สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

## การพัฒนาการวิเคราะห์บีโอดี

RCH
TD
939
.A2975

โดย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 27677
วัน, เดือน, ปี 11 มิ.ย. 2540

**นายวันชัย สุทธินุ่น**

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีงบประมาณ 2539

b 10365473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 พ.ค. 2540

# บทคัดย่อ

ในการหาค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำทิ้งนั้นต้องใช้เวลานานถึง 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดความล่าช้า ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะหาวิธีลดเวลาในการวิเคราะห์ลง โดยการนำตัวอย่างน้ำทิ้งมาบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือ 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น เพื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 3 ประเภทเป็นตัวแทนของน้ำทิ้งที่มีโปรตีน. คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และน้ำที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ตามลำดับ เมื่อใช้ผลของค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียสเวลา 5 วัน เป็นค่ามาตรฐาน(ให้บีโอดีเป็นค่าร้อยละ 100) แล้วทำการเปรียบเทียบค่าบีโอดีที่วันและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ให้ผลของค่าบีโอดีเทียบเท่ากับค่ามาตรฐานได้ผลดังนี้ น้ำเสียที่มีคาร์โบ - ไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักเทียบได้กับบีโอดี$_{4.12,25}$ ,บีโอดี$_{3.58,30}$ ,บีโอดี$_{2.87,37}$ และบีโอดี $_{3.56,น้ำ}$ , น้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักเทียบได้กับค่าบีโอดี$_{3.63,25}$ , บีโอดี $_{3.31,30}$ , บีโอดี$_{2.47,37}$ และบีโอดี$_{3.44,น้ำ}$ , น้ำเสียที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่เทียบได้กับบีโอดี $_{3.66,25}$ , บีโอดี $_{2.95,30}$, บีโอดี$_{2.40,37}$ และบีโอดี$_{3.48,น้ำ}$ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อบีโอดีมีค่าเทียบเท่าค่ามาตรฐานดังกล่าว น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทมีแนวโน้มในการใช้เวลาลดลงเป็นไปในทางเดียวกัน คือที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีน้อยที่สุด ตามด้วยอุณหภูมิ30, อุณหภูมิน้ำ และ25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความสัมพันธ์ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท พบว่าอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ จะใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีที่อุณหภูมิเดียวกันใกล้เคียงกันมากกว่าอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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 $BOD_{3.03,25}$ , $BOD_{3.31,30}$ , $BOD_{2.47,37}$ 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการพัฒนาการวิเคราะห์บีโอดี นี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ ด้วยความช่วยเหลือทางด้านเงินทุนจากสำนักงบประมาณโดยการสนับสนุนของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดระบัง และมีนางสาวศิริรักษ์ ทรัพย์สมบูรณ์ นายสวีโรจน์ แสงเจริญวนากุลและนายสุทธิพงษ์ ฉันธิกุล ให้ความช่วยเหลือทางด้านการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

นายวันชัย สุทธินุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญรูป | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสาร | 3 |
| 2.1 ดรรชนีที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำเสีย | 3 |
| 2.2 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรดชีวภาพ | 9 |
| 2.3 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี | 10 |
| 2.4 การหาค่าบีโอดีโดยวิธีเอชบีโอดี | 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 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักของเครื่องมืออิเล็กโทรไลซีสบีโอดี | 11 |
| 2 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 | 26 |
| 3 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 27 |
| 4 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2 | 28 |
| 5 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 29 |
| 6 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 | 31 |
| 7 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 32 |
| 8 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ครั้งที่ 2 | 33 |
| 9 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 34 |
| 10 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1 | 37 |
| 11 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 38 |
| 12 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2 | 39 |
| 13 | ค่าบีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2 ทั้ง 5 อุณหภูมิ | 40 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

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

การวิเคราะห์ความสกปรกของน้ำจากแหล่งต่าง ๆ นั้นมีดรรชนีที่นิยมใช้คือ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการสลายสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำทั้งส่วนที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และไม่ได้ ข้อดีของวิธีนี้คือใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น อีกค่าหนึ่งคือ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการสลายสารอินทรีย์ในน้ำเท่านั้น ซึ่งในการวิเคราะห์ต้องนำตัวอย่างน้ำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำในประเทศหนาวเป็นเวลา 5 วัน ถึงแม้ว่าค่าที่วิเคราะห์จะใกล้เคียงกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในธรรมชาติ แต่เนื่องจากเวลาที่ใช้นานเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำได้ทันท่วงที

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาการหาค่าบีโอดีโดยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีใช้อิเล็กโทรดชีวภาพ วิธีอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี หรือวิธีเอชบีโอดี จนมาถึงวิธีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการบ่มจาก 20 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์บีโอดีลงได้ โดยที่ผลยังคงใกล้เคียงกับค่าบีโอดีปกติน่าจะเป็นการช่วยควบคุมมลพิษทางน้ำได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วัตถุประสงค์**

เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิและเวลาในการหาค่าบีโอดีของน้ำทิ้งประเภทต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีโดยวิธีปกติ ที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

สามารถนำค่าบีโอดีที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน มาใช้เพื่อแก้ปัญหามลพิษทางน้ำได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

น้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เมื่อผ่านกระบวนการใช้งานย่อมมีคุณภาพเปลี่ยนไป ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้ต่อไป และบางครั้งหากไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้ว จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้

## 2.1 ดรรชนีที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

### 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 ภายใต้ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ซึ่งจะเห็นว่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะอัตราของการออกซิเดชันทางชีววิทยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยลง ในฤดูร้อนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลงเพราะอุณหภูมิสูงทำให้เกิดเน่าเหม็นในสระบ่อ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ

ความสามารถในการละลายของออกซิเจนต่ำเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดความสามารถในการที่จะฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ของน้ำตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องกำจัดสารสกปรกในน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงแม่น้ำลำคลอง ปริมาณของออกซิเจนในน้ำจะมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่อิ่มตัวขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำนั้น เช่นถ้ามีการสังเคราะห์แสงมากจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง มีการละลายดีขึ้น แต่ถ้ามีการสลายตัวของสารอินทรีย์ ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไป ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลง นอกจากนั้นปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

การละลายของออกซิเจนที่มีในน้ำที่มีเกลือแร่จะน้อยกว่าในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิหนึ่ง การละลายของออกซิเจนในน้ำจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อน้ำจืดเปลี่ยนเป็นน้ำทะเล นั่นคือการละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและคลอไรด์ในน้ำ และในทำนองเดียวกันในน้ำโสโครกมีค่าอิ่มตัวของออกซิเจนที่ละลายได้น้อยกว่าในน้ำที่สะอาด

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ความสำคัญของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1. เป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่เกิดขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ หรือจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจะใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ขณะที่จุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศทำให้เกิดออกซิเดชันโดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาให้สภาวะของแหล่งน้ำให้มีออกซิเจน เพื่อที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้

2. รักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ

3. เป็นพื้นฐานของค่าบีโอดี เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชันทางชีววิทยา ซึ่งวัดได้โดยการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

4. เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็กโดยเฉพาะในท่อน้ำประปาและในหม้อน้ำ โดยเฉพาะในหม้อน้ำไม่ควรมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเลย

5. ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในระบบบำบัดที่มีการให้อากาศ

ข. วิธีการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1. Azide Modification วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับน้ำเสีย และน้ำตามธรรมชาติ ตลอดจนน้ำที่มี $NO_2$-N มากกว่า 50 ไมโครกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมี $Fe^{++}$ น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ควรมีสารลดออกซิเจน หรือสารเติมออกซิเจนอยู่

2. Permanganate Modification วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างที่มี $Fe^{++}$ หรือ $Fe^{+++}$ อยู่ในปริมาณสูงมาก โดยเติมโปแตสเซียมฟลูโอไรด์และเอไซด์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการไทเทรตทันทีหลังจากเติมกรดแล้ว วิธีนี้ไม่มีผลกับการออกซิเดชันของ $SO_3^=$, $S_2O_3^=$ และpolythionate 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 คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากกระบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอาหารเหล่านี้จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร การใช้ออกซิเจนในการย่อยสารอาหารแบ่งเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการ

$$\text{carbohydrate} + O_2 \xrightarrow{\text{saprophytic bact}} CO_2 + H_2O$$

$$\text{protein} + O_2 \xrightarrow{\text{saprophytic bact.}} CO_2 + NH_3$$

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ของ $NH_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow NO_3$

ตามลำดับโดยพวก autotrophic bacteria และnitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยในน้ำเสีย การแบ่งตัวของเชื้อเหล่านี้ที่ 20 องศาเซลเซียสมีน้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะ 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดีจึงน้อยมาก หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารแอมโมเนีย ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณของไนเตรตในตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

การหาค่าบีโอดีเป็นวิธีการวิเคราะห์ทางชีวภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียใช้เพื่อย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะที่เหมือนกับที่เกิดในธรรมชาติมากที่สุด ค่าบีโอดีมาตรฐานจะทำการบ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวก็เพราะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำในประเทศหนาว และnitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ ส่วนการเลือกเวลาที่ใช้บ่ม 5 วัน เพราะถ้าเวลาน้อยกว่านี้ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนในระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น ประการสุดท้ายถ้าเวลาทำการบ่มนานเกินไปอาจไม่ทันกับการที่จะปล่อยน้ำเสียต่าง 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ชั่วโมงจึงดูดเอาน้ำส่วนบนมาใช้ 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 วิธีการที่ได้รับความสนใจ คือ การใช้อิเล็กโทรดแบบชีวภาพ ,การทำอิเล็กโทรไลซิส และการใช้วิธีเอชบีโอดี ซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.1.3 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอาจบอกได้จากค่าซีโอดีซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะเป็นกรดอะมิโนในโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตดังสมการ

$$C_nH_aO_bN_c + (n+a/4-b/2-3c/4)O_2 \longrightarrow nCO_2 + (a/2-3c/2)H_2O + cNH_3$$

สมการข้างบนนี้เกิดขึ้นทั้งในปฏิกิริยาของบีโอดี และซีโอดีดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลักของการหาซีโอดีคล้ายกับบีโอดี คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันที่ บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้สารเคมีที่เป็นตัวเติมออกซิเจน ดังสมการ

$$\text{Organic C + Chemical Oxidising Agent} \xrightarrow[H^+]{\Delta} CO_2 + H_2O + \text{Reduced oxidizing Agent}$$

จากปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ใช้สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการได้

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดี และค่าบีโอดี

โดยปกติแล้วค่าซีโอดีจะสูงกว่าค่าบีโอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยไม่ต้องอาศัยความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ค่าซีโอดีสูงกว่าบีโอดี และจะสูงกว่ามากถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ทางชีววิทยาอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส และลิกนิน แต่ในบางกรณีถ้าน้ำนั้นมีพวกอะโรมาติคไฮโดรคาร์บอน และไพริดีนซึ่งไม่ถูกออกซิไดซ์ทางเคมี ค่าซีโอดีจะน้อยกว่าค่าบีโอดี

สำหรับงานประจำจากข้อมูลของค่าซีโอดีอาจจะใช้บอกค่าบีโอดีอย่างคร่าว ๆ ได้โดยการพลอตกราฟระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองของน้ำเสียแต่ละชนิด ค่าซีโอดีใช้มากในการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจออกแบบเพื่อพิจารณาและควบคุมระบบท่อน้ำเสียเนื่องจากใช้เวลาไม่กี่ชั่วโมงในการหา จึงสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับบีโอดีจะบอกถึงสภาวะที่เป็นพิษ หรือการมีสาร-อินทรีย์ที่ต่อต้านการย่อยสลายของจุลินทรีย์

ข. ข้อดีและข้อเสียของการหาค่าซีโอดี

<u>ข้อดี</u> 1. รวดเร็ว ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชั่วโมง ในขณะที่การหาค่าบีโอดีต้องใช้เวลาถึง 5 วัน

2. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการหาบีโอดี จึงเหมาะสำหรับงานประจำ

3. สารมีพิษไม่ขัดขวางการหาซีโอดี ดังนั้นจึงเป็นวิธีเดียวที่ใช้หาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียซึ่งมีสารพิษ ค่าที่ได้สามารถใช้ประมาณค่าบีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย

<u>ข้อเสีย</u> 1. ไม่สามารถจะใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ หรือไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ออกจากกันได้

2. ไม่สามารถให้ข้อคิดใด ๆ เกี่ยวกับอัตราที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย หรือออกซิ-ไดซ์ทางชีววิทยาภายใต้สภาวะตามธรรมชาติ

2.1.4 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น หมายถึงน้ำที่มีสารแขวนลอยซึ่งขัดขวางทางเดินของแสงที่ผ่านน้ำนั้น เช่นดินละเอียด สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายและดูดซึมของแสงที่ผ่าน สารแขวนลอยในน้ำที่เป็นสาเหตุของความขุ่นอาจจะมีขนาดตั้งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลลอยด์ซึ่งละเอียดมากจนกระทั่งถึงหยาบ พวกหลังนี้จะตกตะกอนได้ง่ายในขณะที่พวกแรกไม่ตกตะกอน ความขุ่นส่วนใหญ่จะเนื่องจากสารแขวนลอยขนาดใหญ่

2.1.5 สี (Color)

สีของน้ำตามธรรมชาติ เป็นผลจากการที่น้ำนั้นไหลผ่านสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ซากสัตว์ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารแทนนิน กรดฮิวมิก วัตถุประสงค์ของการกำจัดสีเพื่อให้น้ำนั้นเหมาะสมที่จะใช้ในกิจการทั่วไปตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสีที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ ดังนั้นการกำจัดสีจึงนิยมใช้พวกเกลือของโลหะที่มีวาเลนซี่ 3 เพื่อไปจับกับประจุลบ ส่วนน้ำที่มีสีที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพวกผัก หญ้าจาก บึง หนอง 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 เพราะฉะนั้นสารละลายใดก็ตามที่ไม่เป็นทั้งสารละลายกรด หรือสารละลายเบส หรือที่เรียกว่าสารละลายสะเทินมีพีเอชเท่ากับ 7 ทั้งสิ้น

2.1.7 การนำไฟฟ้า (Conductivity)

เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของประจุที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิที่ทำการวัด น้ำที่มีประจุของสารต่าง ๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ในสนามไฟฟ้าประจุบวกจะเคลื่อนไปที่อิเล็กโทรดขั้วลบและประจุลบจะเคลื่อนที่ไปที่อิเล็กโทรดขั้วบวก กรด เบส และเกลืออนินทรีย์ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้ประจุบวก และลบ ในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์จะไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะประจุตัวใดตัวหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของประจุทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของประจุที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น น้ำกลั่นใหม่ ๆ จะมีค่าการนำไฟฟ้า 0.5-2 μhos/cm. และจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-4 μhos/cm. หลังจากเก็บไว้ 2-3 สัปดาห์ ค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดซึมของคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอมโมเนียจำนวนเล็กน้อย

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

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ... ต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารก่อน ... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นด้วยด่างแก่ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน การวัดค่านี้จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพแหล่งน้ำด้วย

2.1.9 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นความสามารถของน้ำที่จะรับโปรตอน หรือเป็นปริมาณความสามารถของน้ำนั้นที่จะสะเทินกรดแก่จนถึงพีเอชที่ต้องการ

2.1.10 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างของน้ำเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะตกตะกอนสบู่โดยแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนในน้ำ แต่อาจตกตะกอนโดยไอออนตัวอื่น เช่น อลูมิเนียม และแมงกานีสไอออนได้ด้วย แต่แคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนมีอยู่ในธรรมชาติเป็นจำนวนมาก จึงทำให้คำจำกัดความของความกระด้างน้ำว่าเป็นคุณสมบัติของน้ำซึ่งแทนค่าความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน

2.1.11 ของแข็ง (Solid)

ของแข็ง หมายถึงตะกอนภายหลังจากผ่านการระเหยตัวอย่างน้ำด้วยไอน้ำและทำให้แห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส สิ่งที่กลายเป็นไอได้ก็จะสูญเสียไปเหลือเพียงตะกอนของสารที่มีในตัวอย่างน้ำเท่านั้น ตะกอนที่เกิดมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ นิยมหาในน้ำที่จะนำมาทำน้ำประปา น้ำทิ้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ค่าที่ได้บอกในรูปน้ำหนักของสารต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำ

## 2.2 การวัดค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรดชีวภาพ

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

หลักการทำงานเริ่มต้นโดยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำอิ่มตัวด้วยออกซิเจนจากนั้นอิเล็กโทรดจะถูกหย่อนลงไปบนตัวอย่างน้ำ ดังนั้นกลไกการทำงานของแบคทีเรียซึ่งต้องการใช้ออกซิเจนจะเริ่มขึ้นในทันที ออกซิเจนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับอิเล็กโทรด จะมีปริมาณลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอิเล็กโทรดมีปริมาณลดลงจนกระทั่งถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง สาเหตุที่เกิดสภาวะคงที่ขึ้นสืบเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียกับอัตราการแพร่ของออกซิเจนละลายในน้ำเป็นไปในปริมาณที่เท่ากัน ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จะมีสภาวะคงที่ค่าบีโอดีที่สภาวะคงที่สามารถวัดได้ภายในระยะเวลาเพียง 10 ถึง 15 นาทีเท่านั้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อนำอิเล็กโทรดออกจากตัวอย่างทดสอบดังกล่าวแล้วนำไปจุ่มลงในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ปราศจากสารอินทรีย์ กระแสไฟฟ้าจะมีค่ากลับสูงขึ้นถึงค่าเดิมภายในเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำตัวอย่างด้วยคือ อยู่ในช่วงความเป็นกรดด่างที่ 6.5 ถึง 8 เท่านั้นหากค่าความเป็นกรดด่างต่างไปจากนี้ ยังผลให้ปฏิกิริยาของแบคทีเรียลดลง ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้า เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้นั้นขึ้นกับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีปริมาณลดลง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียลดลงอย่างมาก เป็นผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

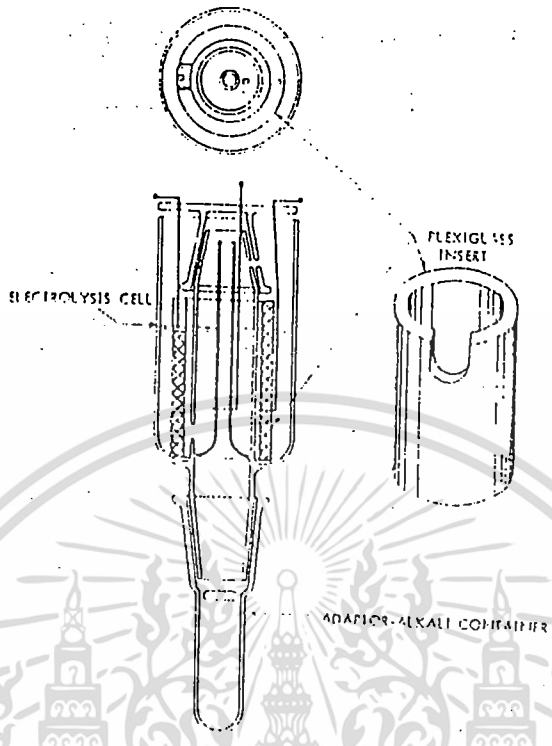
วิธีการวัดค่าบีโอดีจากอิเล็กโทรดชีวภาพ นอกจากจะสะดวกรวดเร็วแล้ว ความถูกต้องแม่นยำของค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดค่าบีโอดีแบบเดิมซึ่งยากต่อการหาค่าที่แน่นอน นอกจากนั้นอุปกรณ์นี้มีอายุที่คงความแม่นยำที่เชื่อถือได้นานถึง 30 วัน โดยไม่ต้องมีการบำรุงรักษาใด ๆ แต่อุปกรณ์นี้มีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับการหาค่าบีโอดีแบบปกติ จึงมีการพัฒนาการหาค่าบีโอดีต่อไป

2.3 การหาค่าบีโอดีโดยอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี (Electrolysis BOD)

เครื่องมืออิเล็กโทรไลซิสบีโอดีนี้ใช้ในการวิจัย และการควบคุมคุณภาพของน้ำในอุตสาหกรรม วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ หรือใช้ในการวัดค่าบีโอดีเป็นประจำ หรือวัดความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน

ระบบอิเล็กโทรไลซิสเซล จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 คือ reaction vessel จะบรรจุตัวอย่างและมีการกวนเพื่อที่จะผสมอาหารกับจุลินทรีย์ที่แขวนลอย ส่วนที่ 2 คือ adaptor unit ใช้บรรจุโปแตสเซียมไฮดรอกไซด หรือสารละลายอื่นที่จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศบนตัวอย่าง และส่วนที่เป็นหัวใจของระบบคืออิเล็กโทรไลซิสเซล จะบรรจุสารอิเล็กโทร-ไลต์อย่างอ่อน เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมซัลเฟตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ อิเล็กโทรไลซิสเซลจะมีโมโนมิเตอร์ป้องกันการเปลี่ยนแปลงความดันหรือควบคุมปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในขวดบรรจุตัวอย่างให้คงที่ดังแสดงในรูปที่ 1 ระบบการวัดของอิเล็กโทรไลซิสบีโอดีจะเป็น respirometer ขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีการวัดกึ่งต่อเนื่องและมีการบันทึกค่าอย่างอัตโนมัติ และมีการปรับความดันให้เหมาะสมกับใน reaction vessel เพราะจะมีการใช้ออกซิเจนจากจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 1 ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักของเครื่องมืออิเล็กโทรไลซิสบีโอดี

2.3.1 การเปรียบเทียบวิธีอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี และวิธีการหาบีโอดีปกติ

เมื่อเปรียบเทียบถึงวิธีการใช้อิเล็กโทรไลซิสบีโอดีกับวิธีการหาบีโอดีปกติซึ่งใช้มาเป็นเวลานานพบว่าเวลาที่ใช้ในการหาบีโอดีปกติต้องใช้เวลา 5 วัน ซึ่งต่างกับการใช้อิเล็กโทรไลซิสบีโอดีสามารถอ่านค่าบีโอดีได้ทันทีในแต่ละวัน แต่ผลที่ได้โดยทั่วไปมีข้อเสียที่การรวบรวมข้อมูลในระหว่างการศึกษาเพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดแม่นยำนั้นทำได้ยากซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และที่ไม่จำเป็นต้องใช้ขวดวัดบีโอดี นั่นคือราคาค่าเครื่องมือ ขวด สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตู้บ่ม และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้นับว่าราคาของเครื่องมือเหล่านี้น่าจะมีราคาพอ ๆ กับการใช้อิเล็กโทรไลซิสบีโอดีในเวลานี้หาค่าบีโอดีจากอิเล็กโทรไลซิสบีโอดีนี้ยังเป็นที่ต้องการน้อยกว่าการหาค่าบีโอดีแบบปกติ

วิธีอิเล็กโทรไลซิสบีโอดีเป็นวิธีการวัดค่าบีโอดีโดยตรง และวัดการใช้ออกซิเจนในตัวอย่างน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ผลของ nitrification ที่มีต่ออิเล็กโทรไลซิสบีโอดี

nitrification เป็นหนึ่งในหลายกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาในการวัดบีโอดี สำหรับการศึกษาในปัจจุบัน TCMP {2-Chloro-6 (trichloromethyl) pyridine} เป็นสารที่ควบคุม nitrification ในการหาค่าบีโอดีในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นทำ 2 ครั้ง โดยมีการเติมและไม่เติม TCMP ข้อมูลของวิธีอิเล็กโทรไลซิสบีโอดี จะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการยับยั้ง และตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง ค่าบีโอดีที่ 5 วันของตัวอย่างที่มีการยับยั้ง nitrification จะสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง สำหรับวิธีการหาบีโอดีปกติ ค่าบีโอดี 5 ($BOD_5$)ของตัวอย่างที่ไม่มีการยับยั้ง nitrification จะสูงกว่าตัวอย่างที่มีการใส่ TCMP

2.4 การหาค่าบีโอดีโดยวิธีเอชบีโอดี (headspace biochemical oxygen demand, HBOD)

ในการทดลองวิธีบีโอดีนั้นต้องมีการทำเจือจาง (dilution) และใช้เวลาในการหานาน แม้ว่าจะมีวิธีใหม่ในการทดสอบออกซิเจนโดยมีการใช้ความดันในการผนึก และไม่ต้องทำการเจือจางก็ตามแต่ก็มีต้นทุนสูง และต้องมาทำงานเป็นเวลา เทคนิคอื่น ๆ ที่ถูกเสนอขึ้นมาแทนที่วิธีของบีโอดี แต่ก็ยังไม่มีการนำวิธีอื่น ๆ มาใช้ประจำในการบำบัดน้ำเสีย ต่อมาได้มีการใช้เครื่องมืออิเล็กโทรไลติกเซล (electrolytic cell) อย่างแพร่หลาย การใช้อิเล็กโทรไลติกเซลมีการใช้กันเรื่อยมาแม้ว่าจะเป็นวิธีที่ดี แต่ค่าใช้จ่ายและการปฏิบัติเป็นไปอย่างจำกัดในการบำบัดน้ำเสีย และได้มีการทำการทดลองใหม่ ๆ เพื่อที่จะนำมาแทนที่วิธีบีโอดี วิธีที่ใช้ต้องมีราคาไม่สูงหรือต้องไม่มีการฝึกฝนทางเทคนิคสูง และจะต้องสามารถวัดค่าออกซิเจนที่เปลี่ยนไปได้โดยตรง คือวิธีเอชบีโอดีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ที่ว่างด้านบนเพื่อเติมออกซิเจน และออกซิเจนส่วนนี้สามารถละลายในน้ำเสียได้ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์และสารอินทรีย์เริ่มต้นนี้จะมีความเข้มข้นสูงซึ่งจะเป็นตัวเพิ่มพลังงานจลน์ การทดลองสามารถใช้เวลาในการวัดประมาณ 24-36 ชั่วโมง เพราะมีการละลายของออกซิเจน และไม่มีความดันก๊าซการวัดจะไม่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในระหว่างการบ่ม และเป็นวิธีที่ง่ายสะดวก โดยใช้ non-comsumptive DO probe เป็นตัววัด

การหาค่าเอชบีโอดีจะทำโดยใช้การอัดแน่นของก๊าซในหลอดทดลอง ( 28 ลูกบาศก์-เซนติเมตร) โดยให้ปริมาตรของที่ว่างด้านบนเท่ากับ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร บ่มไว้ 24-36 ชั่วโมง แล้วใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลาย วัดปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาหักจากค่าปริมาณออกซิเจนก่อนบ่มตัวอย่างน้ำ ก็จะได้ค่าบีโอดี ในการศึกษาได้ทำการทดลอง 6 ครั้ง และการหาค่าบีโอดี แม้จะทำในวันที่ต่างกันค่าบีโอดีจะคงที่เสมอ และการวัดค่าจะเบี่ยงเบนน้อยมาก ผลที่ได้คือใน 6 การทดลองค่าเฉลี่ยในการใช้ออกซิเจน 5 วัน เท่ากับ 113$\pm$ 15 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรของบีโอดี และค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจน 5 วันของเอชบีโอดีเท่ากับ 111$\pm$ 7 มิลลิกรัมต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดลองแสดงว่าวิธีเอชบีโอดีและบีโอดีให้ผลไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำนายค่าเอชบีโอดี โดยใช้ค่าเอชบีโอดี1 ($HBOD_1$) ผลที่ออกมาใช้ได้ดีเป็นที่ยอมรับ หนึ่งในเหตุผลที่สามารถสนับสนุนว่าทำไมปริมาณความต้องการออกซิเจนจึงต่ำกว่าค่าที่คาดไว้เป็น เพราะว่าการใช้สารยับยั้ง nitrification ในวิธีเอชบีโอดีนั้นมีการบ่ม ความต้องการออกซิเจนโดยพวก nitrifier จึงทำให้เกิดผลข้างเคียงขึ้น อย่างไรก็ตามก็มีการทดสอบอื่นในห้องปฏิบัติการ และมีการเสนอเกี่ยวกับพวก nitrification นั้นจะไม่เป็นปัญหาในตัวอย่างที่ใช้น้ำเสียจาก activated sludge

จากข้อมูลค่าบีโอดีและเอชบีโอดีที่ได้จากการทดลอง พบว่าทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน (no consistent bias) และมีค่าความชันเท่ากับ 1.006 ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นถึงความไม่เบี่ยงเบนของวิธีเอชบีโอดีแต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในการหาค่า คือ

1. ที่ว่างด้านบนของหลอดทดลองที่ใช้หาค่ามีปริมาตรมาก หรือน้อยกว่า 15 ลูกบาศก์-เซนติเมตร จะให้ค่าบีโอดีผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับวิธีปกติ

2. ไม่สามารถวัดค่าบีโอดีในน้ำเสียที่มีความหนาแน่นจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ในปริมาณที่น้อยได้

## 2.5 การวัดค่า BOD ในเขตร้อน ( BOD test for Tropical Countries )

เป็นการพัฒนาวิธีการหาค่าบีโอดี เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาค่าบีโอดีของประเทศเขตร้อน ที่สามารถให้ค่าเทียบเท่ากับการหาค่าบีโอดีโดยวิธีปรกติ ได้มีการทำการทดลอง 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 เป็นการศึกษาของ Environmental Engineer Reserearch Institute (NEERI) Nagpur, Bombey, Hyderabad, Kanpar และMadras ที่มีการประมาณค่าของบีโอดีโดยมีการศึกษาปฏิกิริยาจลน์ทั้งหมด 110 กลุ่มแล้ว ทำการหาค่าบีโอดีโดยบ่มที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 และ35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 6 ประเภท และตัวอย่างน้ำประปา การทดลองนี้ไม่มีการหาไนโตรเจน และจากผลการทดลองมาหาค่าทางสถิติแล้วยืนยันได้ว่าค่าบีโอดีวันที่ 3 อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับค่าบีโอดีวันที่ 5 ของอุณภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าบีโอดีมาตรฐานที่ใช้กันทางทฤษฎีได้

การทดลองครั้งที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองครั้งที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาค่าบีโอดีในเขตร้อนนั้นตรงกับอุณหภูมิของน้ำในประเทศอินเดีย โดยในการทดลองศึกษาเฉพาะที่อุณหภูมิ 20 และ 27 องศาเซลเซียส คือพิจารณาที่ค่าบีโอดี$_{5.20}$ กับค่าบีโอดี $_{3.27}$ ผลที่ได้พบว่าค่าทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง นั่นคือผลที่ได้ตรงกับการทดลองครั้งที่ 1

แต่การทดลองครั้งนี้ทำในประเทศอินเดีย (ซึ่งเป็นอุณหภูมิน้ำของอินเดีย) ก็น่าจะได้ผลถูกต้องในประเทศอินเดียหรือประเทศที่มีอุณหภูมิน้ำ 27 องศาเซลเซียส แต่สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิน้ำช่วง 28-29 องศาเซลเซียส น่าจะมีการพัฒนาวิธีการหาค่าบีโอดีที่เหมาะสมกับประเทศไทยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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 ชั่วโมง หนัก 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 [$Fe(NH_4)_2.6H_2O$] 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 โดยใช้เฟอโรอิน (ferroin) จำนวน 0.10-0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตร (2-3 หยด) เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน(II) แอมโมเนียมซัลเฟตเป็น

$$\text{โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร} = \frac{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร } 0.0417\ M\ K_2Cr_2O \times 0.25}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1, 10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}N_8H_2.H_2O$) 1.485 กรัม และไอร์ออน(II) ซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($HOOCC_6H_4COOK$ solution) ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลทอบที่ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ จำนวน 425 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

7. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$ solution) ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตรา-ไฮเดรต ($MnSO_4.4H_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัม หรือ แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

8. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

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

10. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$ solution) 0.0021 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 6.025 กรัม ในน้ำกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต

11. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต {$KH(IO_3)_2$ solution} 0.0021 โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต 812.4 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในฟลาสก์ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนไอโอเดต 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำให้ เจือจางเป็น 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไทเทรตไอโอดีนซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้เติมน้ำแป้งเมื่อใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตุจากสีของสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.0021 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.0021 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

12. สารละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ (KF solution) ละลายโพแทสเซียม-ฟลูออไรด์ไดไฮเดรต ($KF.2H_2O$) 40 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายนี้ใช้ต่อเมื่อตัวอย่างน้ำมีไอร์ออน Fe(III) มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. น้ำกลั่น จะต้องมีคุณภาพดี และต้องเป็นน้ำกลั่นซึ่งมีปริมาณของทองแดงน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัม / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และต้องปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง เนื่องจากไฮดรอกไซด์ สารอินทรีย์ และกรด

14. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphage buffer) ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($KH_2PO_4$) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียไฮโดรเจนฟอสเฟต ($K_2HPO_4$) 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 ($MgSO_4 .7H_2O$) 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 ($FeCl_3.6H_2O$) 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 สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อทำให้เป็นกรดหรือเจือจาง

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

20. สารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟต ($Na_2SO_3$ solution) 0.0125 โมล/ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต($Na_2SO_3$) 1.575 กรัมในน้ำกลั่น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่จะใช้เท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ทำซ้ำดัดแปลงเนื้อหาส่วนใดส่วนหนึ่งของเอกสารนี้ก่อนได้รับอนุญาตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



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 และ50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. ขวดบีโอดี ขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. สายยางอ่อนสีน้ำตาลเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เซนติเมตร
8. ฟลาสก์ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
9. กระบอกตวง ขนาด 1000, 250 และ50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
10. บิวเรตต์
11. ขวดแก้วใสสำหรับทำน้ำเจือจาง ขนาด 20 ลูกบาศก์เดซิเมตร
12. หัวทราย
13. ชุดให้อากาศ
14. ขวดก้นแบน 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. โรงงานพีเอ็มฟูดส์ (ปลาสวรรค์ และถั่วลันเตาเคลือบ)

ข. โรงงานไก่สดศรีไทย (ไก่สด และผลิตภัณฑ์จากไก่)

ค. โรงงานลีเวอร์บราเธอร์ ประเทศไทยจำกัด (เครื่องอุปโภคบริโภค เช่น ยาสระผม ยาสีฟัน และไอศครีม)

3.1.4 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

เก็บในจุดที่น้ำทิ้งมารวมกันก่อนทำการบำบัดขั้นสุดท้ายเพื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำทั่วไป

3.2 วิธีการ

3.2.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

นำตัวอย่างน้ำมาศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น และพีเอช ด้วยวิธีใช้ประสาทสัมผัสในกรณีของสี และกลิ่น ส่วนการวัดพีเอชใช้เครื่องวัดพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27677

3.2.2 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี 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 เมื่อสารละลายในส่วนก้นขวดเริ่มร้อนอาจทำให้ส่วนผสมพุ่งออกมาจากเครื่องควบแน่น การใช้เมอร์คิวรี่(II) - ซัลเฟต จำนวน 0.4 กรัม เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำปกติ ถ้ามีคลอไรด์มากกว่านี้จะต้องเติมเมอร์คิวรี่(II) ซัลเฟต ลงไปอีกเพื่อให้ได้อัตราส่วน โดยน้ำหนักของ $HgSO_4$ : $Cl^-$ เป็น 10:1 และถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยหลังจากเติมเมอร์คิวรี่(II) ซัลเฟตลงไปแล้วก็ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการวิเคราะห์แต่อย่างใด

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

3. ทำส่วนผสมให้เจือจางลงด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรประมาณ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตหาปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวไปเป็นน้ำตาลแดง

4. การทำแบลงค์ควรทำพร้อมกับตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่น 20.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนตัวอย่างน้ำ เติมรีเอเจนต์ที่ใช้ และทำการรีฟลักซ์เช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

การคำนวณ

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

A = ลูกบาศก์เซนติเมตรของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งใช้ไทเทรตสำหรับแบลงค์

B = ลูกบาศก์เซนติเมตรของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งใช้ไทเทรตสำหรับตัวอย่างน้ำ

M = โมล / 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต

3.2.3 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ,แมกนีเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ตามลำดับใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อน้ำเจือจาง 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจาง เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดต้องปรับให้เป็นกลาง คือพีเอชประมาณ 7 ด้วยซัลฟิวริก 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะละลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มาก ต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟท์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟด์ ที่จะเติมทำได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100 - 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วไตเตรทด้วยโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะต้องใช้เติมลงไปในตัวอย่างน้ำ

2.3 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

วิธีการเจือจาง

ก. เลือกอัตราการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยการประมาณจากค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้ในหัวข้อ3.2.2 (บีโอดีมีค่าประมาณ 2 ใน 3 ของซีโอดี) แล้วจึงเลือกอัตราการเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ขั้น ตามตารางที่ 3-1

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

ค. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 2 - 5 สำหรับอัตราการเจือจาง ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-1 ช่วงของค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าร้อยละของตัวอย่างการเจือจาง

| ช่วงบีโอดี | อัตราการการเจือจาง |
|---|---|
| 20,000-70,000 | 0.01 |
| 10,000-25,000 | 0.02 |
| 4,000-14,000 | 0.05 |
| 2,000-7,000 | 0.1 |
| 1,000-3,300 | 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-ไอโอไดด์-เอไซด์ ตามลงไปทันที 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ปลายหลอดจมอยู่ในตัวอย่างน้ำ

3.3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าแบบพลิกมือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

3.4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดเข้มข้นลงไปทันที 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

3.5. ปิดจุก ค่อย ๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

3.6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาณจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 ลูกบาศก์ เซนติเมตร เนื่องจากปริมาตรของ ตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร คือแมงกานีส-ซัลเฟต 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ 2 ลูกบาศก์-เซนติเมตร ที่เติมลงไปในขวดขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไทเทรตจึงควรเป็น $\frac{200 \times 300}{(300-4)}$ เท่ากับ 203 ลูกบาศก์เซนติเมตร )

3.7. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จนได้สีเหลืองอ่อนๆ

3.8. เติมน้ำแป้ง 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และไทเทรตจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณ

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

$D_1$ = ค่าออกซิเจนละลายหลังเจือจางตัวอย่าง 15 นาที

$D_2$ = ค่าออกซิเจนละลายหลังหลังบ่มตัวอย่าง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า - ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

## ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

จากการนำน้ำทิ้งของอุตสาหกรรม 3 ประเภทคือ อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (โรงงานพีเอ็มฟูดส์), อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก (โรงงานไก่สดศรีไทย) และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ (โรงงานลีเวอร์บราเธอร์) มาทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด และค่าบีโอดีโดยวิธี Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ ในการบ่มใช้เวลา 0-5 วันได้ผลดังนี้

**4.1 ลักษณะทางกายภาพ**

ลักษณะทางกายภาพที่ศึกษา สี, กลิ่น และ พีเอช ได้ผลตามตาราง

ตารางที่ 4-1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้ง

| ประเภทอุตสาหกรรม | ลักษณะที่ศึกษา | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 |
|---|---|---|---|
| สารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก | สี | สีเขียว ตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย | ไม่มี แต่มีตะกอนแขวนลอยเล็กน้อย |
| | กลิ่น | มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย | เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 |
| | พีเอช | 6.9 | 7.2 |
| สารโปรตีน เป็นองค์ประกอบหลัก | สี | สีแดงเล็กน้อย มีตะกอนละเอียด | เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 |
| | กลิ่น | มีกลิ่นสาบ และคาวเลือดไก่บ้าง | เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 |
| | พีเอช | 6.7 | 6.4 |
| สารอนินทรีย์เจือปนอยู่ | สี | ไม่มี และไม่มีตะกอนแขวนลอย | เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 |
| | กลิ่น | มีกลิ่นผงซักฟอกบ้างเล็กน้อย | เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 |
| | พีเอช | 7.9 | 8.1 |

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ซีโอดี และ บีโอดี ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยในครั้งนี้

4.2 ค่าซีโอดี

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท ได้ผลตามตารางที่ 4-2

ตารางที่4-2 ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท

| ประเภทของอุตสาหกรรม | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 |
|---|---|---|
| สารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก | 1253 | 315 |
| สารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก | 1422 | 1432 |
| สารอนินทรีย์เจือปนอยู่ | 4866 | 5851 |

จากตารางจะเห็นว่าค่าซีโอดีของน้ำทิ้งทั้ง 3 ประเภทมีค่าสูง โดยค่าซีโอดีของอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักทั้ง 2 ครั้งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ต่างกัน ส่วนอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีค่าต่างกันมาก โดยอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักครั้งที่1 มีค่าสูงกว่าครั้งที่2 มากอาจเป็นเพราะในครั้งที่1 มีการต้มถั่วลันเตาและในน้ำทิ้งที่ต้มถั่วมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้อยู่ จึงทำให้ค่าซีโอดีที่ได้มากกว่า ครั้งที่2 ซึ่งเป็นการผลิตปกติที่ไม่มีการต้มถั่วลันเตา และในกรณีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ครั้งที่1 และครั้งที่2 มีค่าซีโอดีต่างกันมากทั้งที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์แบบเดียวกัน อาจเกิดเพราะเก็บตัวอย่างน้ำเวลาต่างกัน ซึ่งอาจมีการใช้น้ำปริมาณต่างกันจึงทำให้ความเข้มของน้ำทิ้งต่างกันด้วย จึงทำให้ค่าซีโอดีที่ได้ต่างกัน จากค่าซีโอดีที่มีค่าสูงนั้นในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี จึงต้องนำน้ำทิ้งดังกล่าวมาทำการเจือจางโดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 4-2 นำมาประมาณการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนจึงสามารถวิเคราะห์หาค่าบีโอดีได้

4.3 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง

4.3.1 อุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ค่าบีโอดีที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3. ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | | | | | | ครั้งที่2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 |

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และเวลามากขึ้น กล่าวคือที่ 37 องศาเซลเซียสมีค่าบีโอดีสูงสุด และที่อุณหภูมิ 30, อุณหภูมิน้ำ, 25 และ20 องศาเซลเซียสมีค่าบีโอดีลดลงตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น จึงมีการใช้ออกซิเจนมากตามไปด้วย และสาเหตุที่ค่าบีโอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันมากเนื่องจากตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์เก็บที่เวลาใกล้เคียงกันแต่วันต่างกัน ซึ่งมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่แต่ต่างกัน เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีโอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 2, 3, 4 และ5 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นช่วงวันแรก ๆ จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณสูง และในวันต่อมาจะลดลงและคงที่ตามลำดับ โดยในวันที่ 1 มีการสลายสารอินทรีย์มากที่สุด และช่วงวันที่ 4-5 การสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างคงที่ อาจเป็นผลเนื่องมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 4-4 ค่าร้อยละบีโอดีน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

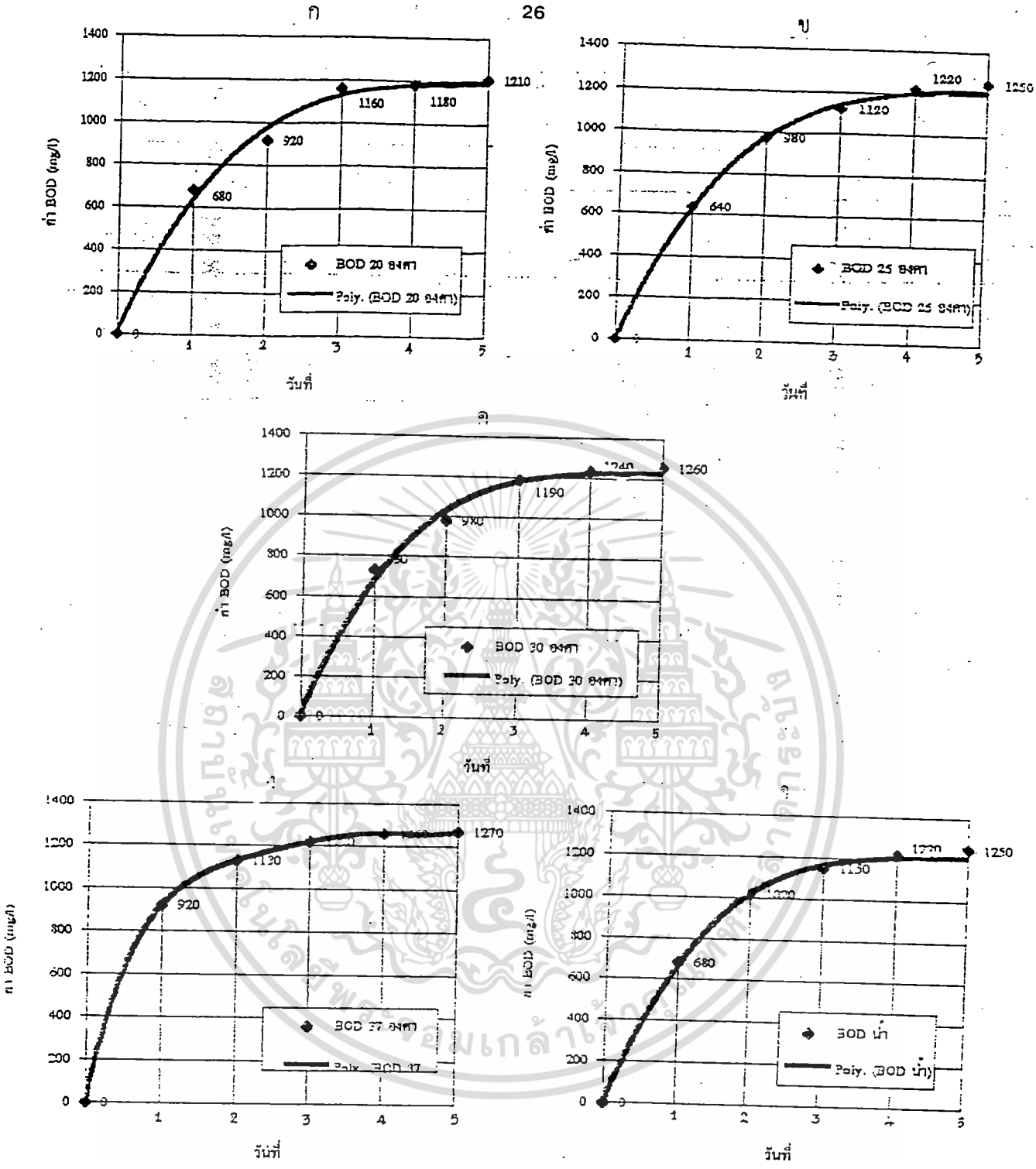
| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | | | | | | ครั้งที่2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20 | 0 | 56.2 | 76.1 | 97.6 | 97.5 | 100 | 0 | 45.8 | 66.7 | 93.7 | 97.9 | 100 |
| 25 | 0 | 52.9 | 81 | 92.6 | 101 | 103 | 0 | 50 | 81.3 | 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 โดยวันแรกมีการสลายสารอินทรีย์ในปริมาณสูงที่สุด และลดลงจนมีอัตราการสลายคงที่ เมื่อถึงวันที่ 5 ของการบ่มตัวอย่างน้ำ เมื่อใช้จำนวนวันที่บ่มน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ให้ค่าบีโอดีเทียบกับค่ามาตรฐาน (ร้อยละ 100) ได้ผลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 จำนานวันที่ให้ค่าบีโอดีเทียบเท่าค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก

| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 |
|---|---|---|
| 20 | 5 | 5 |
| 25 | 4.24 | 4 |
| 30 | 3.68 | 3.48 |
| 37 | 2.85 | 2.9 |
| น้ำ | 4 | 3.13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

ก. 20 องศาเซลเซียส

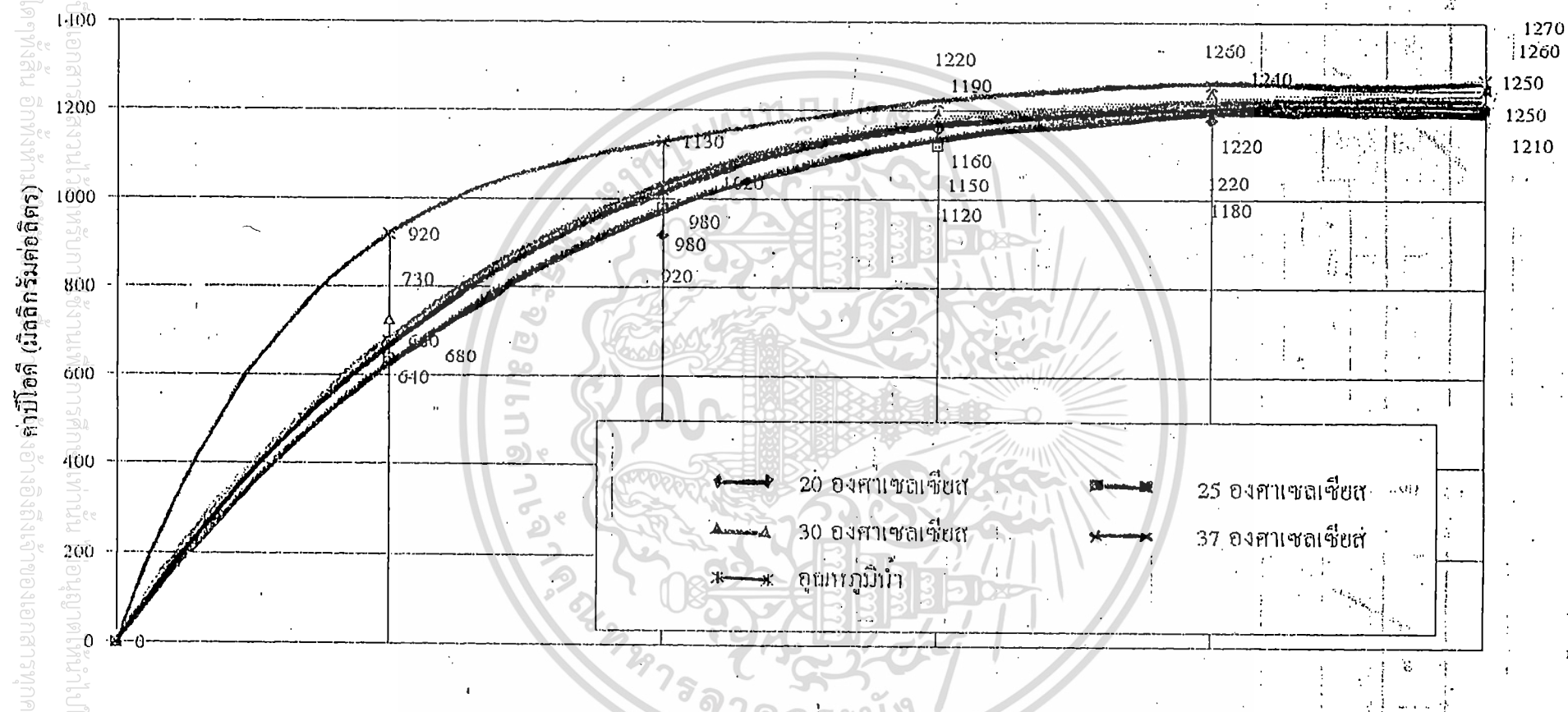
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

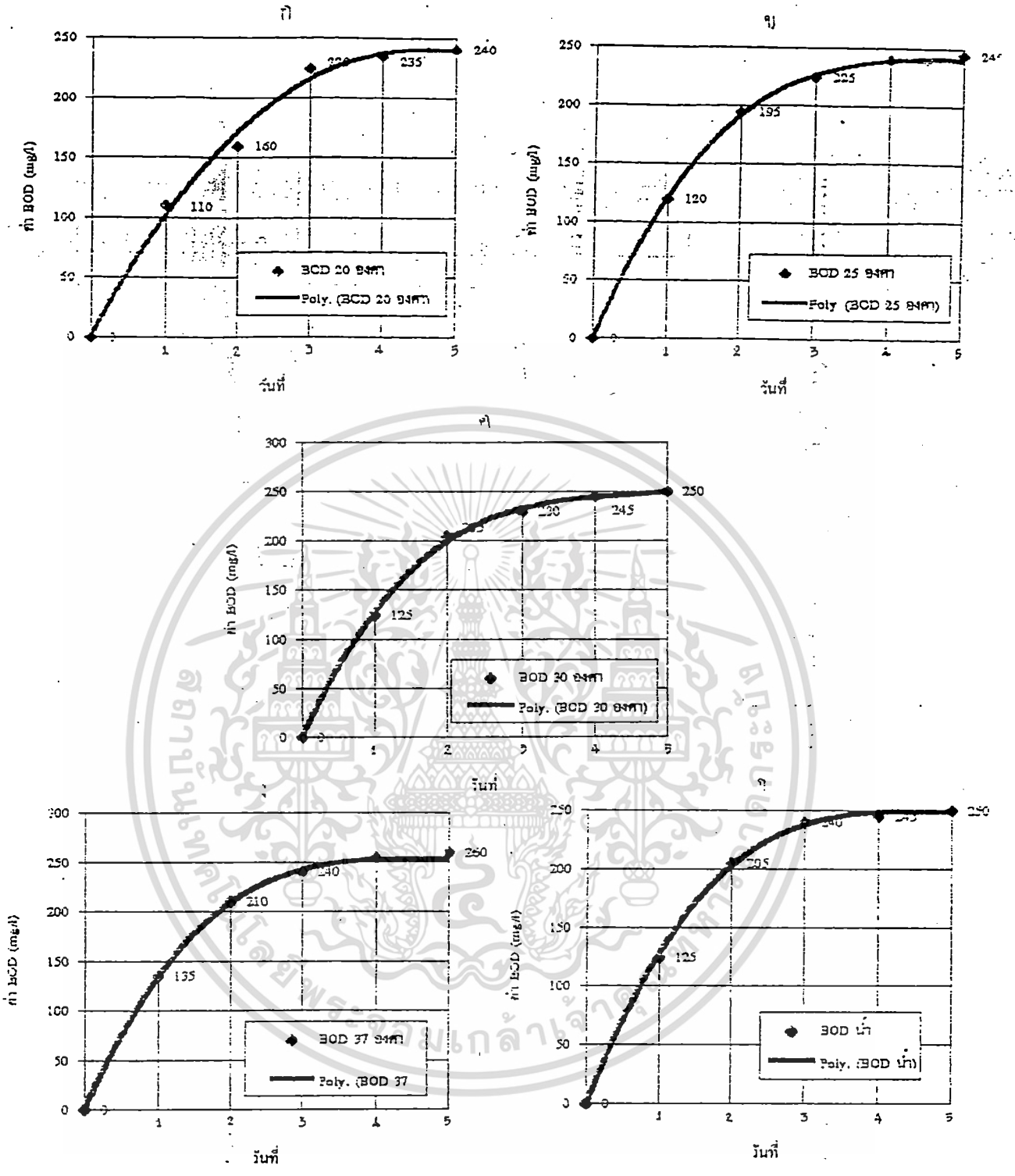
ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




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




รูปที่ 4 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 2

ก. 20 องศาเซลเซียส

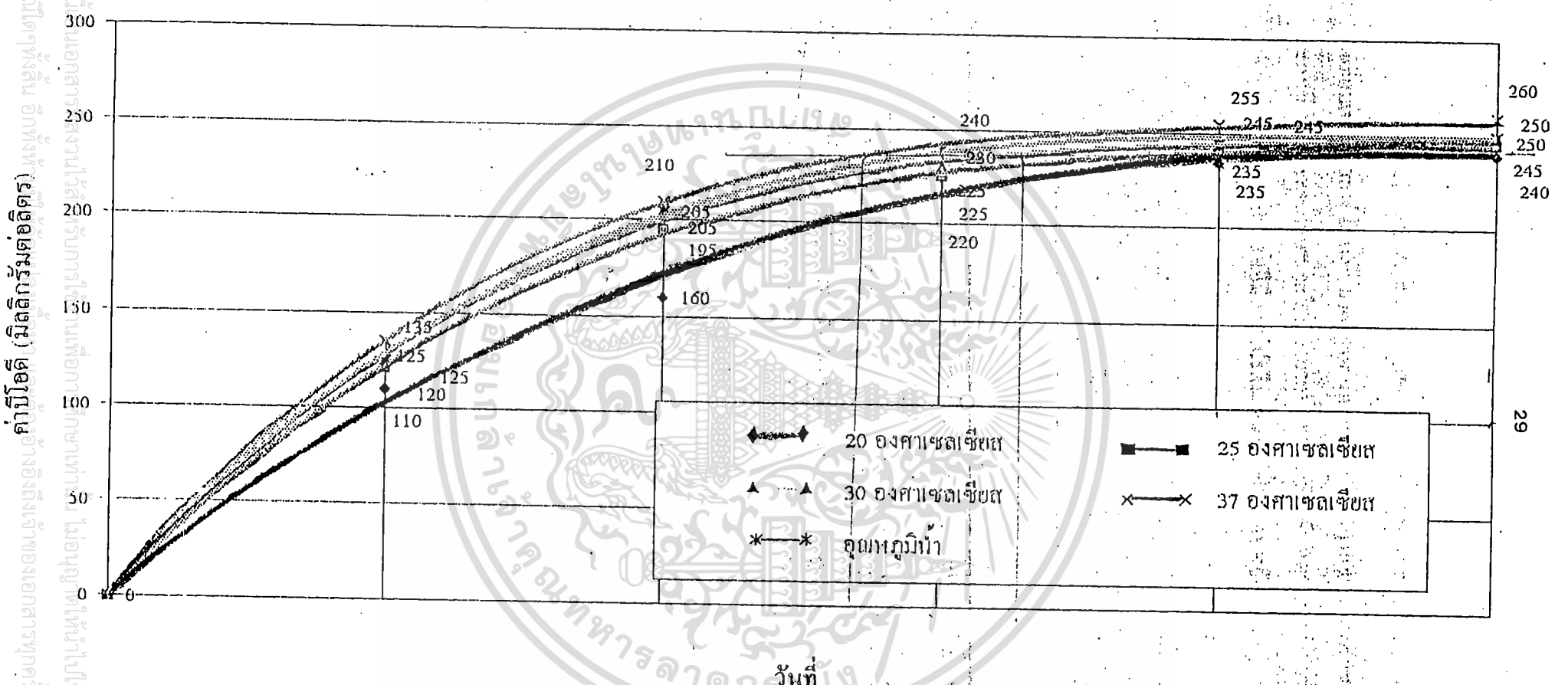
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




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

จากตารางจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วที่-สุดเทียบเท่ากับเวลาที่ใช้ในวิธีมาตรฐาน และที่อุณหภูมิต่ำลงคือ 30 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิน้ำ, และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

4.3.2 อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

มีค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

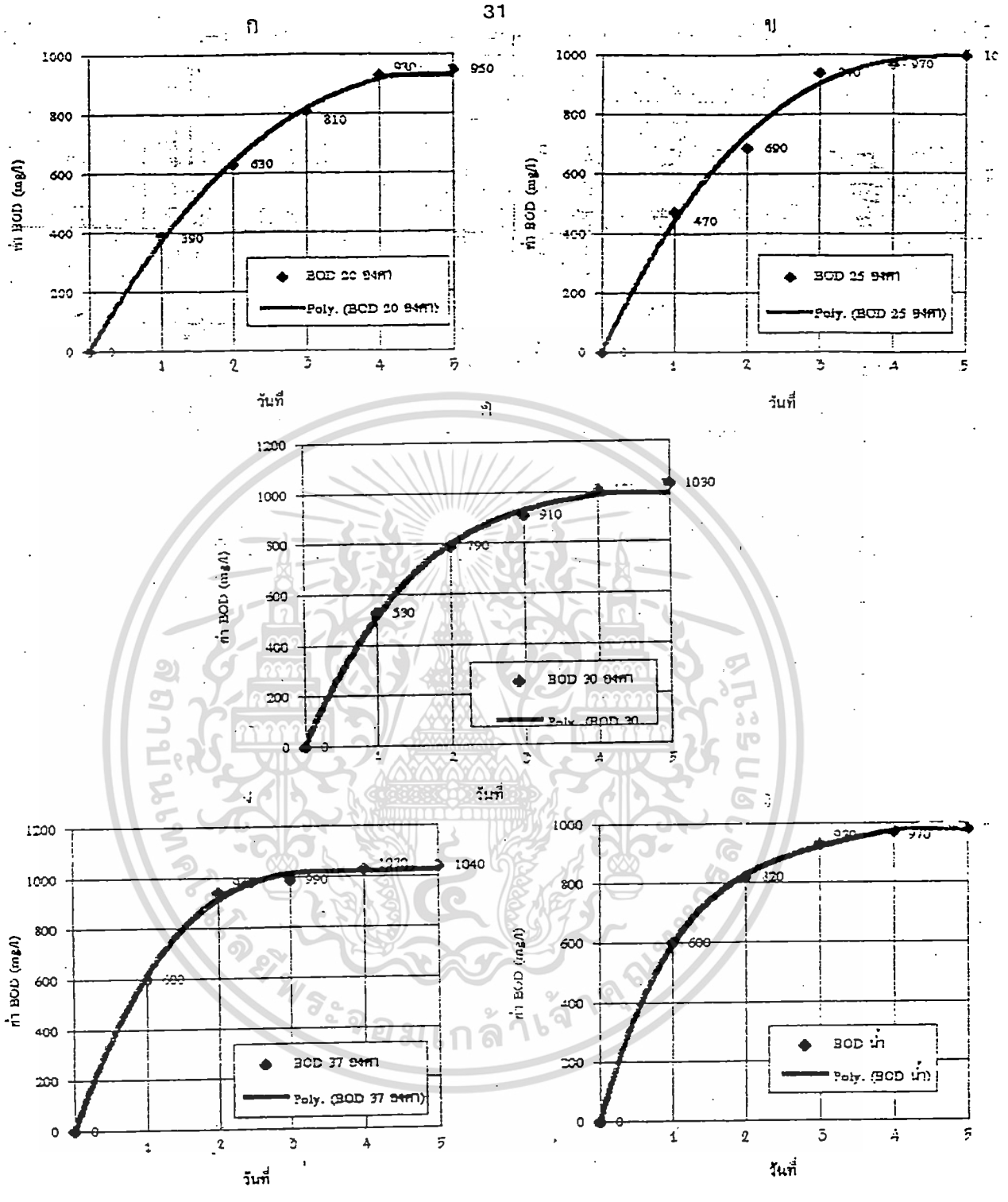
| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | | | | | | ครั้งที่2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20 | 0 | 390 | 630 | 810 | 930 | 950 | 0 | 110 | 160 | 225 | 235 | 240 |
| 25 | 0 | 470 | 690 | 940 | 970 | 1000 | 0 | 120 | 195 | 225 | 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 |

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับค่าบีโอดีของจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และสาเหตุที่ค่าบีโอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีโอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 6, 7, 8 และ9 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นมีแนวโน้มของค่าบีโอดีเหมือนกันกับในอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อนำค่าบีโอดีมาคิดเป็นร้อยละโดยให้ค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันมีค่าเป็นร้อยละ 100 จะได้ผลดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก

| 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 | 56.2 | 87.5 | 100 | 106 | 108 |
| น้ำ | 0 | 83.2 | 86.3 | 97.9 | 102 | 103 | 0 | 52.1 | 85.4 | 100 | 102 | 104 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1

ก. 20 องศาเซลเซียส

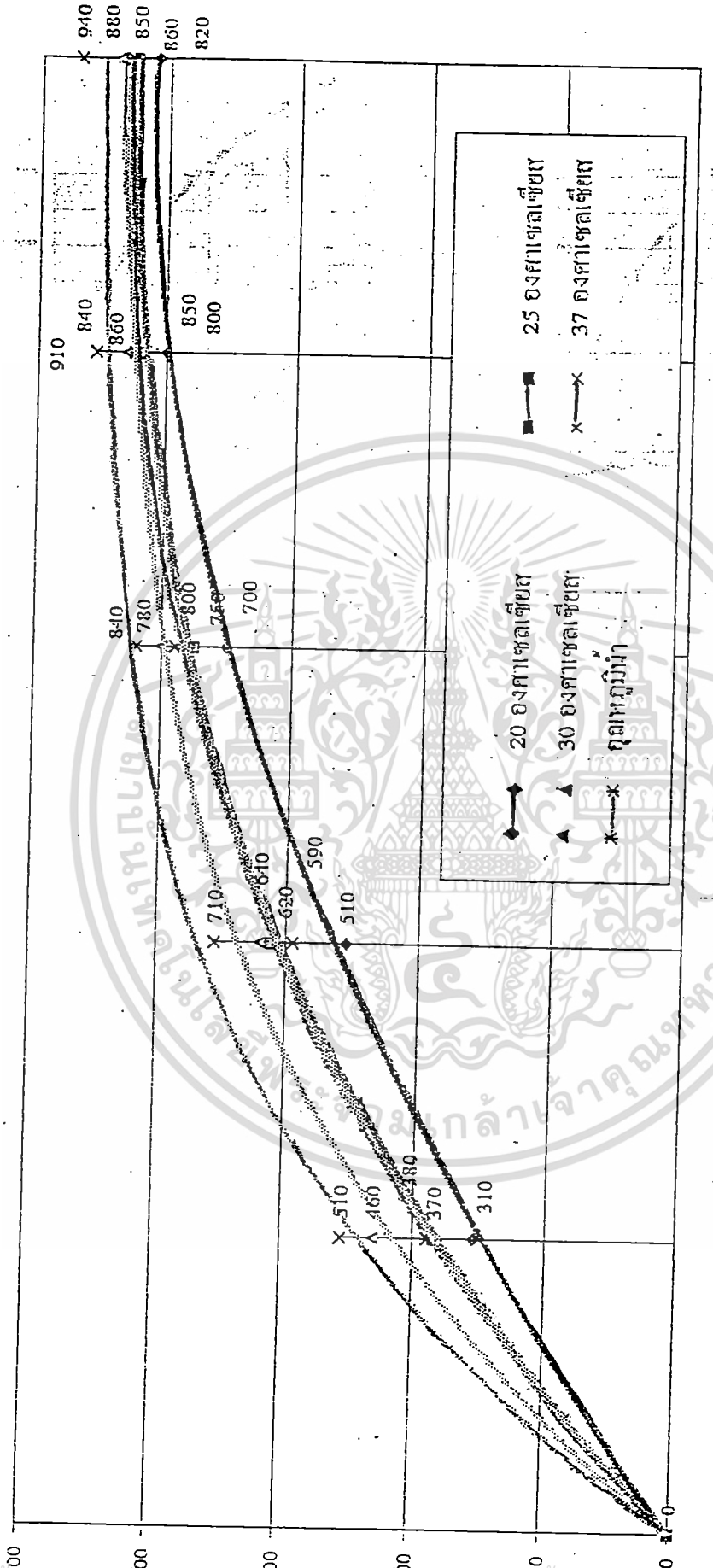
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. อุณหภูมิน้ำ

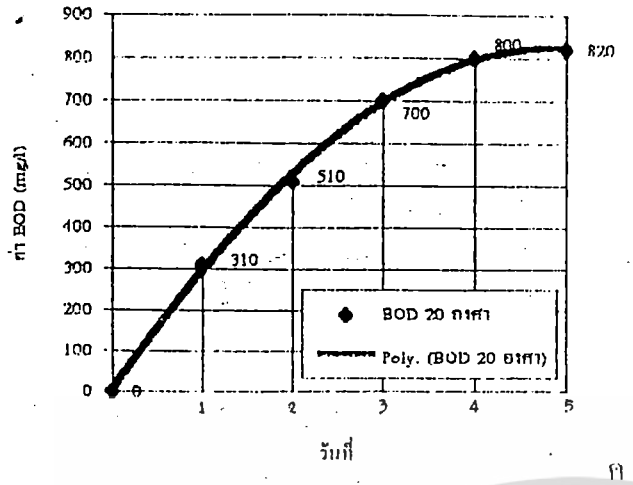
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



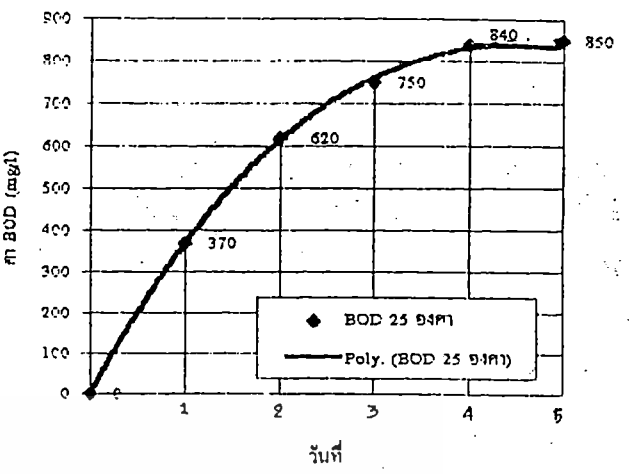

รูปที่ 7 ค่าดีโอของน้ำที่จุดสถานีต่างๆที่มีการโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ครั้งที่ 1 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37 และอุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

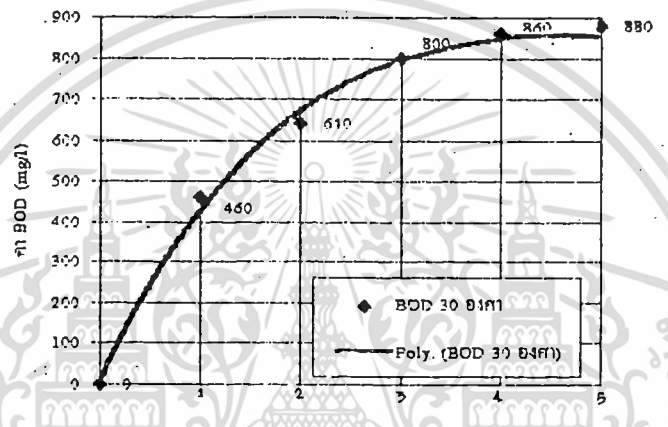
ก



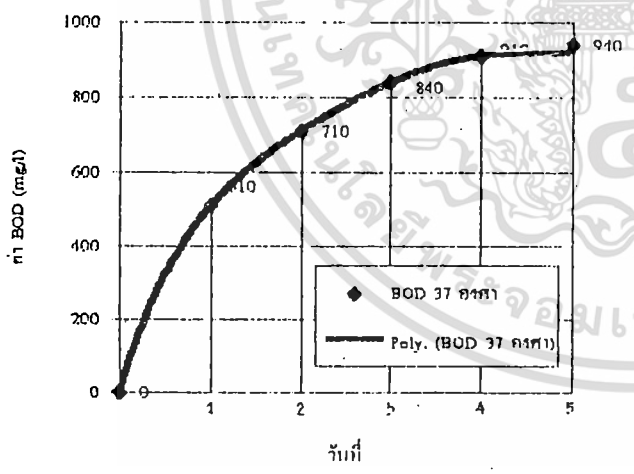

ข



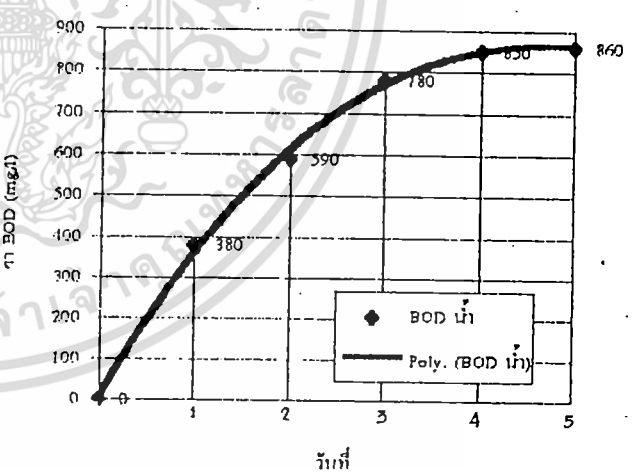

ค




ง




จ




รูปที่ 8 ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านกระบวนการที่ปลดปล่อยไปเป็นน้ำของกลุ่มประชากรเดิม ครั้งที่ 2

ก. 20 องศาเซลเซียส

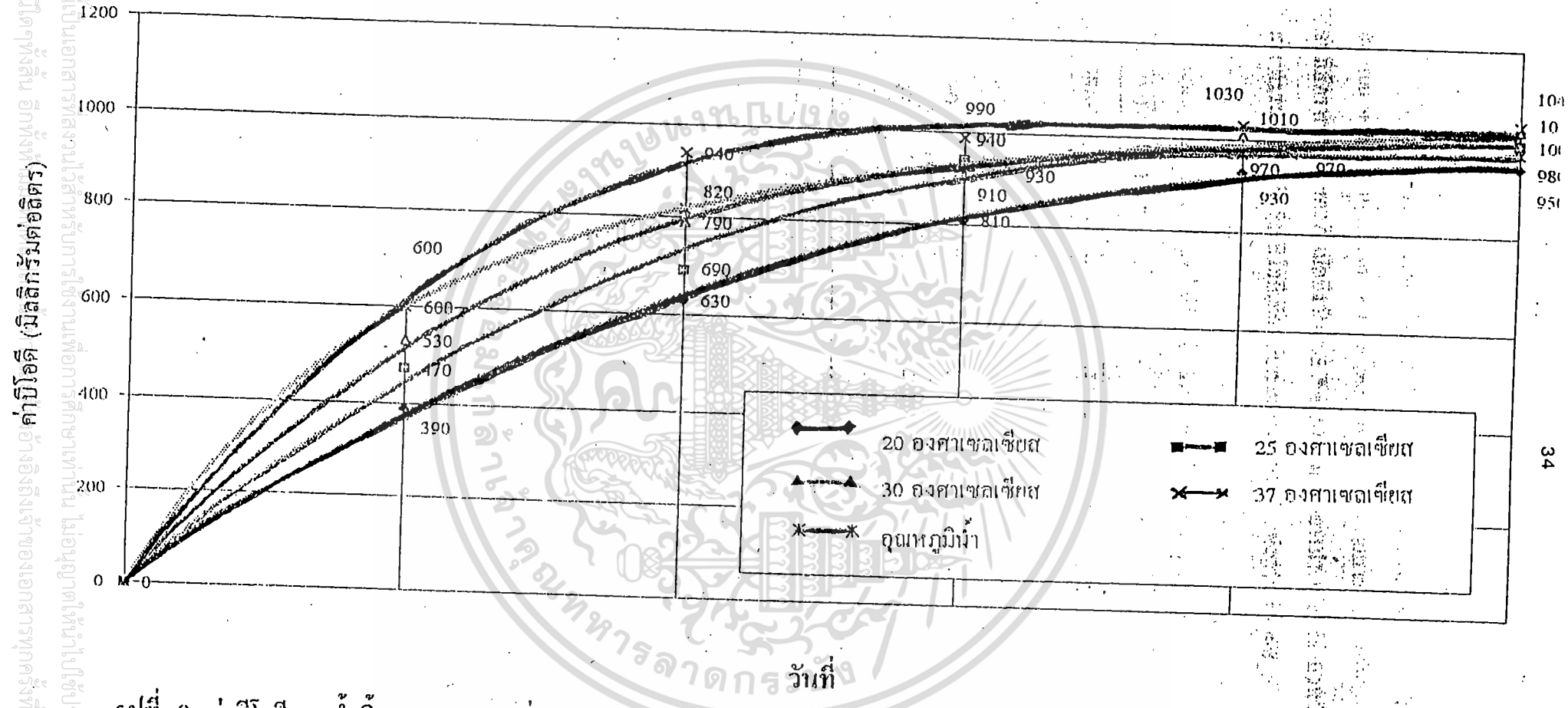
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. คุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




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

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ในวันที่ 5 จะมีค่าบีโอดีมากกว่าร้อยละ 100 ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น 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 และ20 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับค่าบีโอดีของจากอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และสาเหตุที่ค่าบีโอดีที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง ค่าบีโอดีกับวันที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างน้ำจะได้ดังรูปที่ 10, 11, 12 และ13 จากรูปจะเห็นว่าทุกอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 1-5 นั้นมีแนวโน้มของค่าบีโอดีเหมือนกันกับในอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อนำค่าบีโอดีมาคิดเป็นร้อยละโดยให้ค่าบีโอดีที่ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วันมีค่าเป็นร้อยละ 100 จะได้ผลดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าร้อยละบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่

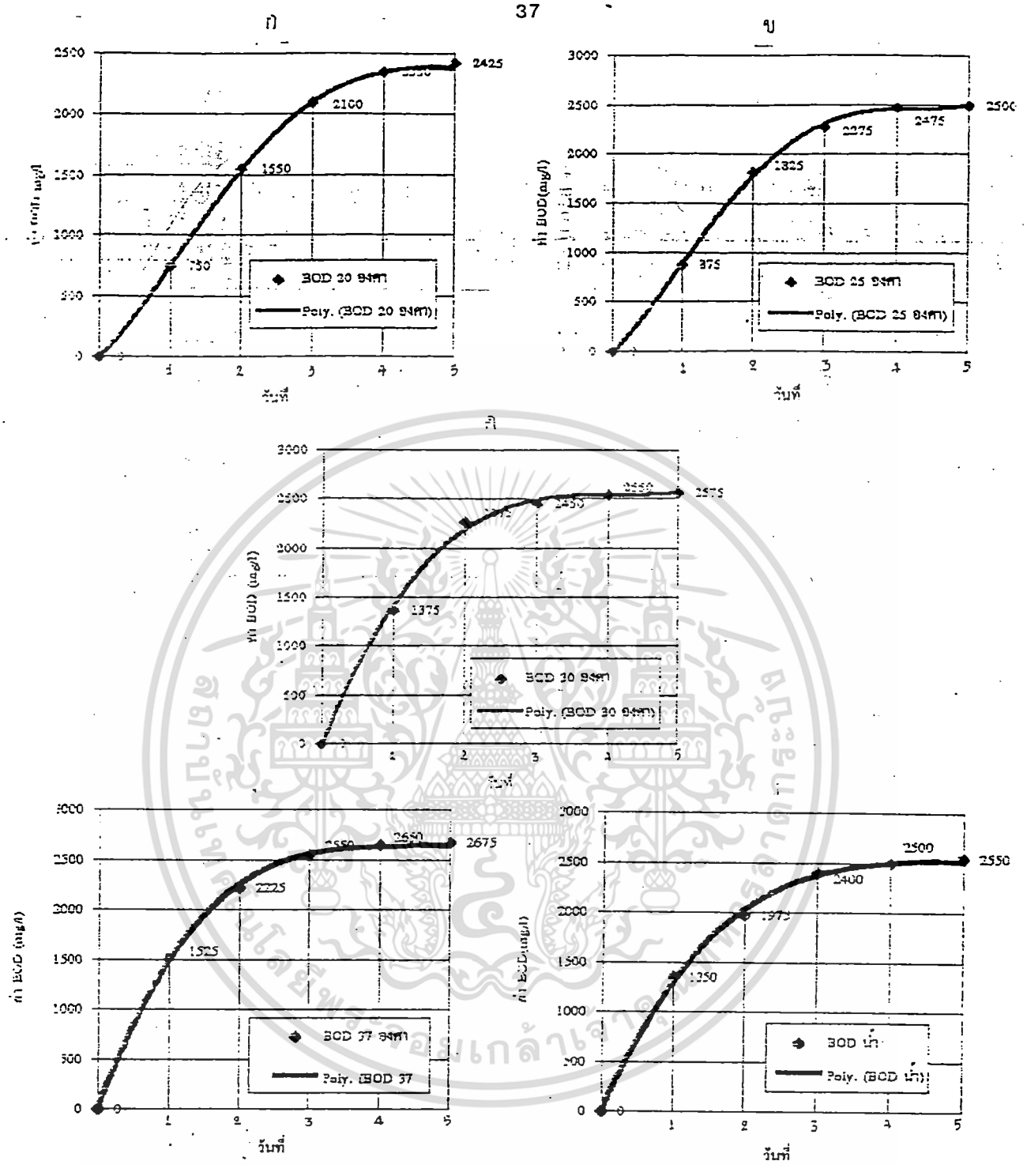
| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | | | | | | ครั้งที่ 2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20 | 0 | 30.9 | 63.9 | 86.6 | 96.9 | 100 | 0 | 33.8 | 61.8 | 88.2 | 92.6 | 100 |
| 25 | 0 | 36.1 | 75.3 | 93.8 | 102 | 103 | 0 | 47.1 | 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 ของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่

| อุณหภูมิ | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 |
|---|---|---|
| 20 | 5 | 5 |
| 25 | 3.52 | 3.8 |
| 30 | 2.65 | 3.25 |
| 37 | 2.52 | 2.29 |
| น้ำ | 3.36 | 3.61 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 10 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1

ก. 20 องศาเซลเซียส

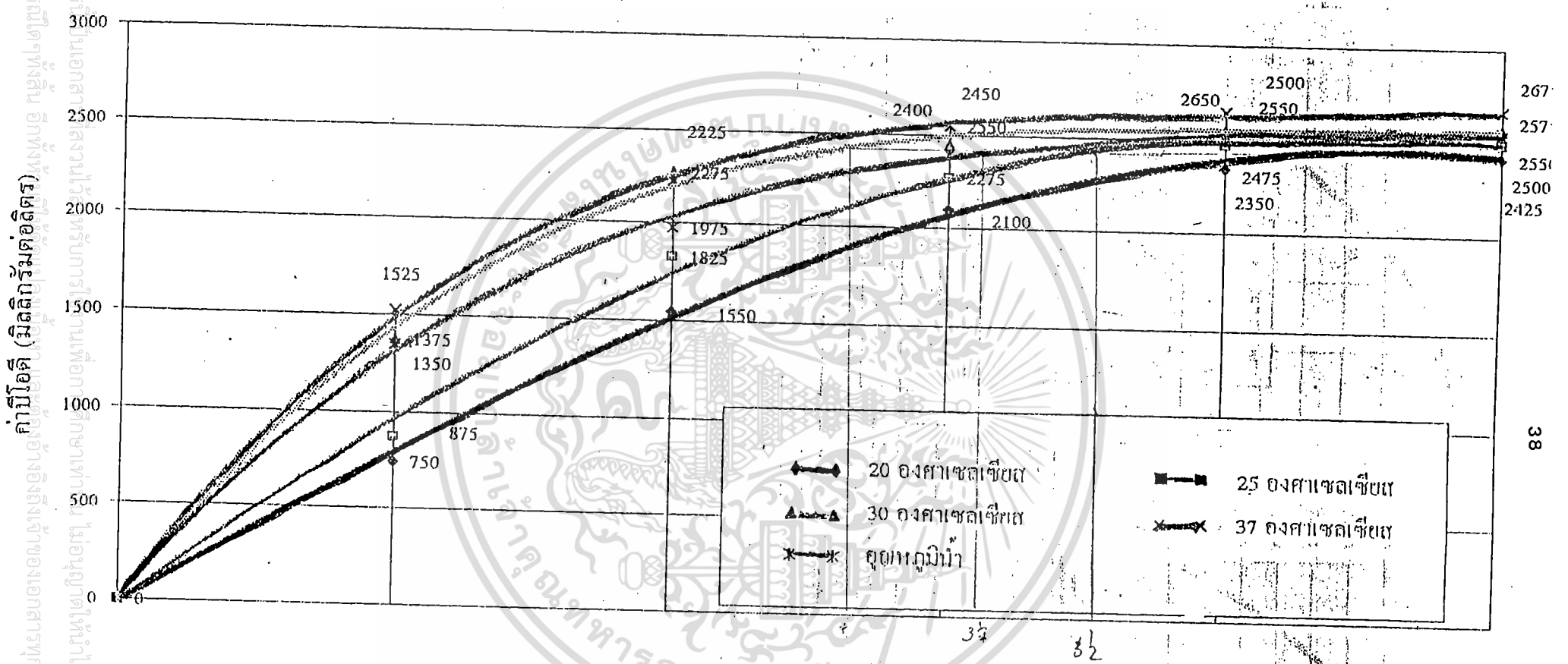
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

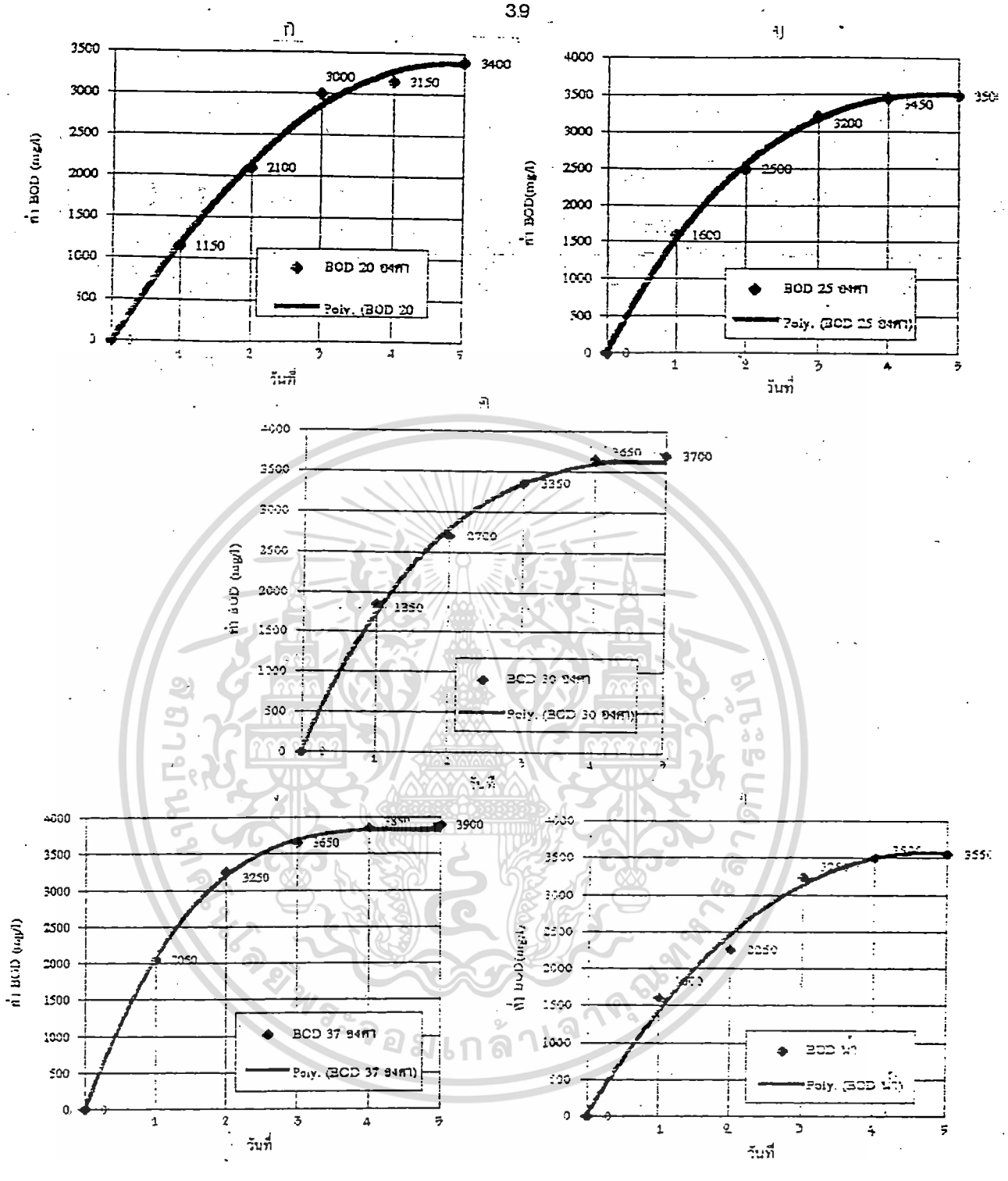
ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 11 ค่าบีโอดีน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 1 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำ




รูปที่ 12 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2

ก. 20 องศาเซลเซียส

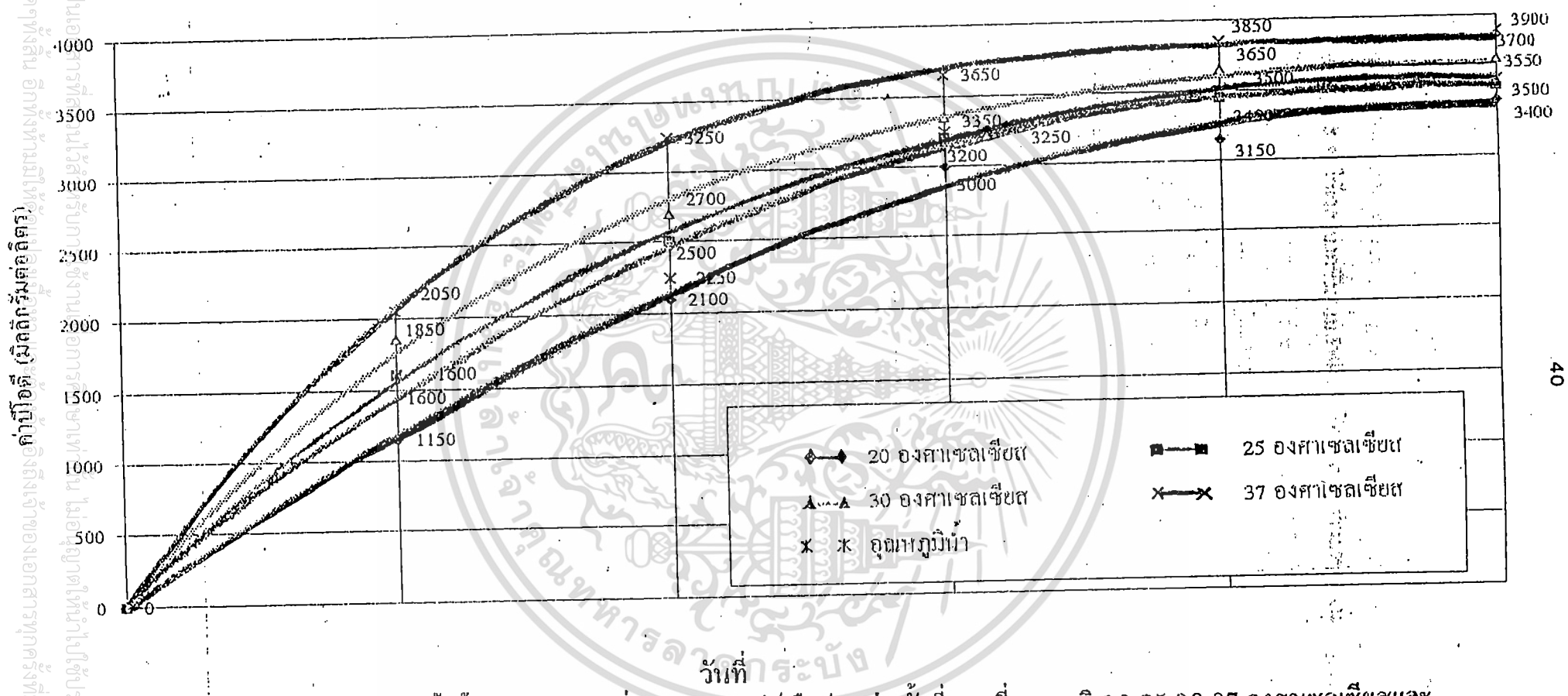
ข. 25 องศาเซลเซียส

ค. 30 องศาเซลเซียส

ง. 37 องศาเซลเซียส

จ. อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 13 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ครั้งที่ 2 , ที่อุณหภูมิ 20,25,30,37,องศาเซลเซียสและอุณหภูมิน้ำ

จากตารางจะเห็นว่าที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วที่-สุดเทียบเท่ากับเวลาที่ใช้ในวิธีมาตรฐานคือ 5 วัน และที่อุณหภูมิต่ำลงคือ 30, อุณหภูมิน้ำ, 25 และ20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

**4.4 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีกับซีโอดี**

จากค่าซีโอดีที่ได้ในตารางที่ 4-2 เป็นการหาเพื่อนำมาประมาณค่าบีโอดี ซึ่งต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ เพื่อให้มีร้อยละของตัวอย่างในปริมาณที่เหมาะสมกับออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำเจือจาง กล่าวคือต้องรักษาปริมาณออกซเจนให้มีเพียงพอตลอดการบ่มตัวอย่างน้ำ 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 |
| สารอนินทรีย์เจือปนอยู่ | | | |
| ครั้งที่ 1 | 2425 | 4866 | 1 ใน 2 |
| ครั้งที่ 2 | 3400 | 3851 | 1 ใน 2 |

ตามทฤษฎีค่าบีโอดีจะมีค่าประมาณ 2 ใน 3 ของค่าซีโอดี คือในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ 2 ส่วน จากสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมด 3 ส่วน จากตารางจะเห็นได้ว่าสำหรับอุตสาหกรรมประเภทที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก และอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ไม่เป็นตามทฤษฎีเนื่องจาก กรณีอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักนั้นมีค่าบีโอดี 3 ใน 4 ของค่าซีโอดี คาดเป็นเพราะในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายและนำไปใช้ได้ง่ายจึงทำให้ค่าบีโอดีมีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีมาก สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่มีค่าบีโอดี 1 ใน 2 ของค่าซีโอดีอาจเป็นเพราะในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ในปริมาณน้อยทำให้ค่าบีโอดีน้อยกว่าค่าซีโอดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่5

# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. แนวโน้มของการใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีที่ให้ผลเทียบเท่าการหาค่าบีโอดีโดยวิธีปกติ ลดลงไปในทางเดียวกัน คือที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการหาค่าบีโอดีน้อยที่สุด โดยที่อุณหภูมิ30, อุณหภูมิน้ำ, 25 และ20 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ

2. อุตสาหกรรมที่มีสารโปรตีนเป็นหลัก ใช้เวลาในการหาค่าบีโอดี เมื่อเทียบกับค่าบีโอดีมาตรฐาน ที่ 5 วัน ที่ 20 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดี ของอุตสาหกรรมที่มีสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ มากกว่าเวลาที่ใช้ในการหาค่าบีโอดี ของอุตสาหกรรมที่มีสารคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก

## 5.2ข้อเสนอแนะ

ซึ่งจากผลข้างต้นสามารถลดเวลาในการหาค่าบีโอดี ของน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภทนี้

1. การที่จะนำไปใช้งานจริงนั้นอาจทำได้ในระดับตรวจค่าความสกปรกของน้ำทิ้งคร่าว ๆ แต่ถ้าจะนำค่าที่วัดได้มาแทนค่าบีโอดี ที่หาโดยวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลกนั้น ในการแสดงค่าความสกปรกของน้ำทิ้งกับหน่วยงานราชการนั้นยังไม่ได้ เพราะยังไม่เป็นที่ยอมรับว่าค่าบีโอดีที่ได้เป็นค่าความสกปรกของน้ำใกล้เคียงความจริง ถ้าจะนำไปใช้ต้องทำการศึกษาหาข้อมูลให้มากกว่านี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีความถูกต้องเท่าเทียมกับวิธีมาตรฐาน

2. การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี จากการวิเคราะห์ปรกติ (ที่ 20 องศา-เซลเซียส) นั้นช่วยประหยัดพลังงานในการบ่มตัวอย่างได้ เพราะประเทศเราเป็นประเทศในเขตร้อน พลังงานที่ใช้ในการที่จะเพิ่มอุณหภูมินั้นใช้น้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้