	56.2	76.1	97.6	97.5	100	0	45.8	66.7	93.7	97.9	100
25	0	52.9	81	92.6	101	103	0	50	81.3	93.8	100	102
30	0	60.3	81	98.3	102	104	0	52.1	85.4	95.8	102	104
37	0	76	93.4	101	104	105	0	56.3	87.5	100	106	108
น้ำ	0	56.2	84.3	95	101	103	0	52.1	85.4	100	102	104

จากตารางจะเห็นว่าตัวอย่างน้ำซึ่งบ่มที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 5 จะมีค่าบีโอดีมากกว่า ร้อยละ 100 ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น โดยวันแรกมีการสลายสารอินทรีย์ในปริมาณสูงสุด และลดลงจนมีอัตราการสลายคงที่ เมื่อถึงวันที่ 5 ของการบ่มตัวอย่างน้ำ เมื่อใช้จำนวนวันที่บ่มน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ให้ค่าบีโอดีเทียบกับค่ามาตรฐาน (ร้อยละ 100) ได้ผลดังตารางที่ 4-5

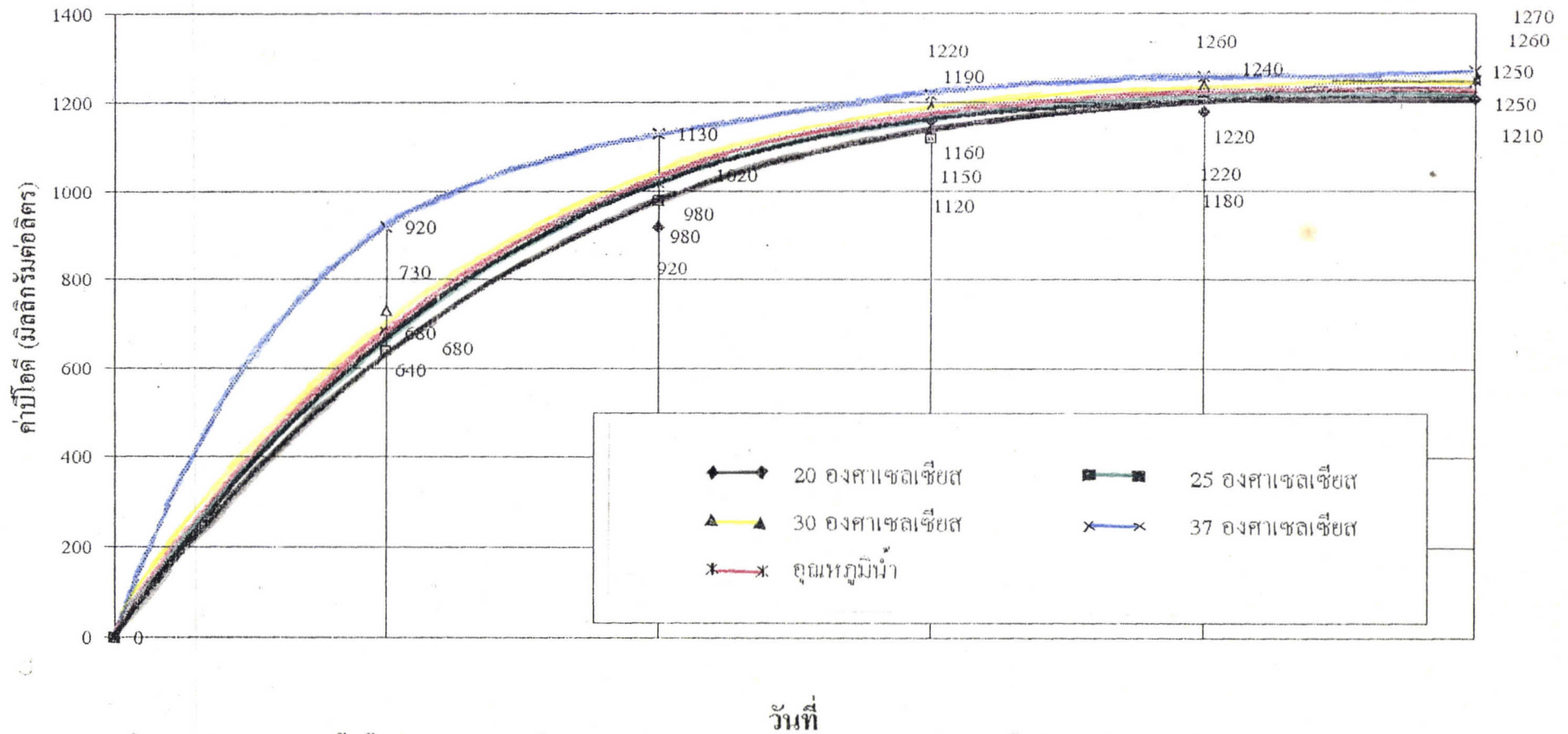
ตารางที่ 4-5 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่าค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	5	5
25	4.24	4
30	3.68	3.48
37	2.85	2.9
น้ำ	4	3.13

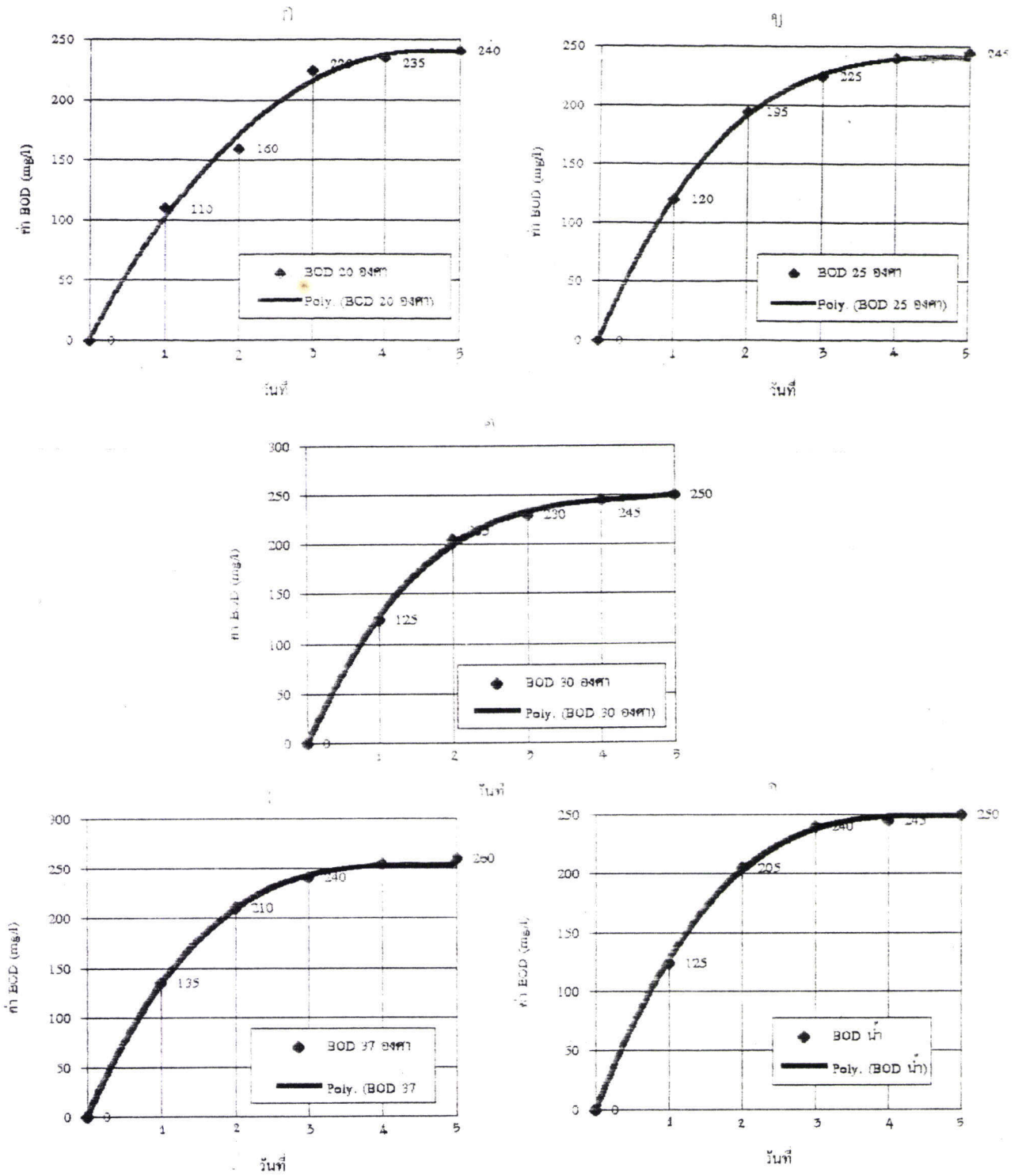


รูปที่ 2 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิน้ำ

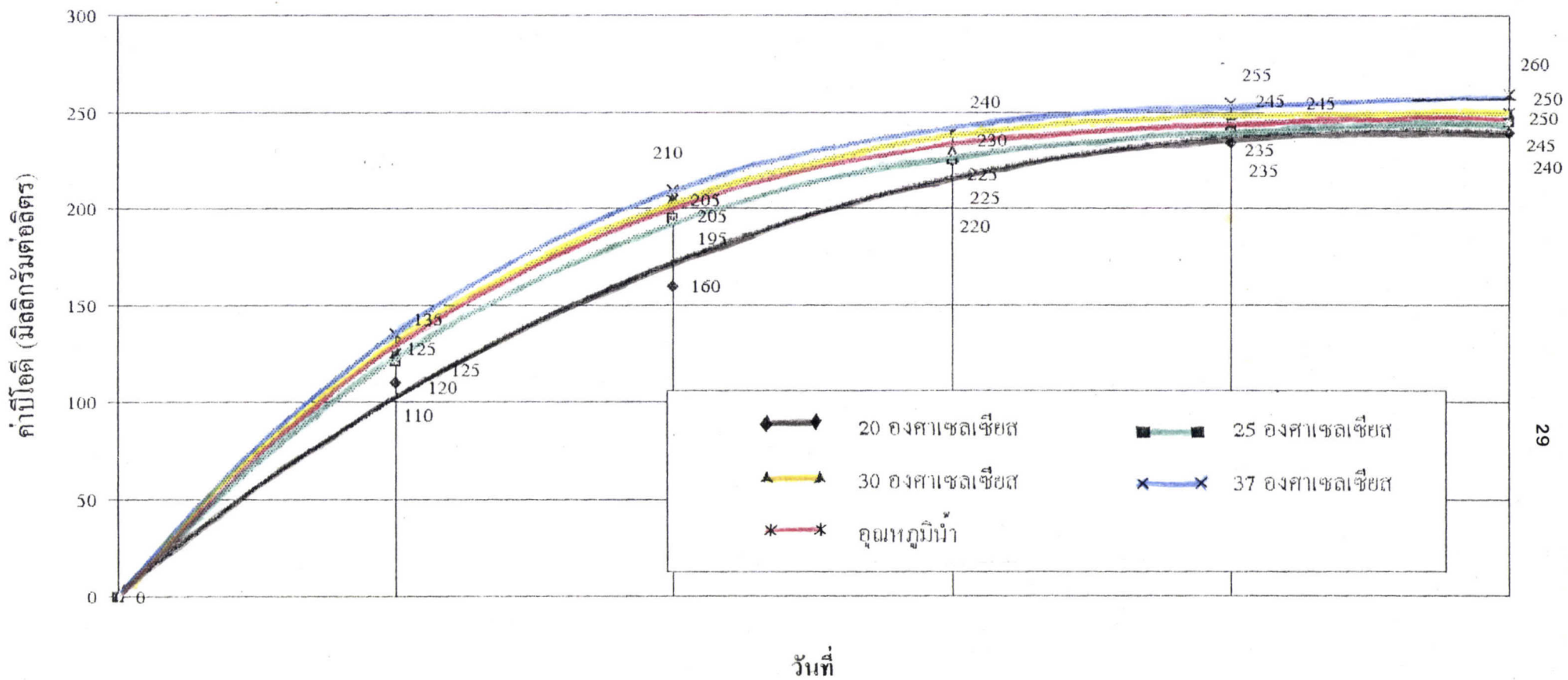


รูปที่ 3 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 1000



รูปที่ 4 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิปรุ



รูปที่ 5 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2 , ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 , 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ

จากตารางจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วที่สุดเทียบเท่ากับเวลาที่ใช้ในวิธีมาตรฐาน และที่อุณหภูมิต่ำลงคือ 30 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

4.3.2 อุตสาหกรรมการมีสาร โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

มีค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-6

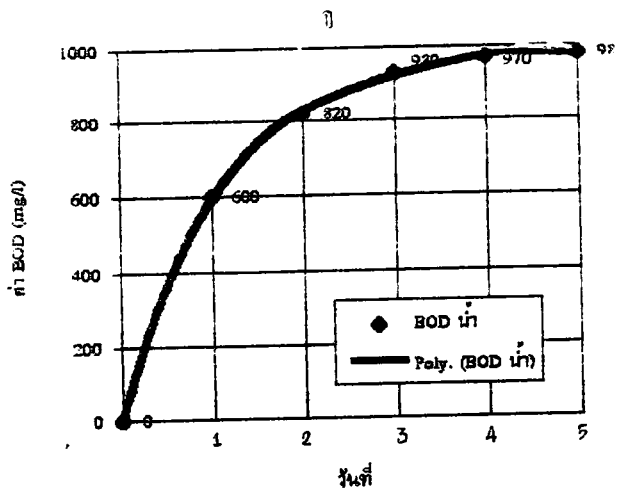
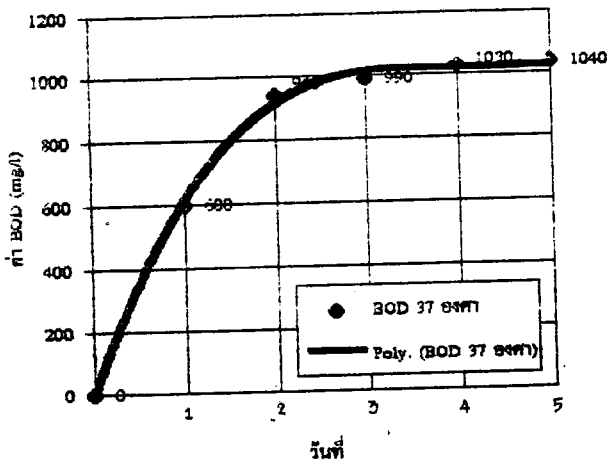
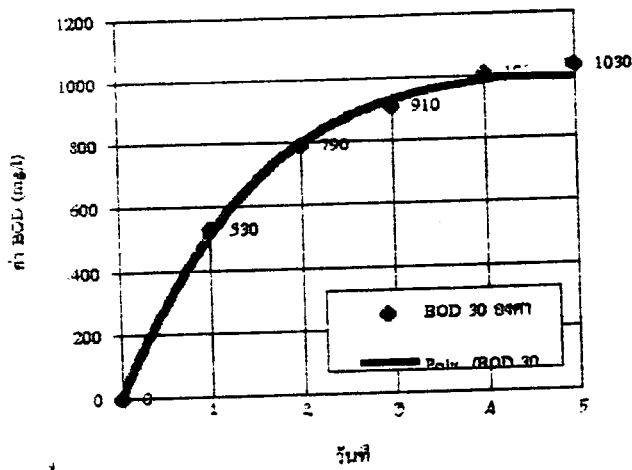
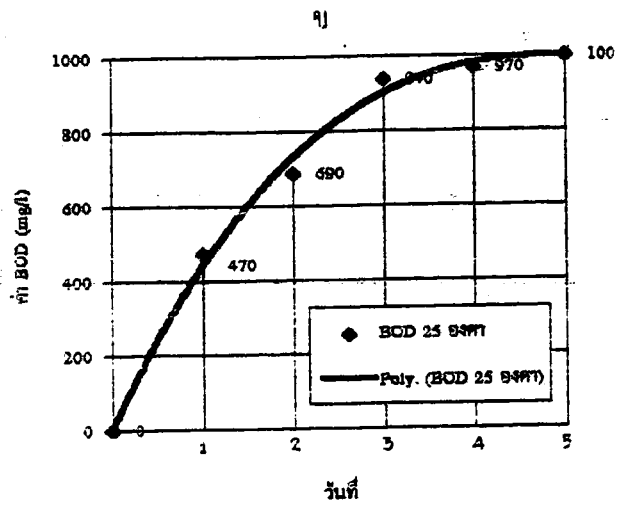
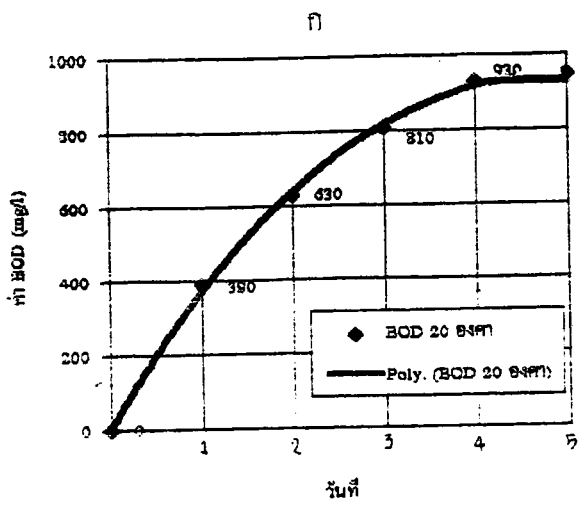
ตารางที่ 4-6 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมการมีสาร โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่1						ครั้งที่2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	390	630	810	930	950	0	110	160	225	235	240
25	0	470	690	940	970	1000	0	120	195	225	240	245
30	0	530	790	910	1010	1030	0	125	205	230	245	250
37	0	600	940	990	1030	1040	0	135	210	240	255	260
น้ำ	0	600	820	930	970	980	0	125	205	240	245	250

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับค่าบีโอดีของจากอุตสาหกรรมการมีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และสาเหตุที่ค่าบีโอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีโอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 6, 7, 8 และ 9 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นมีแนวโน้มของค่าบีโอดีเหมือนกันกับในอุตสาหกรรมการมีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อนำค่าบีโอดีมาคิดเป็นร้อยละโดยให้ค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันมีค่าเป็นร้อยละ 100 จะได้ผลดังตารางที่ 4-7

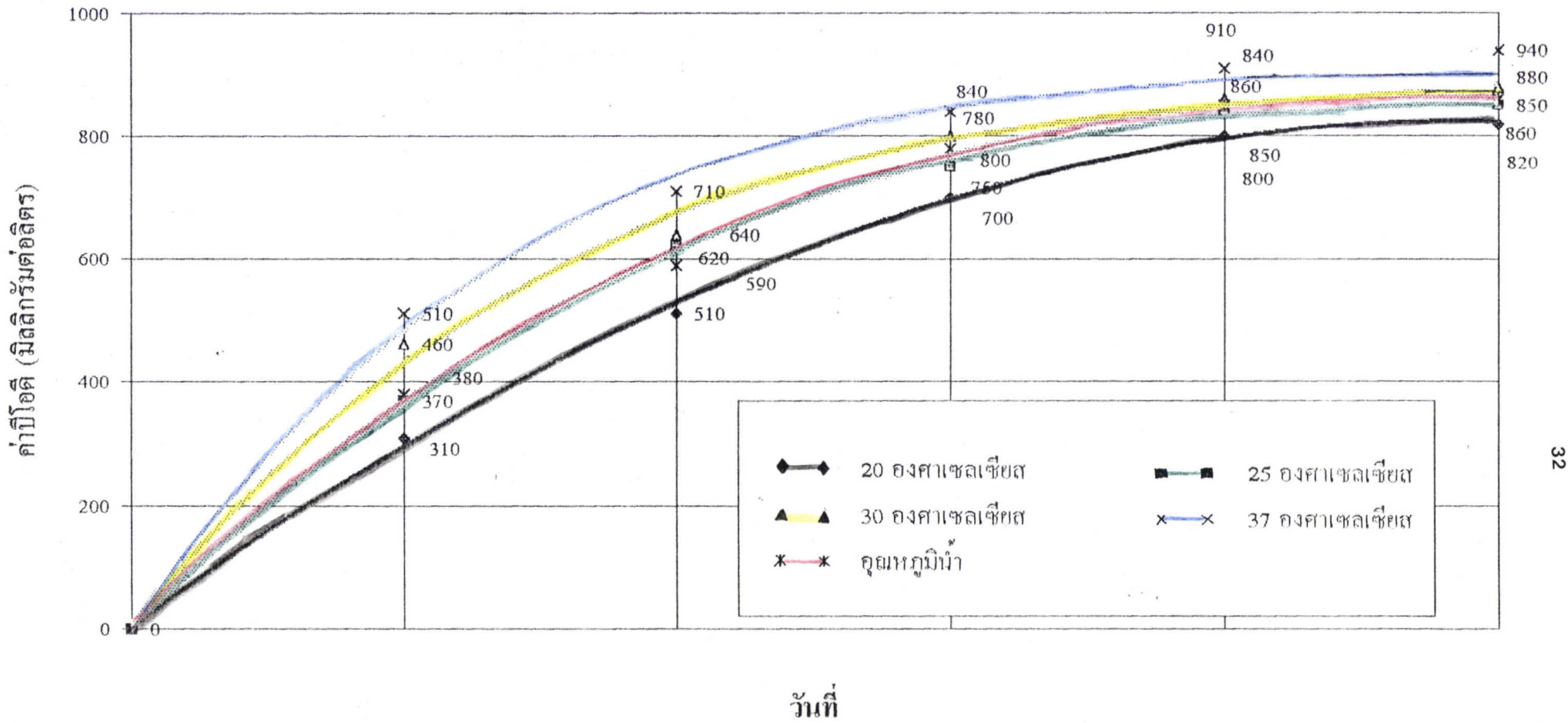
ตารางที่ 4-7 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมการมีสาร โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่1						ครั้งที่2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	41.1	66.3	85.3	97.9	100	0	45.8	66.7	93.7	97.9	100
25	0	49.5	72.6	98.9	102	105	0	50	81.3	93.8	100	102
30	0	55.8	83.2	95.8	106	108	0	52.1	85.4	95.8	102	104
37	0	63.2	98.9	104	108	109	0	56.3	87.5	100	106	108
น้ำ	0	63.2	86.3	97.9	102	103	0	52.1	85.4	100	102	104

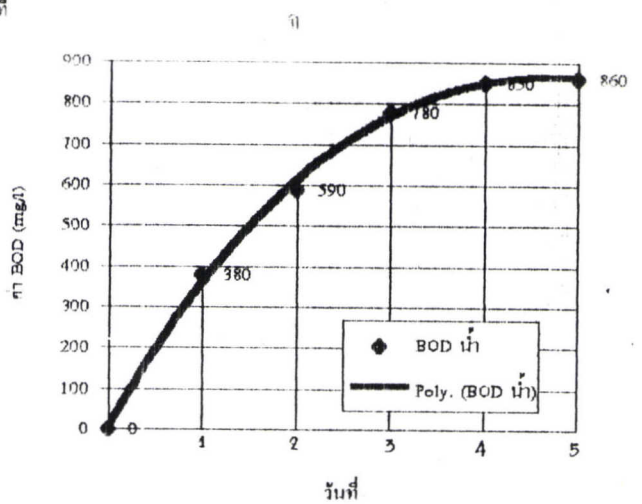
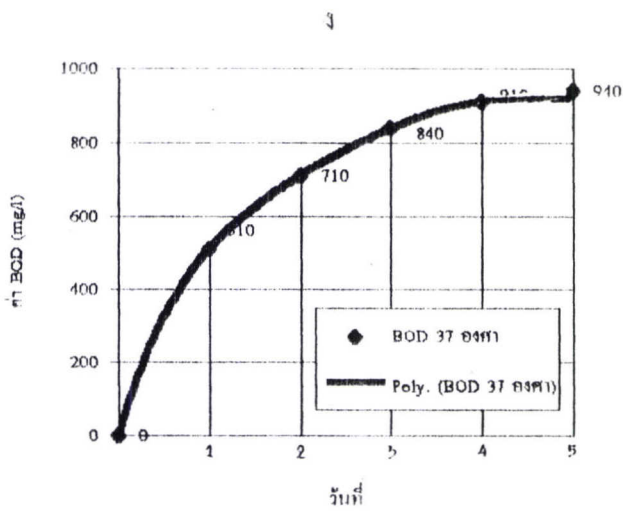
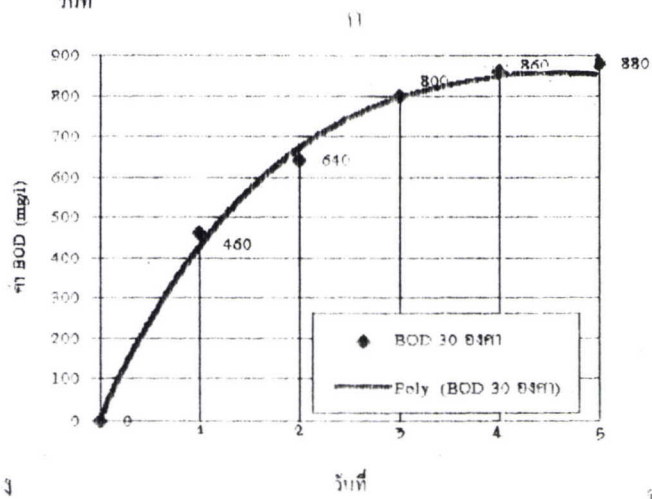
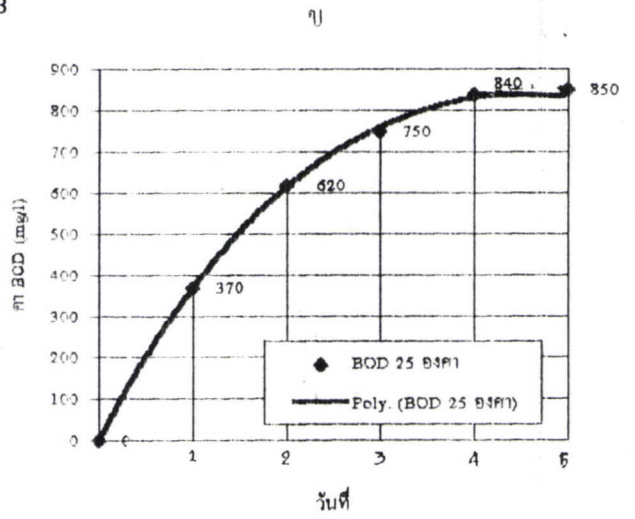
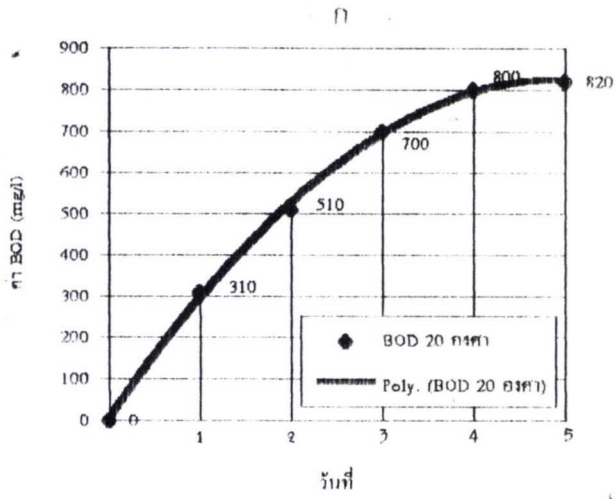


รูปที่ ๖ ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารไบเรดินเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิน้ำ

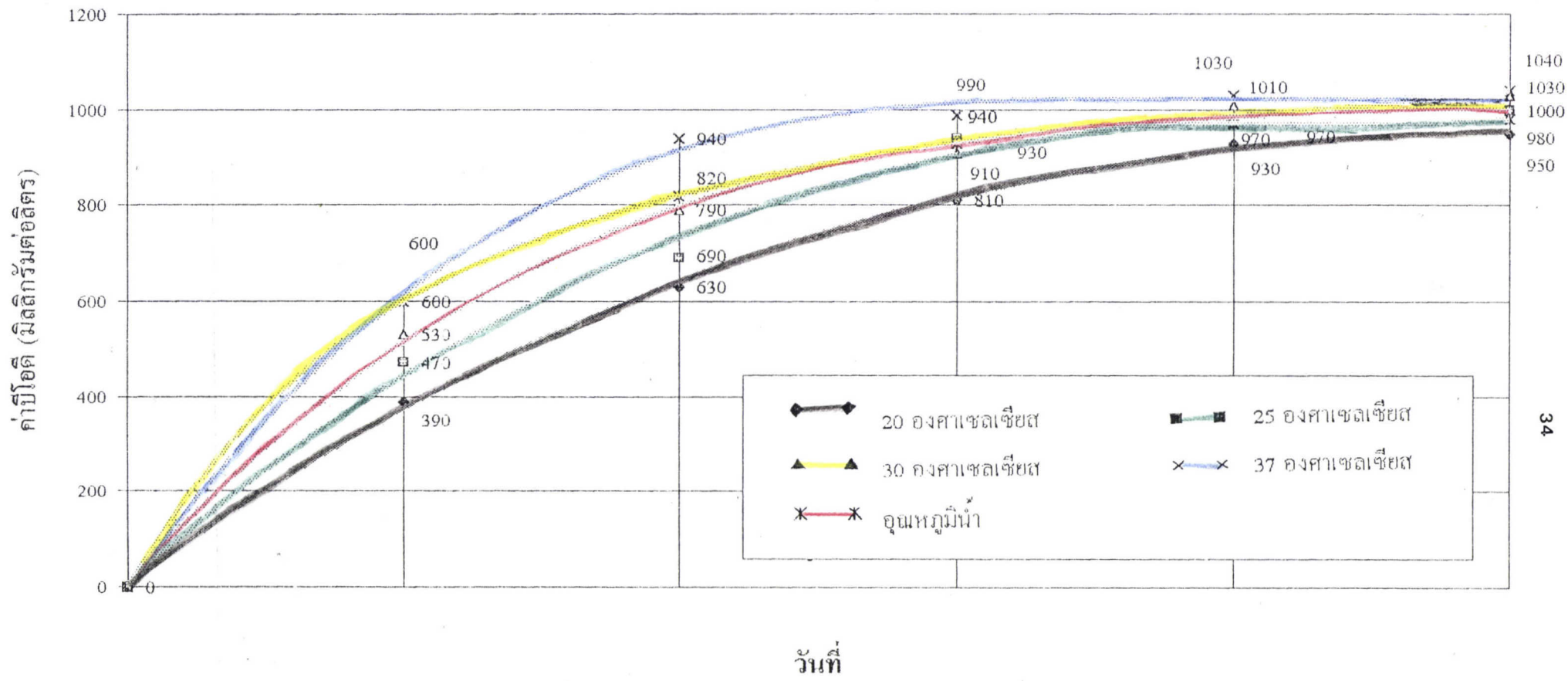


รูปที่ 7 ค่าบีโอดีของน้ำที่อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1, ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37 และอุณหภูมิน้ำ



รูปที่ 8 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสาร โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิน้ำ



รูปที่ 9 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2 , ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 5 จะมีค่าบีโอดีมากกว่าร้อยละ 100 ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยวันแรกมีการสลายสารอินทรีย์ในปริมาณสูงที่สุด และลดลงจนมีอัตราการสลายคงที่ เมื่อถึงวันที่ 5 ของการบ่มตัวอย่างน้ำ เมื่อใช้จำนวนวันที่ใช้บ่มน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ให้ค่าบีโอดีเทียบกับค่ามาตรฐาน ได้ผลดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่ากับค่ามาตรฐาน ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

อุณหภูมิ	ครั้งที่1	ครั้งที่2
20	5	5
25	3.78	3.48
30	3.35	3.27
37	2.68	2.26
น้ำ	3.52	3.36

จากตารางจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วที่สุดเทียบเท่ากับเวลาที่ใช้ในวิธีมาตรฐานคือ 5 วัน และที่อุณหภูมิต่ำลงคือ 30, อุณหภูมิน้ำ, 25 และ 20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

4.3.3 อุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่

มีค่าของน้ำทิ้งที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่

อุณหภูมิ	ครั้งที่1						ครั้งที่2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	750	1550	2100	2350	2425	0	1150	2100	3000	3150	3400
25	0	875	1825	2275	2475	2500	0	1600	2500	3200	3450	3500
30	0	1375	2275	2450	2550	2575	0	1850	2700	3350	3650	3700
37	0	1525	2225	2550	2650	2675	0	2050	3250	3650	3850	3900
น้ำ	0	1350	1975	2400	2500	2550	0	1600	2250	3250	3500	3550

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าบีโอดีของจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และสาเหตุที่ค่าบีโอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีโอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 10, 11, 12 และ 13 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นมีแนวโน้มของค่าบีโอดีเหมือนกันกับในอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อนำค่าบีโอดีมาคิดเป็นร้อยละโดยให้ค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันมีค่าเป็นร้อยละ 100 จะได้ผลดังตารางที่ 4-10

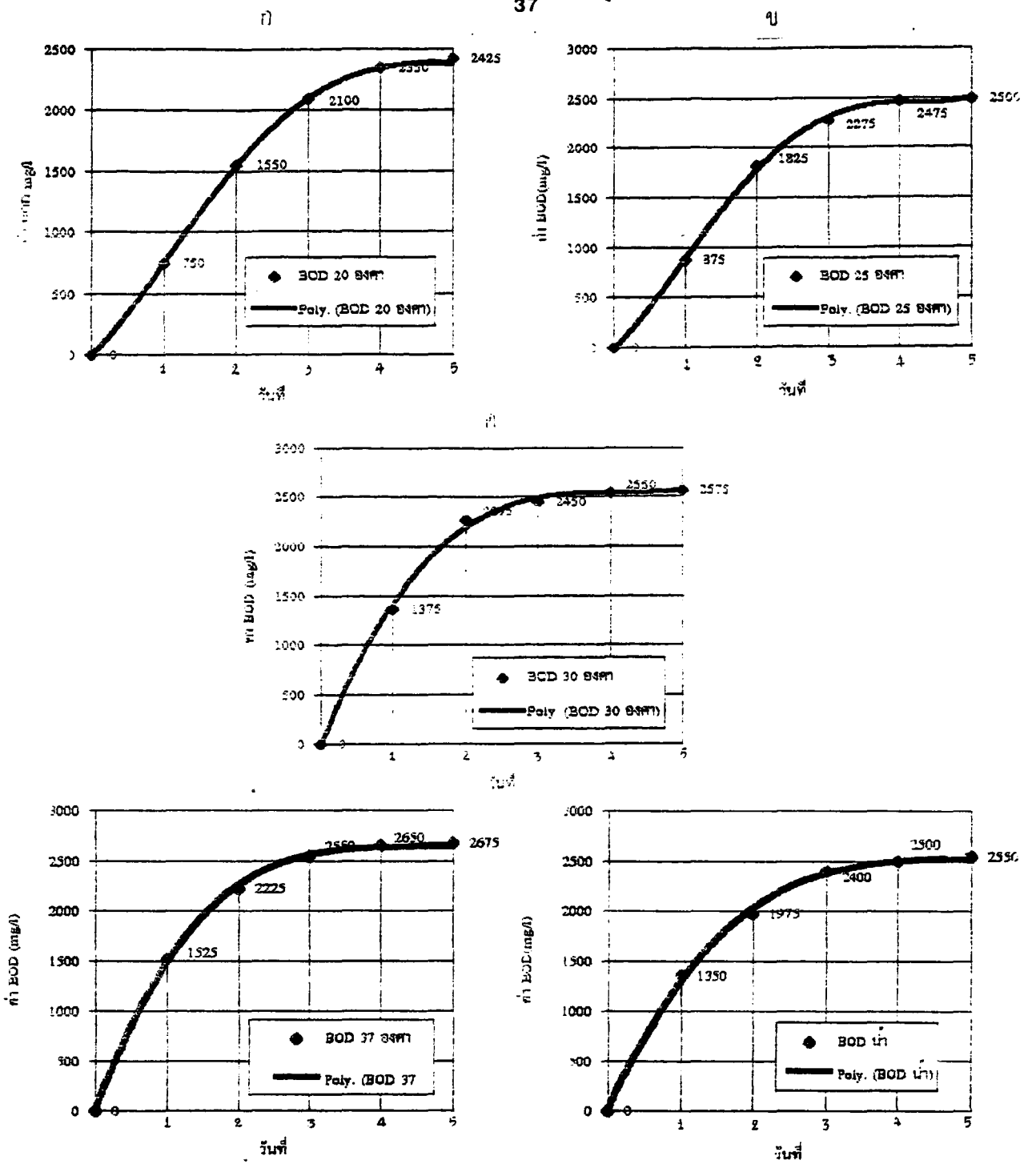
ตารางที่ 4-10 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่

อุณหภูมิ	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
20	0	30.9	63.9	86.6	96.9	100	0	33.8	61.8	88.2	92.6	100
25	0	36.1	75.3	93.8	102	103	0	47.1	73.5	94.1	101	103
30	0	56.7	93.8	101	105	106	0	54.4	79.4	98.5	107	109
37	0	62.9	91.8	105	109	110	0	60.3	95.6	107	113	115
น้ำ	0	55.7	81.4	99	103	105	0	47.1	66.2	95.6	103	104

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 5 จะมีค่าบีโอดีมากกว่าร้อยละ 100 ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น โดยวันแรกมีการสลายสารอินทรีย์ในปริมาณสูงที่สุด และลดลงจนมีอัตราการสลายคงที่ในวันที่ 5 ของการบ่มตัวอย่างน้ำ เมื่อใช้จำนวนวันที่ใช้บ่มน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ให้ค่าบีโอดีเทียบกับค่ามาตรฐาน ได้ผลดังตารางที่ 4-11

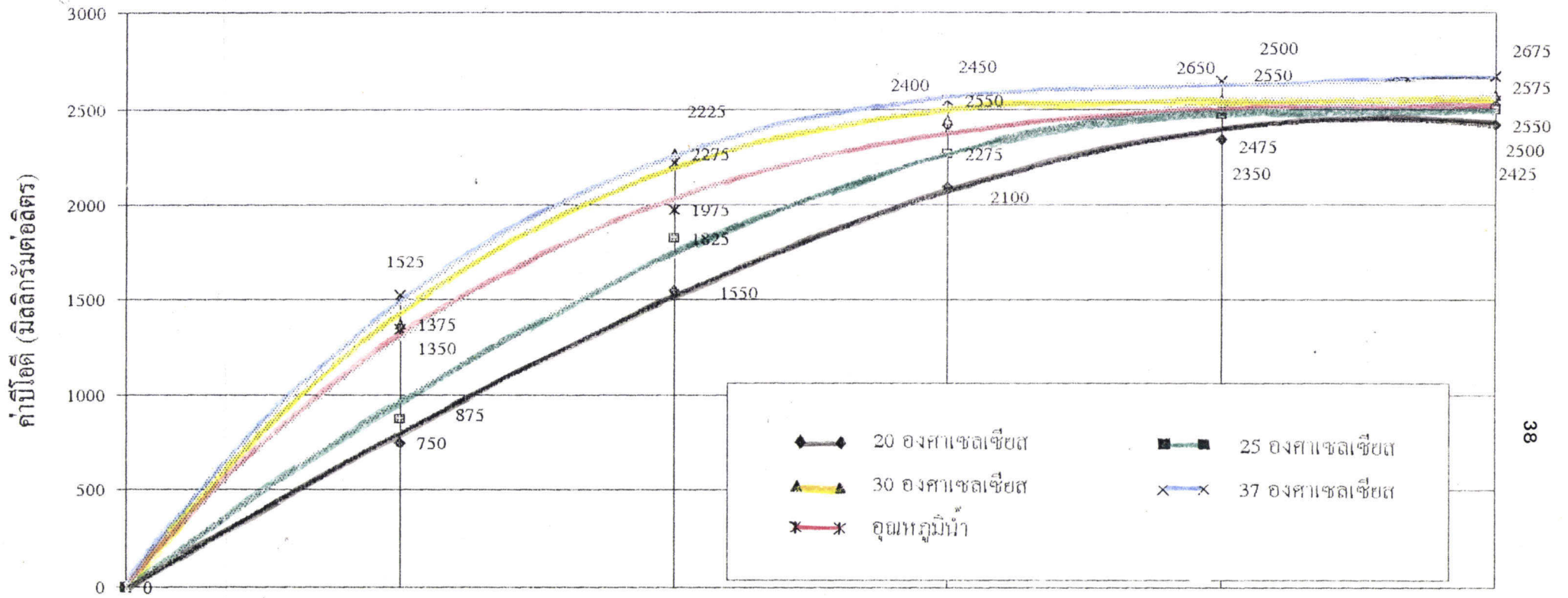
ตารางที่ 4-11 จำนวนวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่ากับค่ามาตรฐาน ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่

อุณหภูมิ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	5	5
25	3.52	3.8
30	2.65	3.25
37	2.52	2.29
น้ำ	3.36	3.61

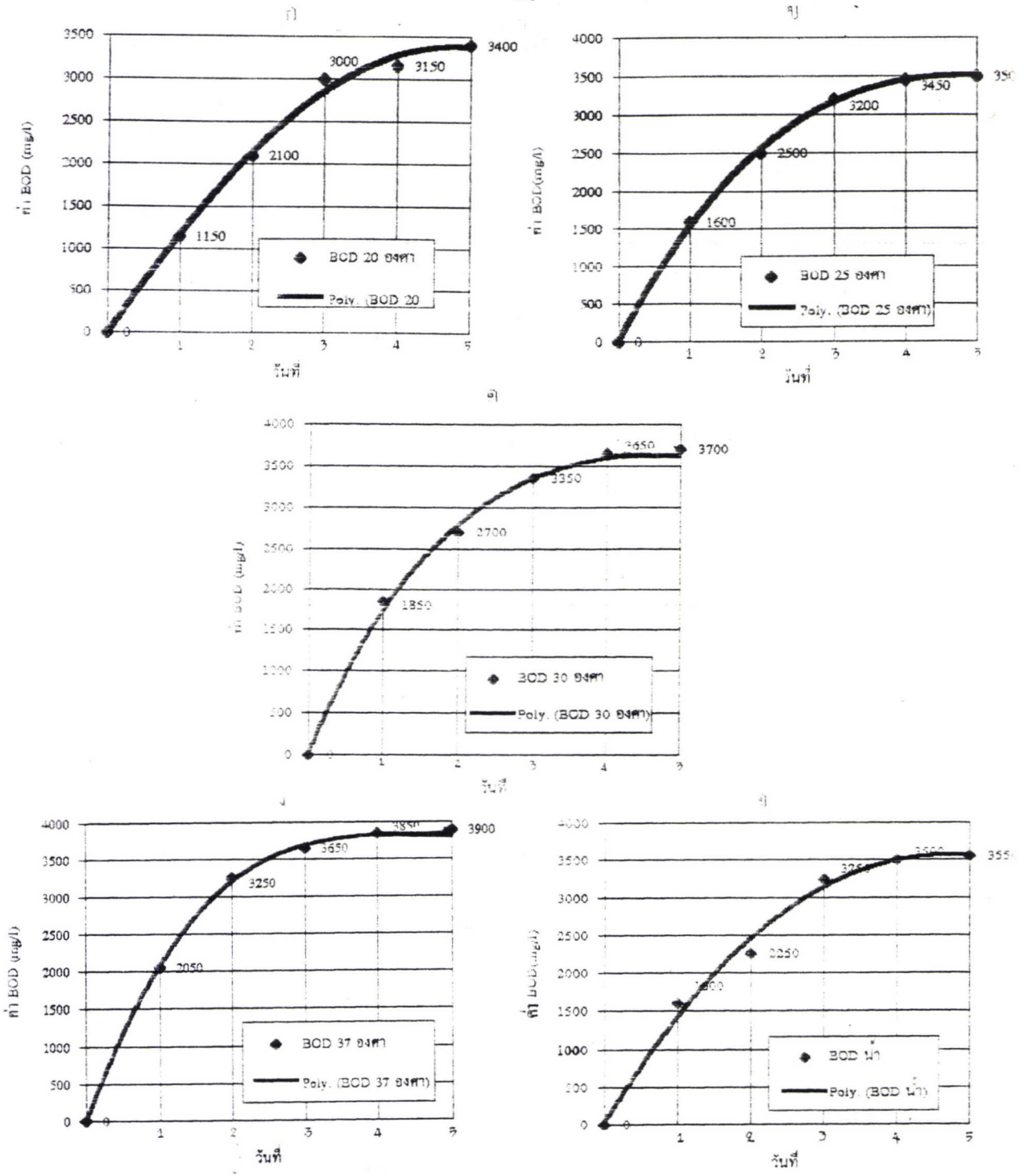


รูปที่ 10 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิน้ำ

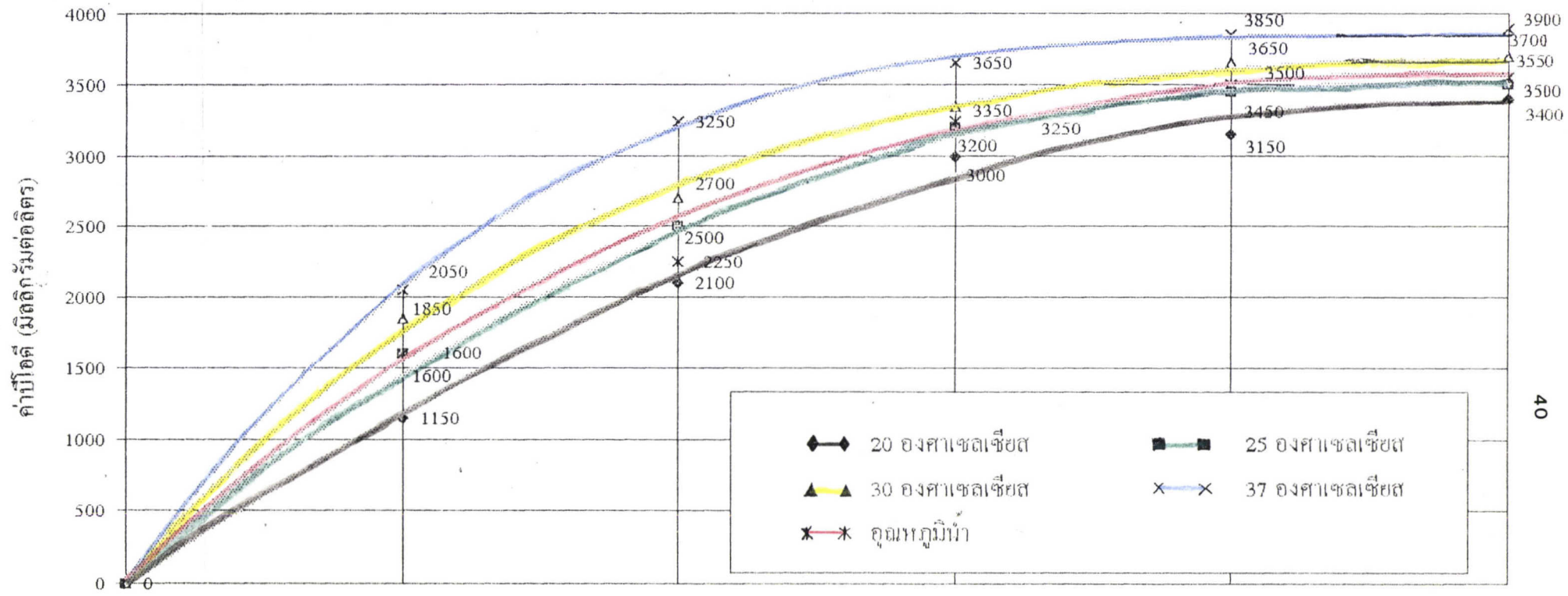


รูปที่ 11 ค่าปีโอต์น้ำทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 2000



รูปที่ 12 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2

- ก. 20 องศาเซลเซียส
- ข. 25 องศาเซลเซียส
- ค. 30 องศาเซลเซียส
- ง. 37 องศาเซลเซียส
- จ. อุณหภูมิน้ำ



รูปที่ 13 ค่าบีโอดีของน้ำที่อุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37, องศาเซลเซียสและ
 40
 อุณหภูมิน้ำ

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วที่สุดเทียบเท่ากับเวลาที่ใช้ในวิธีมาตรฐานคือ 5 วัน และที่อุณหภูมิต่ำลงคือ 30, อุณหภูมิน้ำ, 25 และ 20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

4.4 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับซีโอดี

จากค่าซีโอดีที่ได้ในตารางที่ 4-2 เป็นการหาเพื่อนำมาประมาณค่าบีโอดี ซึ่งต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ เพื่อให้มีร้อยละของตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสมกับออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำเจือจาง กล่าวคือต้องรักษาปริมาณออกซิเจนให้มีเพียงพอตลอดการบ่มตัวอย่างน้ำ หลังจากการวิเคราะห์บีโอดีแล้ว เมื่อนำค่าบีโอดีเปรียบเทียบกับค่าซีโอดี ได้ผลดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับค่าซีโอดี

ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อัตราส่วนค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดี
สารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก			
ครั้งที่ 1	1210	1652	3 ใน 4
ครั้งที่ 2	240	315	3 ใน 4
สารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก			
ครั้งที่ 1	950	1422	2 ใน 3
ครั้งที่ 2	950	1432	2 ใน 3
สารอินทรีย์เจือปนอยู่			
ครั้งที่ 1	2425	4866	1 ใน 2
ครั้งที่ 2	3400	3851	1 ใน 2

ตามทฤษฎีค่าบีโอดีจะมีค่าประมาณ 2 ใน 3 ของค่าซีโอดี คือในน้ำทั้งมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ 2 ส่วน จากสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมด 3 ส่วน จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าของอุตสาหกรรมประเภทที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ไม่เป็นตามทฤษฎีเนื่องจาก กรณีอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก นั้นมีค่าบีโอดี 3 ใน 4 ของค่าซีโอดี อาจเป็นเพราะในน้ำทั้งมีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายและนำไปใช้ได้ง่ายจึงทำให้ค่าบีโอดีมีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีมาก ส่วนในกรณีของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่มีค่าบีโอดี 1 ใน 2 ของค่าซีโอดีอาจเป็นเพราะในน้ำทั้งมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ในปริมาณน้อยจึงทำให้ค่าบีโอดีน้อยกว่าค่าซีโอดีมาก

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. แนวโน้มของการใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีที่ให้ผลเทียบเท่าการหาค่าบีโอดีโดยวิธีปกติ ลดลงไปในทางเดียวกัน คือที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีน้อยที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 30, อุณหภูมิ น้ำ, 25 และ 20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ
2. อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ใช้เวลาในการหาค่าบีโอดี เมื่อเทียบกับค่าบีโอดีมาตรฐาน ที่ 5 วัน ที่ 20 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดี ของอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ มากกว่าเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดี ของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ซึ่งจากผลข้างต้นสามารถลดเวลาในการหาค่าบีโอดี ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทนี้

1. การที่จะนำไปใช้งานจริงนั้นอาจทำได้ในระดับตรวจค่าความสกปรกของน้ำทิ้งคร่าว ๆ แต่ถ้าจะนำค่าที่วัดได้มาแทนค่าบีโอดี ที่หาโดยวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลกนั้น ในการแสดงค่าความสกปรกของน้ำทิ้งกับหน่วยงานราชการนั้นยังไม่ได้ เพราะยังไม่เป็นที่ยอมรับว่าค่าบีโอดีที่ได้เป็นค่าความสกปรกของน้ำใกล้เคียงความจริง ถ้าจะนำไปใช้ต้องทำการศึกษาหาข้อมูลให้มากกว่านี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีความถูกต้องเท่าเทียมกับวิธีมาตรฐาน
2. การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี จากการวิเคราะห์ปกติ (ที่ 20 องศาเซลเซียส) นั้นช่วยประหยัดพลังงานในการบ่มตัวอย่างได้ เพราะประเทศเราเป็นประเทศในเขตร้อน พลังงานที่ใช้ในการที่จะเพิ่มอุณหภูมินั้นใช้น้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

ภาคผนวก

ก. การวิเคราะห์ซีไอทีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

หลักการทั่วไป

เช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด

สารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าในระบบเปิด เพราะมีเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า การทำการทดสอบควรตรวจสอบว่าปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกตรงรอยต่อหรือไม่ การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความดันที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีไอทีต่ำ ควรใช้หลอดแก้วขนาด 25x150 มิลลิเมตร เพราะจะต้องใช้ตัวอย่างน้ำมาก

สารแทรกสอด

เช่นเดียวกับวิธีหาซีไอทีแบบวิธีการทำรีฟลักซ์แบบเปิด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลายควรใช้หลอดทดลองที่เป็น บอโรซิลิเกตซึ่งมีขนาด 16x100 หรือ 20x150 หรือ 25x150 มิลลิเมตร พร้อมทั้งฝาถูกบุด้วยบอโรซิลิเกตแอมูลขนาดความจุ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19-20 มิลลิเมตร

2. ฮีตดิงบล็อกเป็นอลูมิเนียมหล่อ มีช่องหลายๆช่องซึ่งมีความลึก 45-50 มิลลิเมตร เป็นช่องที่จะใช้หล่อ หรือแอมพูลตั้งอยู่ได้พอดี

3. เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ ให้ความร้อนอยู่ระหว่าง 150 ± 2 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ฝาถูกของหลอดทดลองที่อาจจะชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบจะทำให้เกิดการปนเปื้อน และทำให้มีการสูญหายของสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังสำหรับการย่อยสลายในเตาอบจะใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

4. เครื่องเชื่อมแอฟฟลูใช้แมกเนติกซีลเลอร์ที่แน่ใจว่ามีการเชื่อมที่แข็งแรงพอ

รีเอเจนต์

1. น้ำย่อยสลายสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.0167 โมลลาร์ ซึ่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัมซึ่งถูกทำให้แห้งที่ในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ที่ให้เย็นในโถทำแห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทอร์เมอร์ควิรัมซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้เป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟูริกรีเอเจนต์เช่นเดียวกับการรีฟลักซ์แบบเปิด

3. เฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ เช่นเดียวกับการรีฟลักซ์แบบเปิด

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต(FAS)ความเข้มข้น 0.1 โมลลาร์ ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายครั้งที่ผ่านมาใช้ เหมือนกับการรีฟลักซ์แบบเปิดแล้วหาจุดยุติ

การคำนวณ

$$\text{โมลลาร์ตีของ FAS} = \frac{\text{ปริมาณของ 0.0167 โมลลาร์ โปแตสเซียมไดโครเมต} \times 0.1}{\text{ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเตรท}}$$

ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเตรท

5. กรดซัลฟามิก เพื่อแก้สารแทรกสอดเนื่องจากไนไตรต์ โดยใส่กรดซัลฟามิก เพื่อกำจัดไนไตรต์ทุกๆหนึ่งมิลลิกรัม โดยใส่ในภาชนะย่อยสลายก่อนนำไปรีฟลักซ์

6. สารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท เช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด

วิธีวิเคราะห์

- ล้างหลอดและฝาจากด้วยกรดซัลฟูริกร้อยละ 20 ก่อนนำไปใช้
- เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่าง และสารเคมีตามตารางที่
- นำตัวอย่างน้ำใส่หลอดย่อยสลายหรือ แอพูล เติมสารละลายที่ย่อยสลาย
- เทกรดซัลฟูริก ให้ไหลลงก้นหลอดแก้วเพื่อให้ให้น้ำยาและตัวอย่างน้ำย่อยสลาย
- ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่นหรือถ้าใช้แอพูลก็ให้เชื่อมต่อให้สนิทแล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
- นำหลอดทดลองเหล่านี้ใส่ในเครื่องย่อยสลาย หรือเตาอบทำให้ร้อนถึง 150 องศาเซลเซียสก่อนทำให้เย็นรีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นวางในแลค
- เปิดฝาจากใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วย TFE ถ้าใส่แอพูลให้เทของผสมใส่ในภาชนะที่ใหญ่กว่าแล้วไปไทเตรท เติมเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด คน โดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็กอย่างรวดเร็วในขณะที่ไทเตรท จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจาก ฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง
- ด้วยวิธีทำเช่นกันให้รีฟลักซ์น้ำกลั่นแล้วไทเตรทแบบค้ำ(ปริมาตรน้ำกลั่นเท่ากับ ปริมาตรนำตัวอย่างที่ใช้)

การคำนวณ

$$\text{COD, มิลลิกรัม, ออกซิเจนต่อลิตร} = \frac{(a-b) \times m \times 8000}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างน้ำ}}$$

โดย a = ลูกบาศก์เซนติเมตร ของ FAS ที่ใช้ในการไทเตรตแบบค้ำ

b = ลูกบาศก์เซนติเมตร ของ FAS ที่ใช้ในการไทเตรตตัวอย่างน้ำ

m = โมลลาร์ตีของ FAS

ข.รูปจากการทดลอง



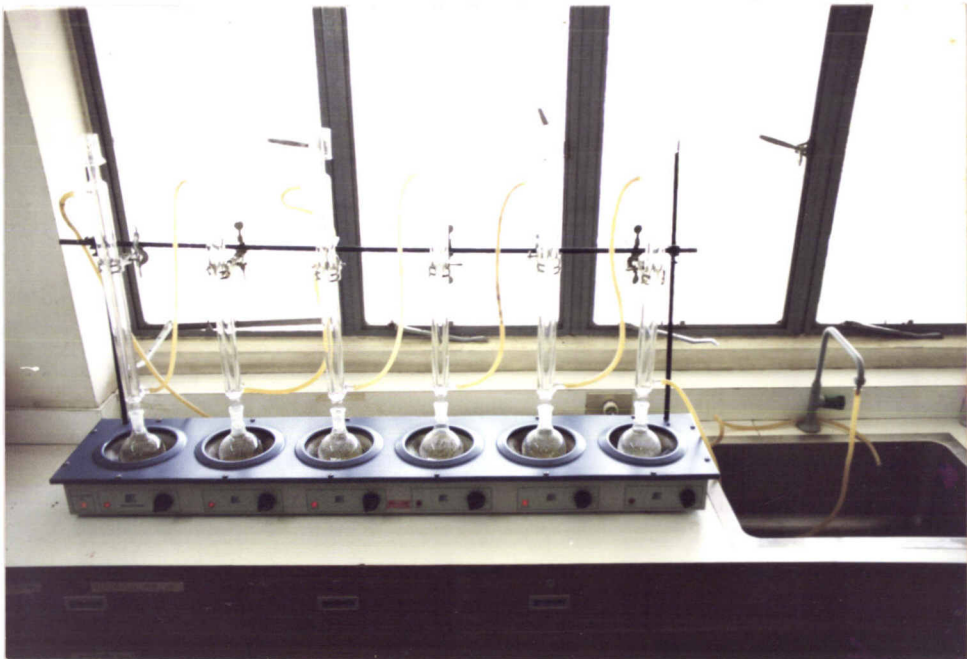
รูปที่ 14 ตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทำการทดลอง



รูปที่ 15 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี



รูปที่ 16 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใส่สารเคมีเตรียมวิเคราะห์ ซีโอดี



รูปที่ 17 ลักษณะการรีฟลักซ์แบบเปิดใช้เวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 18 ลักษณะการไตเตรทด้วยฟอร์รัสมอโมเนียมซัลเฟต



รูปที่ 19 ลักษณะสีก่อนถึงจุดยุติ



รูปที่ 20 ตักขณะตีเมื่อถึงจุดยุติ



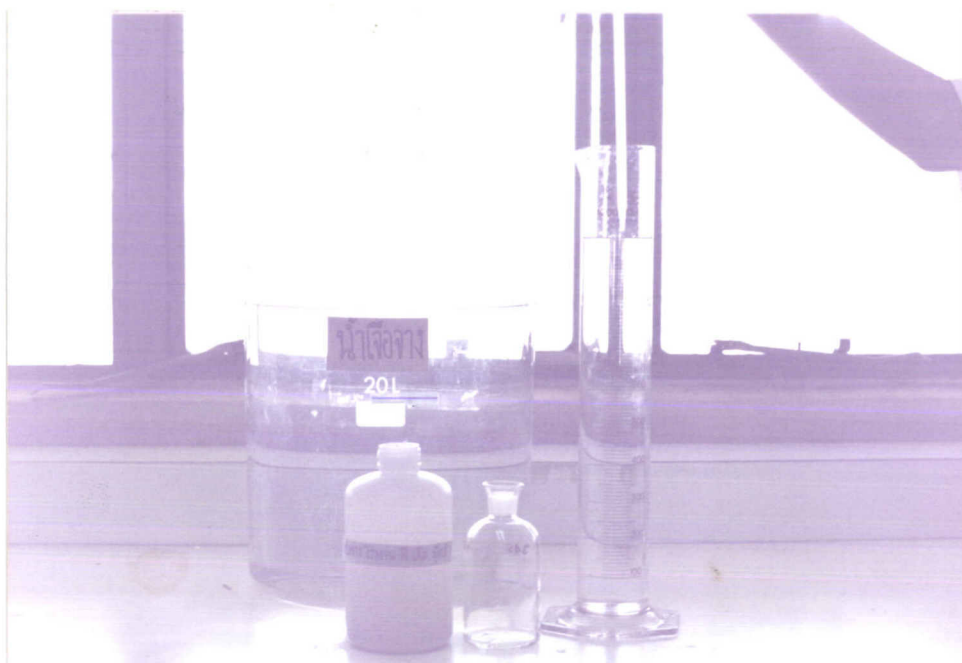
รูปที่ 21 สารเคมีที่ใช้ในการทำน้ำเจือจาง



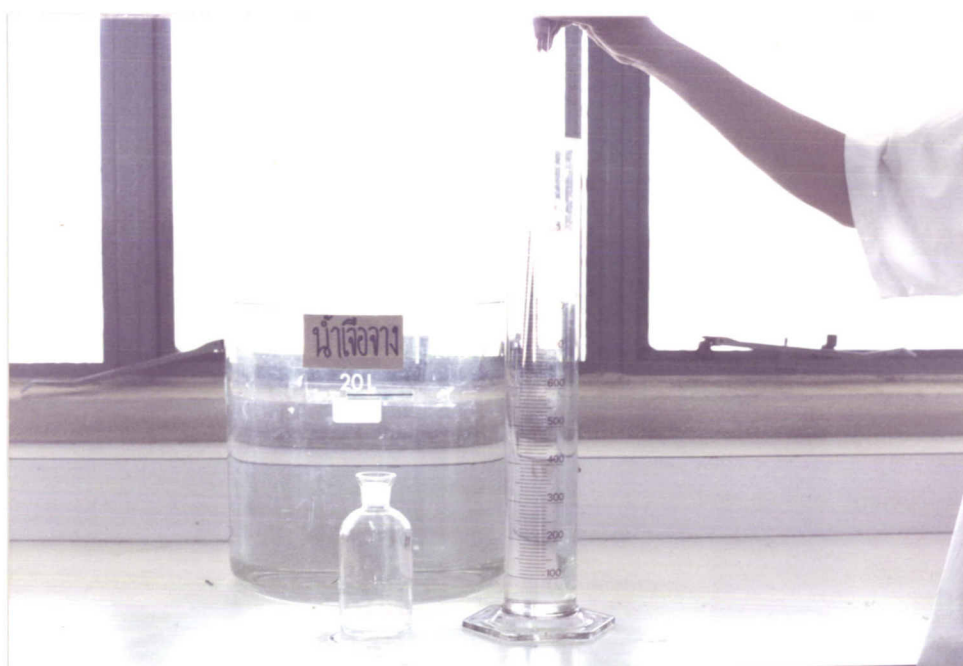
รูปที่ 22 น้ำเจือจางที่มีการให้อากาศ 1 ชั่วโมง



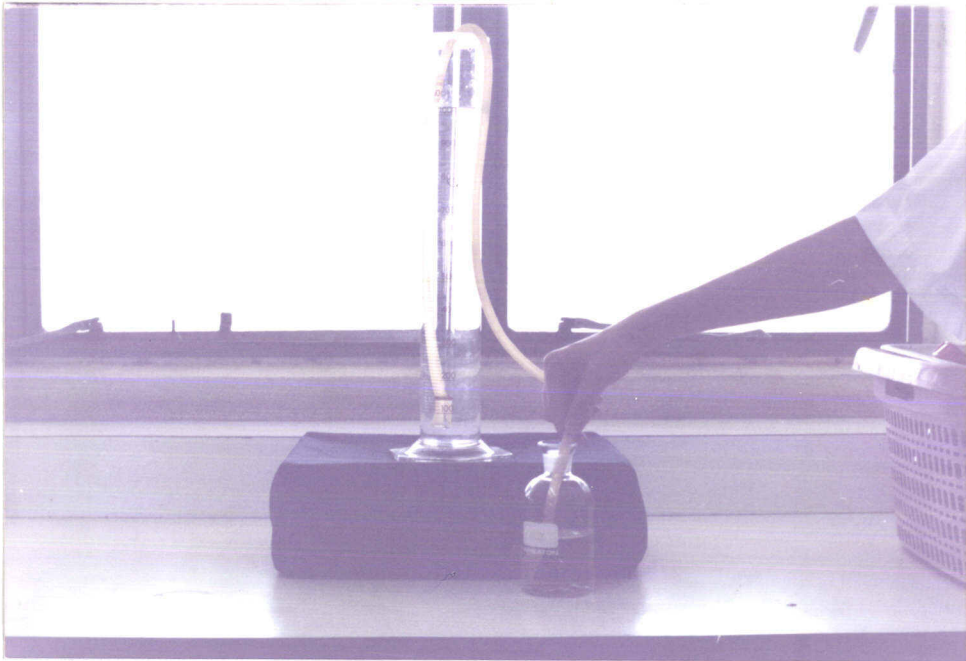
รูปที่ 23 การตวงน้ำ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยน้ำไม่เกิดฟองอากาศ



รูปที่ 24 วิธีการทำเจือจาง (dilution method)



รูปที่ 25 การทำการคนเพื่อให้มีความเข้มข้นเท่ากัน



รูปที่ 26 เทคนิคการใส่น้ำในขวดบิโอติ



รูปที่ 27 อัตราการเจือจางน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 28 ตู้ที่ใช้ในการปมหน้าตัวอย่าง



รูปที่ 29 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ



รูปที่ 30 เทคนิคในการใส่สารละลายแมงกานีสซัลเฟต



รูปที่ 31 เทคนิคในการใส่สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไซด์ เอไซด์(เอไอเอ)



รูปที่ 32 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใส่สารละลายแมงกานีสและสารละลายเอไอเอแล้วตั้งไว้ให้ตกตะกอน



รูปที่ 33 ลักษณะน้ำตัวอย่างที่มีตะกอนสีขาวเมื่อใส่แมงกานีสและเอไอเอแล้ว



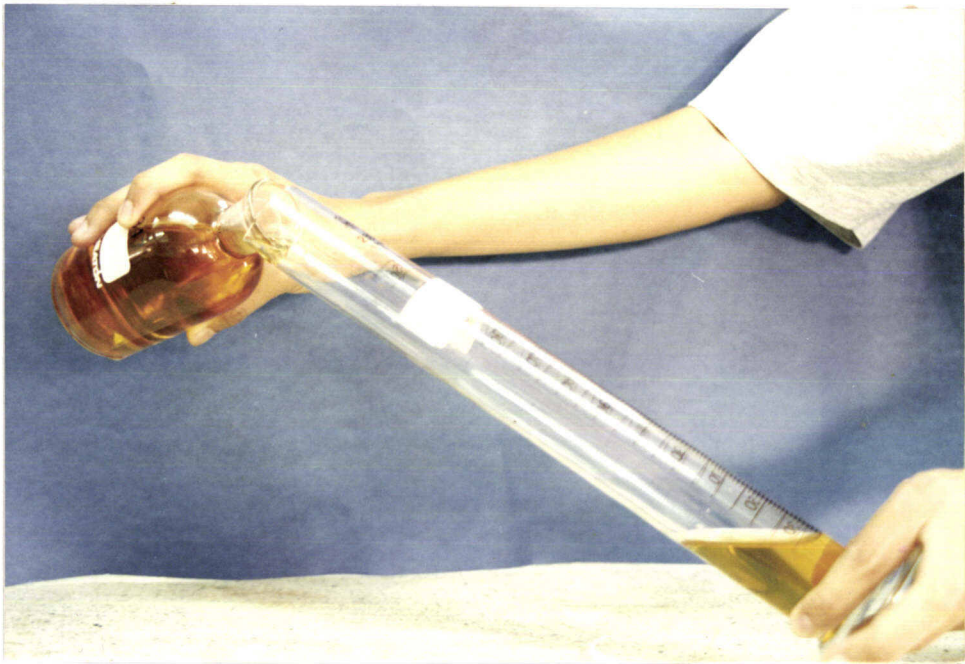
รูปที่ 34 เทคนิคในการใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น



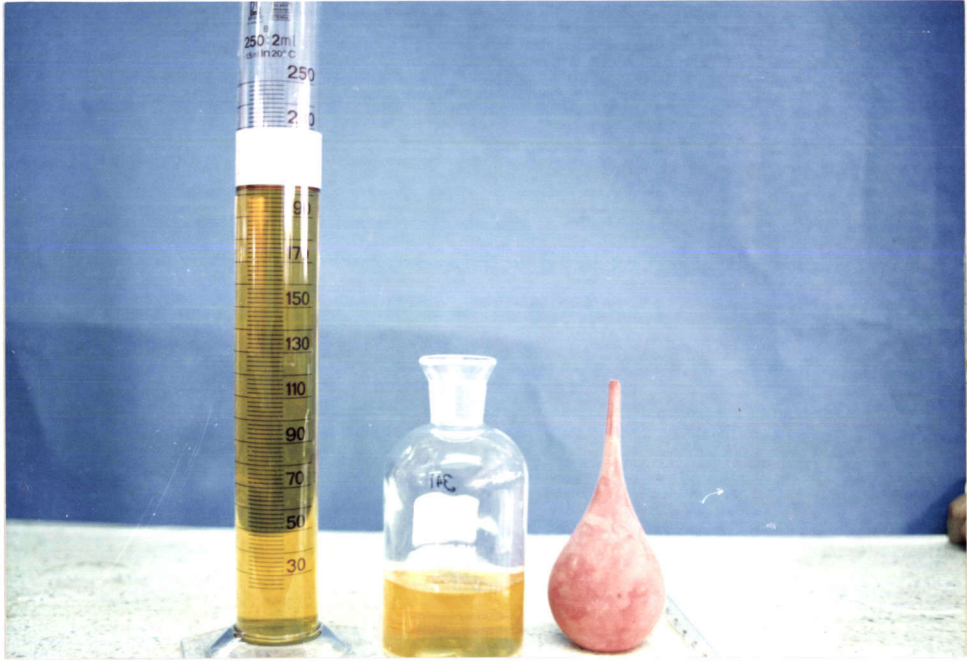
รูปที่ 35 น้ำตัวอย่างที่มีการใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น



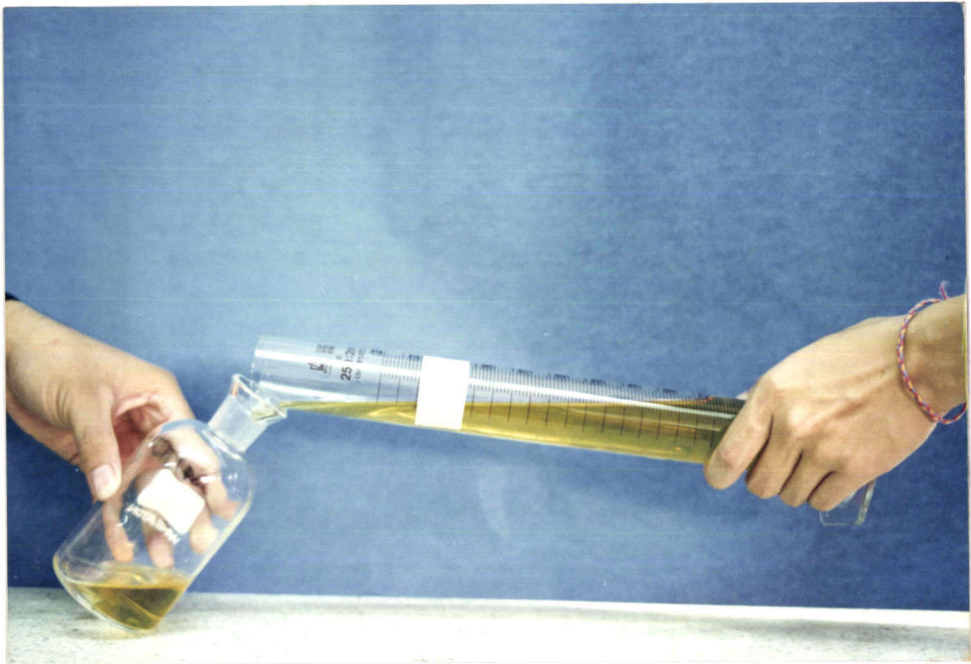
รูปที่ 36 ลักษณะน้ำตัวอย่างที่ใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้นแล้วไม่มีสี ไม่สามารถวัดค่าได้



รูปที่ 37 เทคนิคการตวงเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศ



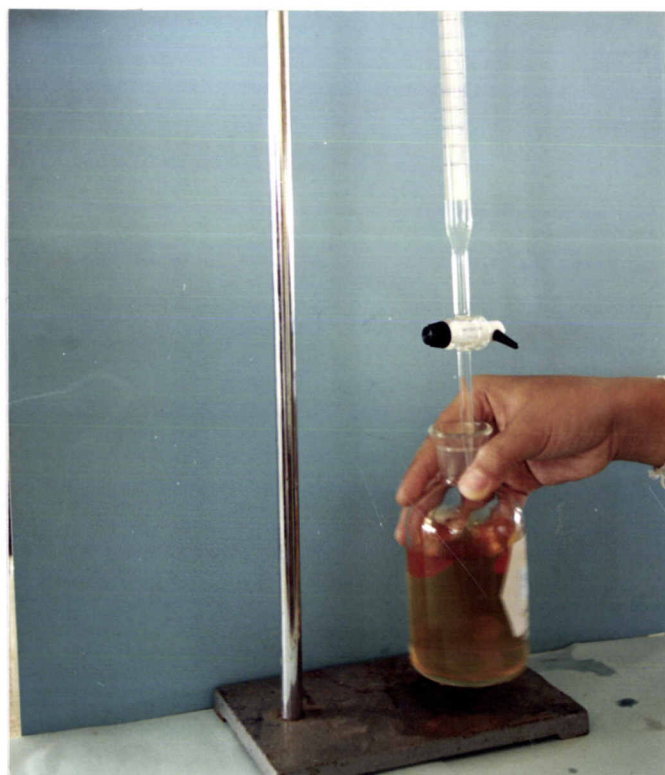
รูปที่ 38 ปริมาณน้ำเสียเมื่อตรวจครบปริมาณ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 39 เทคนิคการเทใส่ขวดเพื่อนำไปไตเตรท



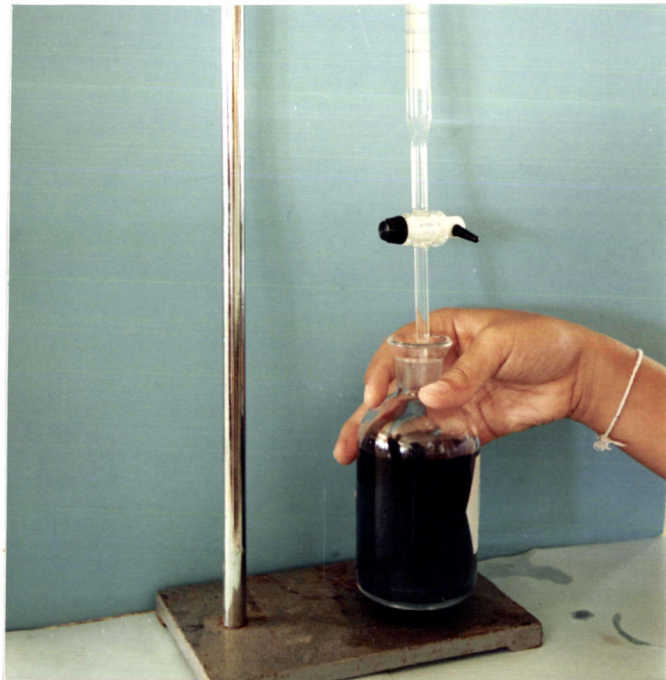
รูปที่ 40 สารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทหาค่าการละลายออกซิเจน



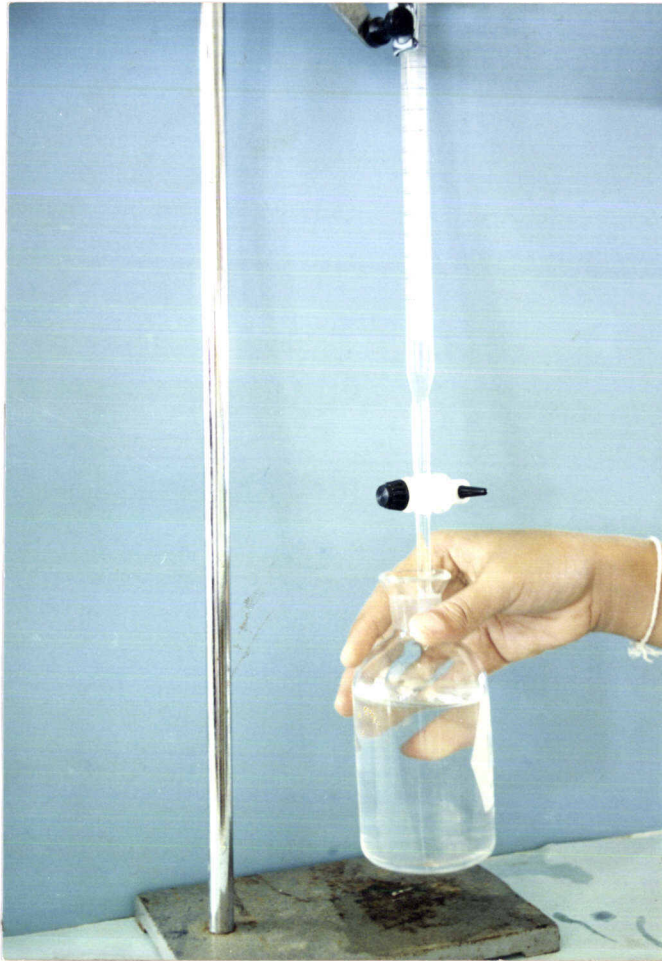
รูปที่ 41 การไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต



รูปที่ 42 ลักษณะสีก่อนเติมน้ำแป้ง



รูปที่ 43 ลักษณะสีเมื่อเติมน้ำแป้ง



รูปที่ 44 ลักษณะสีเมื่อถึงจุดยุติ

ค. ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 6-1 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

%ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	อุณหภูมิ																										
		20					25					30					37					น้ำ						
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5			
0.1	DO	8	7.25	7.058	6.9	6.8	6.75	6.35	6.8	6.7	8	7.1	6.95	6.8	6.75	6.7	8	7	6.85	6.7	6.6	6.55	8	7.15	6.9	6.85	5.7	6.6
	BOD	0	750	942	1100	1200	1250	1150	1200	1200	0	900	1050	1200	1250	1300	0	1000	1150	1300	1400	1450	0	850	1100	1150	1300	1400
	%BOD	0	60	75.36	88	96	100	92	96	104	0	72	84	96	100	104	0	80	92	104	112	116	0	68	88	92	104	112
0.2	DO	7.95	6.25	5.4	5.2	4.85	4.7	5.05	4.8	4.65	7.95	5.8	5.1	4.8	4.75	4.65	8	3.65	5	4.7	4.1	3.55	7.95	6	5.5	5.1	4.8	4.65
	BOD	0	850	1275	1375	1550	1625	1450	1575	1650	0	1075	1425	1575	1600	1650	0	1175	1500	1650	1950	2225	0	975	1225	1425	1575	1650
	%BOD	0	52.31	73.46	84.62	95.38	100	89.23	96.92	101.5	0	66.15	87.69	96.92	98.46	101.5	0	72.31	92.31	101.5	120	136.9	0	60	75.38	87.69	96.92	101.5
0.5	DO	7.7	4.3	3.1	2.4	1.8	1.65	2.1	1.6	1.45	7.7	4.05	2.8	1.75	1.5	1.4	7.7	3.1	2.05	1.6	1.4	1.35	7.7	4.3	2.6	1.95	1.6	1.45
	BOD	0	680	920	1060	1180	1210	1120	1220	1250	0	730	980	1150	1240	1260	0	920	1130	1220	1260	1270	0	680	1020	1150	1220	1250
	%BOD	0	56.2	76.03	87.6	97.52	100	92.56	100.8	103.3	0	60.33	80.99	98.35	102.5	104.1	0	76.03	93.39	100.8	104.1	105	0	56.2	84.3	95.04	100.8	103.3
1	DO	7.7	5.2	4.3	4.1	3.85	3.75	3.85	3.7	3.65	7.65	5	4.1	3.8	3.75	3.6	7.65	4.3	3.45	3.1	3.05	2.8	7.65	5.1	4.2	4.05	3.75	3.5
	BOD	0	250	340	360	385	395	385	400	405	0	265	355	385	390	405	0	335	420	455	460	485	0	255	345	360	390	415
	%BOD	0	63.29	86.08	91.14	97.47	100	97.47	101.3	102.5	0	67.09	89.87	97.47	98.73	102.5	0	84.81	106.3	115.2	116.5	122.8	0	64.56	87.34	91.14	98.73	105.1
2	DO	7.3	1.8	0.7	*	*	*	*	*	*	7.3	1.2	*	*	*	*	7.3	1.3	*	*	*	*	7.3	1.5	*	*	*	*
	BOD	0	275	330	*	*	*	*	*	*	0	305	*	*	*	*	0	300	*	*	*	*	0	290	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 6-2 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารละลายไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2

%ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	อุณหภูมิ																															
		20					25					30					37					น้ำ											
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		
0.2	DO	7.65	6.3	6.1	5.95	5.9	5.85	7.65	6.25	6.1	5.95	5.85	5.8	7.65	6.4	6.25	6.1	5.95	5.9	7.65	6.4	6.25	6.1	6	5.9	7.65	5.85	5.7	5.6	5.55	5.5		
	BOD	0	275	375	450	475	500	0	325	400	475	525	550	0	350	425	500	575	600	0	375	450	525	575	625	0	350	425	475	500	525		
	%BOD	0	55	75	90	95	100	0	65	80	95	105	110	0	70	85	100	115	120	0	75	90	105	115	125	0	70	85	95	100	105		
0.5	DO	7.6	5.8	5.4	5.3	5.2	5.15	7.6	5.65	5.4	5.25	5.15	5.1	7.6	5.8	5.6	5.45	5.2	5.05	7.6	5.75	5.5	5.3	5.15	5	7.6	5.4	5.1	4.95	4.6	4.5		
	BOD	0	200	280	300	320	330	0	240	290	320	340	350	0	250	290	320	370	400	0	270	310	360	390	420	0	220	280	310	380	400		
	%BOD	0	60.61	84.85	90.91	96.97	100	0	72.73	87.88	96.97	103	106.1	0	75.76	87.88	95.97	112.1	121.2	0	81.82	90.91	109.1	118.2	127.3	0	66.67	84.85	93.94	115.2	121.2		
1	DO	7.25	5.35	4.85	4.2	4.1	4.05	7.25	5.3	4.35	4.25	4.1	4.05	7.25	5.45	4.65	4.4	4.25	4.2	7.25	5.4	4.65	4.35	4.2	4.15	7.25	4.9	4.1	3.75	3.7	3.65		
	BOD	0	110	160	225	235	240	0	120	195	225	240	245	0	125	205	230	245	250	0	135	210	240	255	260	0	125	205	240	245	250		
	%BOD	0	45.83	66.67	93.75	97.92	100	0	50	81.25	93.75	100	102.1	0	52.08	85.42	95.83	102.1	104.2	0	56.25	87.5	100	105.3	108.3	0	52.08	85.42	100	102.1	104.2		
2	DO	7.75	4.5	3.4	2.2	*	*	7.75	3.95	1.55	0.8	*	*	7.75	3.45	1.55	1.1	*	*	7.75	3.3	1.8	0.7	*	*	7.75	3.25	1.55	1.2	*	*		
	BOD	0	122.5	177.5	237.5	*	*	0	152.5	272.5	310	*	*	0	187.5	282.5	305	*	*	0	197.5	272.5	327.5	*	*	0	170	255	272.5	*	*		
	%BOD	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 6-3 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

ลำดับ	ชนิด	อุณหภูมิ																												
		20					25					30					37					น้ำ								
		0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
0.2	DO	7.75	5.7	5.5	6	5.75	5.7	5.2	5.9	5.6	5.45	5.3	7.75	5.15	5.8	5.45	5.15	5	7.75	6	5.55	5.3	5.1	4.85	7.75	5.35	5.9	5.55	5.35	5.1
	BOD	0	325	525	575	800	825	400	550	700	775	850	0	450	625	800	850	1025	0	550	725	900	1000	1125	0	400	525	800	900	1025
	%BOD	0	59.4	63.6	81.8	97	100	48.5	66.7	84.8	93.9	103	0	54.5	75.3	97	115	124	0	65.7	87.9	103	121	155	0	48.5	75.8	97	105	124
0.5	DO	8	6.05	5.05	4.1	3.6	3.5	3.4	4.15	2.5	3.05	3	8	5	4.1	3.3	3	2.9	8	4.8	3.8	3.15	2.3	2.35	8	5.5	4.45	3.5	3.15	3.1
	BOD	0	310	510	700	800	820	270	620	750	840	850	0	460	640	800	860	880	0	510	710	840	910	940	0	380	590	780	850	860
	%BOD	0	37.8	62.2	85.4	97.6	100	45.1	75.6	91.5	102	104	0	56.1	78	97.6	105	107	0	62.2	86.6	102	111	115	0	46.3	72	95.1	104	105
1	DO	7.8	5.1	3.8	2.1	1.55	0.9	3.85	1.3	0.85	"	"	7.8	3.3	1.1	0.5	"	"	7.8	2	"	"	"	"	7.8	3.55	0.9	"	"	"
	BOD	0	230	360	530	585	650	320	575	620	"	"	0	380	600	660	"	"	0	515	"	"	"	"	0	325	630	"	"	"
	%BOD	0	35.4	55.4	81.5	90	100	49.2	88.5	95.4	"	"	0	58.5	92.3	102	"	"	0	79.2	"	"	"	"	0	50	96.9	"	"	"
2	DO	7.65	2.4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	7.65	"	"	"	"	"	7.65	"	"	"	"	"	7.65	"	"	"	"	"
	BOD	0	243	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0	"	"	"	"	"	0	"	"	"	"	"	0	"	"	"	"	"
	%BOD	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

ตารางที่ 6-4 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	อุณหภูมิ																												
		20					25					30					37					น้ำ								
		0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
0.3	DO	7.7	6.4	5.8	5.5	5.15	5.05	6.5	5.8	5.5	5.35	5.2	7.7	5.55	4.55	4.65	4.5	4.25	7.7	5.75	5.25	4.9	4.55	4.5	7.7	5.8	5.1	4.8	4.65	4.55
	BOD	0	425	725	975	1050	1100	325	875	1025	1100	1175	0	650	1000	1100	1175	1300	0	750	1000	1175	1350	1375	0	625	975	1125	1200	1250
	%BOD	0	38.64	65.91	88.64	95.45	100	47.73	79.55	93.18	100	106.8	0	59.09	90.91	100	106.8	118.2	0	68.18	90.91	106.8	122.7	125	0	56.82	88.64	102.3	109.1	113.6
0.5	DO	7.7	5.3	4.1	3.2	2.6	2.5	5.2	4.1	2.85	2.7	2.35	7.7	4.2	2.9	2.3	1.8	1.7	7.7	4.25	2.55	2.3	2.1	2.05	7.7	4.05	2.95	2.4	2.15	2.05
	BOD	0	390	630	810	930	950	470	690	940	970	1000	0	530	790	910	1010	1030	0	600	940	990	1030	1040	0	600	820	930	980	1000
	%BOD	0	41.05	66.32	85.26	97.89	100	49.47	72.63	98.95	102.1	105.3	0	55.79	83.16	95.79	106.3	108.4	0	63.16	98.95	104.2	108.4	109.5	0	63.16	86.32	97.89	103.2	105.3
1	DO	7.65	4	0.4	*	*	*	1.75	*	*	*	*	7.65	0.5	*	*	*	*	7.65	*	*	*	*	*	7.65	*	*	*	*	*
	BOD	0	320	680	*	*	*	575	*	*	*	*	0	630	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	DO	7.6	1.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.6	*	*	*	*	*	7.6	*	*	*	*	*	7.6	*	*	*	*	*
	BOD	0	272.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 6-5 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1

% วิจารณ์	ค่าวิเคราะห์	ผลเฉลี่ย																													
		90					85					80					85					90									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
00	DO	8	7.05	6.45	6.3	6.1	5	7.8	5.7	5.35	5.15	5	4.8	8	7.2	5.3	5.5	5.3	5.1	7.8	6.7	5.8	5.6	3.8	3.2	7.8	6.35	6.1	5.5	5.1	5.5
	BOD	0	1100	2100	2600	3000	3200	0	400	500	500	500	500	0	100	200	200	350	370	0	100	160	130	130	400	0	1600	200	300	350	360
	%BOD	0	24.4	51.6	8.3	9.3	100	0	43.4	78.1	90.6	100	119	0	5.1	7.1	9.6	1.3	11.3	0	65.4	51.3	101	119	128	0	10	8.4	9.8	1.9	11.3
01	DO	7	6.6	5.85	5.55	4.85	4.65	7.1	6.1	5.6	5.05	4.6	4.5	7	5.95	5.2	4.8	4.4	4	7.1	6.45	4.65	4.2	3.1	3.5	7	5.95	4.3	4.3	4.5	4.5
	BOD	0	900	1350	2250	2550	2850	0	1100	1900	1450	1900	2100	0	1750	2300	2700	3200	3500	0	700	500	1900	1000	3650	0	1400	2300	2500	2800	3600
	%BOD	0	31.6	57.9	75.4	85.5	100	0	38.6	66.7	36	102	119	0	5.4	8.7	9.7	1.1	11.1	0	69.6	87.7	109	105	128	0	4.1	7.9	8.5	1.9	10.6
02	DO	7.8	6.1	4.5	3.4	2.3	2.75	7.8	5.8	5.55	3.0	2.6	2.6	7.8	4.35	3.5	2.7	2.1	2.45	7.8	4.1	2.6	2.1	1.9	1.9	7.8	4.75	4.5	2.65	2.45	2.45
	BOD	0	750	1750	2100	2350	2425	0	371	1825	1275	1475	250	0	1375	2275	2450	2550	2575	0	1525	1225	1550	1550	2675	0	1350	1475	2400	2500	2550
	%BOD	0	34.9	63.9	86.6	96.9	100	0	36.1	75.3	93.4	102	105	0	5.67	9.8	10.1	10.5	10.5	0	62.8	91.8	105	109	110	0	52.7	8.4	9.9	10.5	10.5
03	DO	7.8	6.4	1.3	*	*	*	7.8	2.2	*	*	*	*	7.8	*	*	*	*	*	7.8	*	*	*	*	*	7.8	2.3	*	*	*	*
	BOD	0	240	1250	*	*	*	0	1080	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	510	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 6-6 ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2

%ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	จุดหลุม																													
		20					25					30					37					น้ำ									
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
0.1	DO	7.85	5.05	5.1	4.2	4.05	3.8	7.85	6.5	4.6	3.9	3.65	3.5	7.85	4.8	3.95	3.3	3	2.95	7.85	4.7	3.5	3.1	2.9	2.85	7.85	5.3	4.65	3.65	3.4	3.35
	BOD	0	1150	2100	3000	3150	2400	0	1600	2500	3000	3450	3500	0	1850	2700	2950	3650	3700	0	2050	3250	3650	3850	3900	0	1600	2250	3250	3500	2550
	%BOD	0	33.8	61.8	88.2	92.8	100	0	47.1	73.5	94.1	101	103	0	54.4	79.4	98.5	107	109	0	60.3	93.6	107	113	115	0	47.1	66.2	95.6	103	104
0.2	DO	8	5.75	3.6	2.9	1.68	1.08	8	3.9	2.6	1.1	0.9	0.8	8	3.15	0.3	*	*	*	8	3	0.6	*	*	*	8	3.85	2	1.25	0.7	*
	BOD	0	800	1875	2225	2849	3150	0	1375	2325	3075	3175	3225	0	1825	3000	*	*	*	0	1950	3150	*	*	*	0	1600	2525	2900	3175	*
	%BOD	0	25.4	59.5	70.6	90.4	100	0	53.2	75.8	97.6	101	102	0	57.9	95.2	*	*	*	0	61.9	100	*	*	*	0	50.8	80.2	92.1	101	*
0.5	DO	7.85	6.45	1.75	*	*	*	7.85	2.25	*	*	*	*	7.85	1	*	*	*	*	7.85	*	*	*	*	*	7.85	1.75	*	*	*	*
	BOD	0	150	1050	*	*	*	0	970	*	*	*	*	0	1130	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	1030	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
1	DO	7.85	2.2	0.5	*	*	*	7.85	3.3	*	*	*	*	7.85	*	*	*	*	*	7.85	*	*	*	*	*	7.85	*	*	*	*	*
	BOD	0	500	670	*	*	*	0	380	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*	0	*	*	*	*	*
	%BOD	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ สิริสิงห์, เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2, 179- 224 น. , 2525
- ณรงค์ ณ เชียงใหม่, มลพิษสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1, 27-85 น. , กรุงเทพ, 2525
- วิรัช วิฑูรย์เธียร, “การวัดค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรดชีวภาพ” วารสารโรงงาน ฉบับที่ 2 ปีที่ 10 (2534), 16-21
- เสริมพล รัตสุข, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน, พิมพ์ครั้งที่ 2, 293-301 น. 2524
- ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุนน, คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 1 , 64- 90 น., 2525
- อรทัย ขวาลภฤทธิ, คู่มือปฏิบัติการเคมีของน้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 1, 58-79 น., 2535
- Antony F. Gaudy and Elizabeth T. Gaudy “Microbiology for Environmental Scientists and Engineers”, 736 P., 1992
- Bruce E. Logan and Gritchen A Wagenseller “Water Environment Research”, V.65., 1992
- Busch, A.W. “BOD Progression in Soluble Substrates”, Sew. Ind. Wastes., V.30, P.1336- 1349, 1985
- David J.Holme and Hazal Peck “Longman Scientific and Technical”, Singapore, P.1983, 1988
- Young ,J.C. and Baumann E.R. “Engineering Research”, P. 1-7,32-38,133-134,134-139, 1972
- Maragno, A.L.F. and Campos, J.R “Water Science and Technology”, V 25, 179-191, 1992
- Nilay Chaudhuri and Paritosh “BOD Test for Tropical Countries”, V. 118, P. 298-303, 1992
- Orford, H.E. “A Single Dilution Technique for BOD Studies”, Sew. Ind. Wates, V.25, P.284, 1953
- Thomas, H.A. “Graphical determination of BOD curve constants”,Wat. Sew. Workes, 97(4), 97-123, 1950
- Waugh,A.E. “Elements of statistical method”, McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., New York, N.Y., 1943
- Young, J.C., and Clark.J.W. “History If the Biochemical Oxygen Demand Test”, Wat. Sew Works, V.3, P. 112, 1965
- Young ,H.D. “Statistical treatment of experiment data”, McGraw-Hill Publishing Co.Ltd., New York, N.Y., 1962