สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

- การวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (Residual Ozone) ด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method
  - Potassium indigo trisulfonate (Sigma-Aldrich)
  - Phosphoric acid
  - Sodium dihydrogen phosphate (Carlo Erba)
  - Glycine (Fluka)
- การวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสีย (APHA, 1992)
  - Manganese sulfate monohydrate (Rankem)
  - Sulfuric acid
  - Sodium iodide (Aigma-Aldrich)
  - Sodium azide (Carlo Erba)
  - Sodium hydroxide (Sodium hydroxide)
  - Potassium dichromate (Carlo Erba)
  - Silver sulfate (Merck)
  - Mercury (II) sulfate (Merck)
  - Ammonium ferrous sulfate (Ajax Finechem)
  - Dipotassium hydrogen orthophosphate (Ajax Finechem)

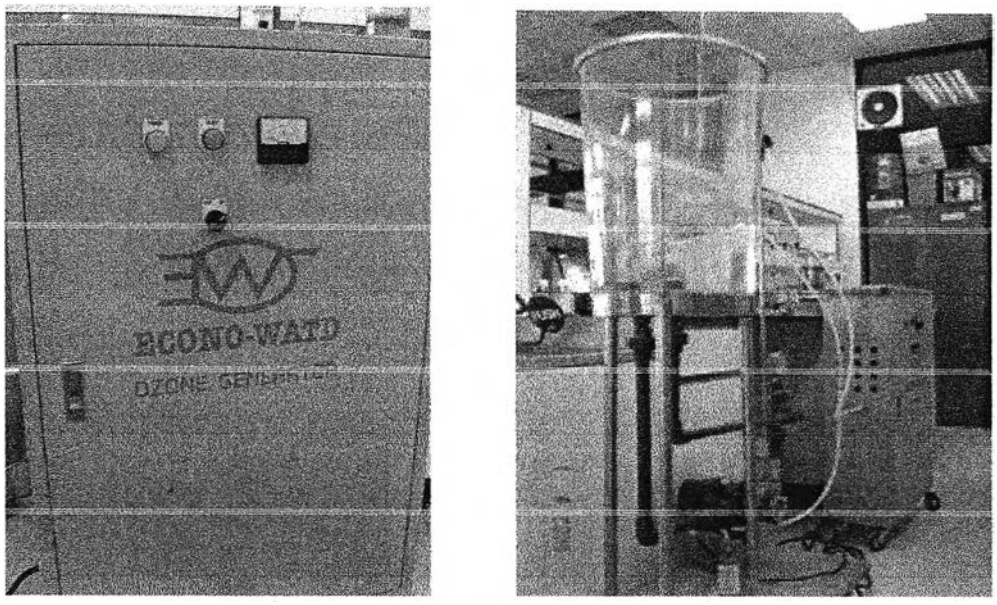
- Magnesium sulfate (Aigma-Aldrich)
- Calcium chloride (Aigma-Aldrich)
- Ferric chloride (Carlo Erba)
- Sodium thiosulphate pentahydrate (Rankem)

- อาหารเลี้ยงจุลินทรีย์
  - Tryptone
  - Yeast extract
  - Sodium chloride
- การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
  - สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.01
  - สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.00
  - สารละลายบัฟเฟอร์ pH 9.01

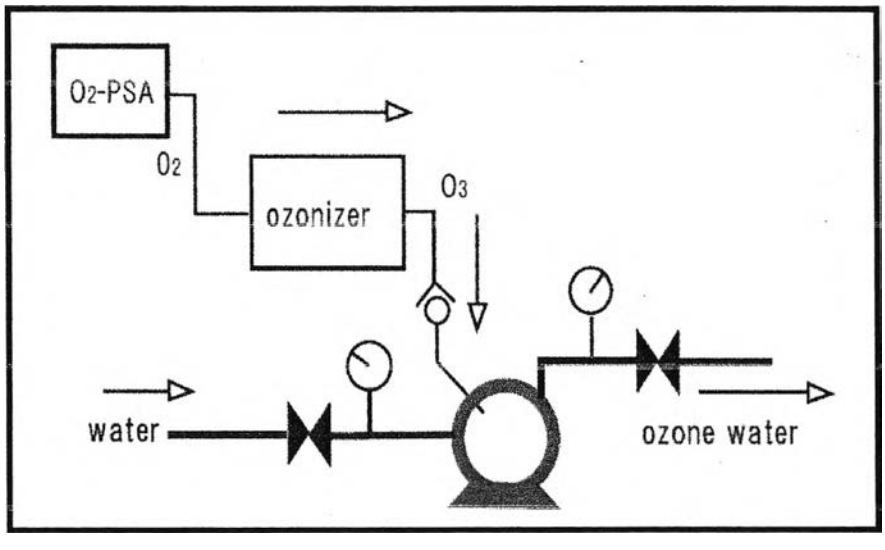
3.1.2 อุปกรณ์

- เครื่องผลิตก๊าซโอโซน Econo-Watd รุ่น M15NP(D) ผลิตในประเทศไทย (กำลังการ ผลิต 2.1 กรัมต่อชั่วโมง ปรับความดัน 2 บาร์ อัตราการไหลของก๊าซ 0.64 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของน้ำ 8 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 $^{\circ}$C 1 บรรยากาศ)
- เครื่อง Spectrophotometer, รุ่น Helios Alpha (Thermo Electron Corporation, England)
- เครื่อง pH meter, รุ่น Seven Easy (METTLER Toledo, Switzerland)
- เครื่อง Cooling bath, รุ่น Cool Ace CA-1111 (EYELA, Japan)
- เครื่อง Water bath, รุ่น SV 4422 (MEMMERT, Germany)
- เครื่อง Hot Air Oven, รุ่น UNB400 (MEMMERT, Germany)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, รุ่น AB 204-S (METTLER TOLEDO, Germany)

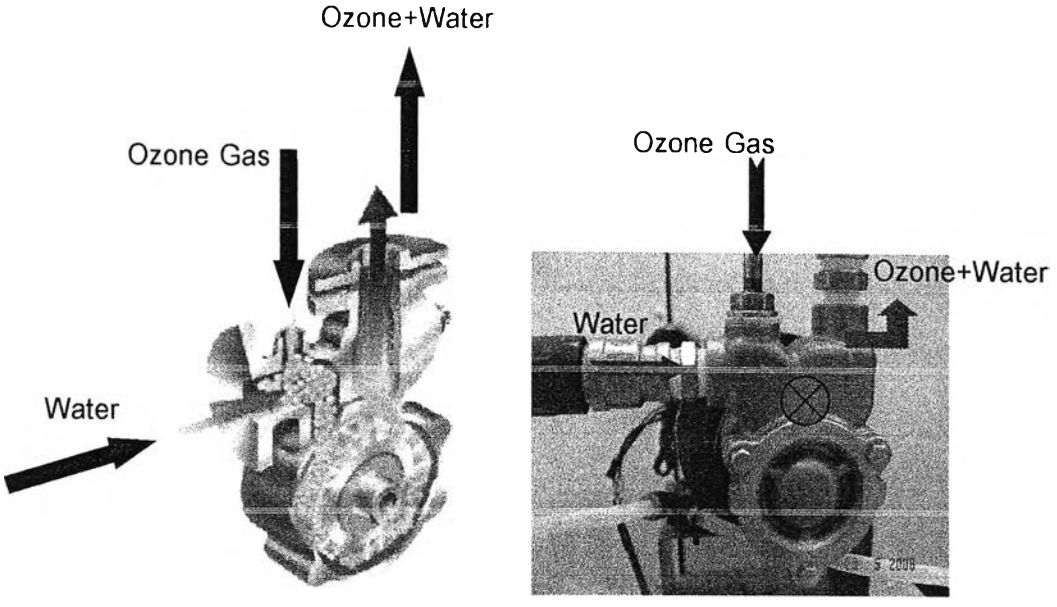
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, รุ่น BP211D (Sartorius, Germany)
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง, รุ่น BJ 100C (Precisa instruments, Switzerland)
- เครื่อง Microwave, รุ่น R-215 (Sharp, Japan)
- เครื่อง Incubator, รุ่น 1300C (Contherm)
- เครื่อง Autoclave, รุ่น SS-325 (Tomy, Japan)
- เครื่อง Incubator, รุ่น INE700 (MEMMERT, Germany)
- เครื่อง Stirrer, รุ่น 3016 (GEL, Germany)
- เครื่อง Magnetic Stirrer Model, รุ่น ME-20 (Aris, Thailand)
- เครื่อง Heating Magnetic Stirrer, รุ่น ARE (VELP SCIENTIFICA, Europe)
- เครื่อง DO meter, รุ่น Eco-scan DO6 (EU-tech, Singapore)
- ตู้แช่แข็ง 20 ^{0}C, รุ่น SF-C991 (Sanyo, Japan)
- ตู้ดูดความชื้น, รุ่น A.D. (F.G.E., Thailand)
- เครื่องดูดควัน (Laboratory fume hood), (Safety lab, Thailand)
- เครื่อง Laminar flow cabinets, (Safety lab, Thailand)
- ตู้เย็น, รุ่น SJ-D52L (Sharp, Japan)
- กล้องจุลทรรศน์ Micro Scope, รุ่น E200 (Nikon, Japan)
- เครื่อง Ultra pure water, รุ่น Milli-Q Academic (Millipore, France)
- เครื่อง Ultra pure water, รุ่น E 30H (Elma, Germany)
- เครื่อง Vortex mixer, รุ่น VX100 (Labnet, USA)
- เครื่อง Water bath, รุ่น WB 22 (MEMMERT, Germany)



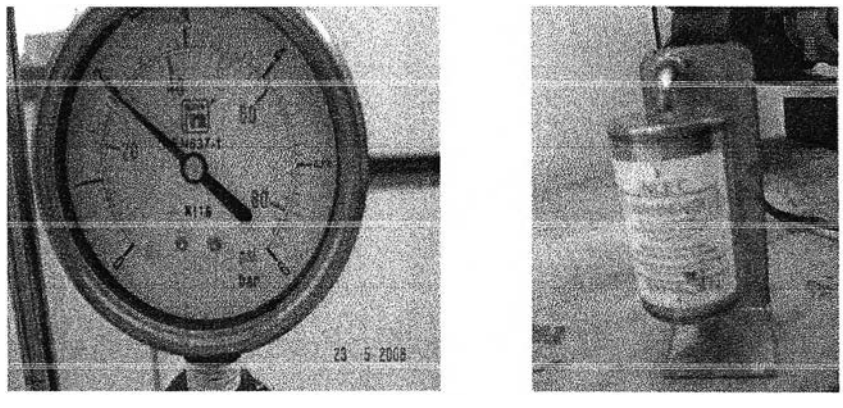
รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator) ยี่ห้อ Econo-Watd ความสามารถในการผลิตโอโซน 2.1 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.2 แสดง Dynamic Ozone Mixing Method ของเครื่องผลิตโอโซน



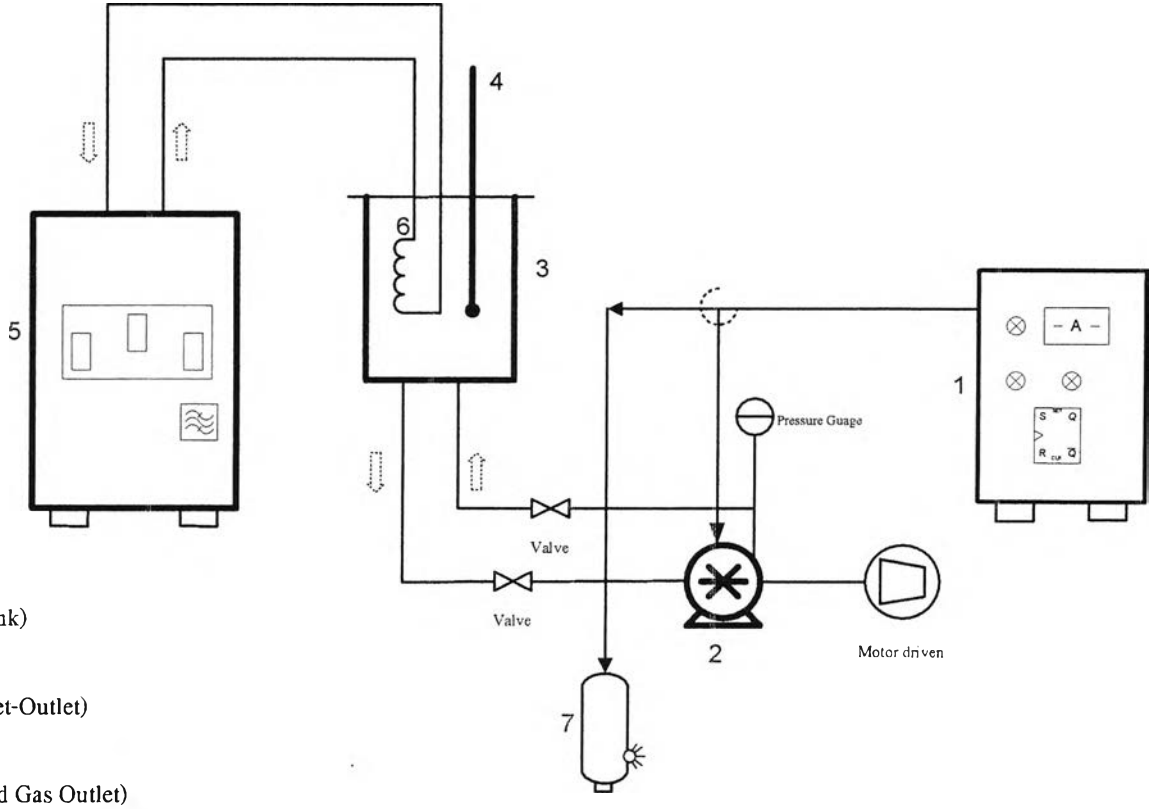
รูปที่ 3.3 แสดง Ozone Mixing Pump ของเครื่องผลิตโอโซน



รูปที่ 3.4 แสดงการปรับความดันที่ 2 บาร์ อัตราการไหลของก๊าซ 0.64 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของน้ำ 8 ลิตรต่อนาที และเครื่องกำจัดโอโซน

แผนวงจรการทำงานของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ยี่ห้อ Econo - Watd

Schematic of the Catalytic Ozonation Unit



1. Ozone Generator
2. Mixing Pump
3. Reactor (Water Tank)
4. Thermometer
5. Cooling water (Inlet-Outlet)
6. Cooling coil
7. Scrubber (Ozonized Gas Outlet)

รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ยี่ห้อ Econo – Watd รุ่น M15NP (D)

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียในระบบบำบัด

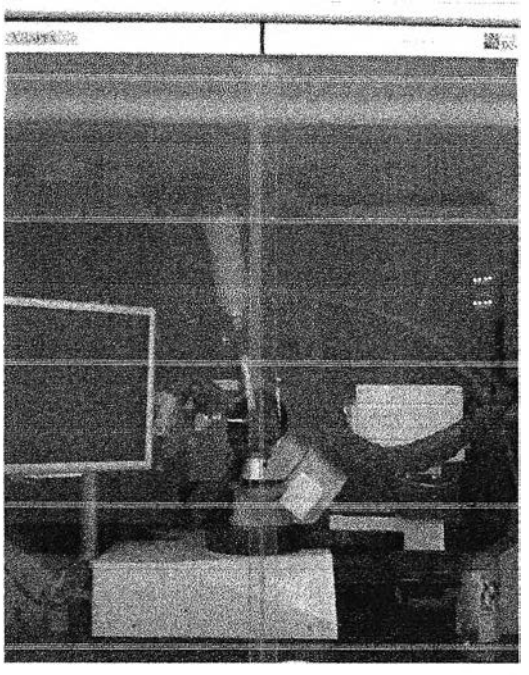
เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) ในช่วงสัปดาห์ที่มีการเรียนการสอนปกติ โดยทำการเก็บน้ำเสียตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite sample) เพื่อเป็นตัวแทนน้ำเสีย ในช่วงสัปดาห์วันที่ 15-19 ธันวาคม 2551 จำนวน 2 ช่วงเวลา คือ 9:30 น. และ 15:30 น. จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ก่อนปล่อยออกสู่ท่อน้ำเสียรวมของกรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธีวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์น้ำเสีย

Parameters	Standard Methods (APHA, 1998)
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	- pH Meter
2. อุณหภูมิ (Temperature)	- Thermometer
3. Dissolved Oxygen (DO)	- DO meter
4. Biochemical Oxygen Demand (BOD)	- 5-Day BOD Test
5. Chemical Oxygen Demand (COD)	- Close Reflux, Titrimetric Method
5. ปริมาณของแข็ง - สารแขวนลอย - สารที่ละลายได้ทั้งหมด	 - Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C - Total Dissolved Solids Dried at 180 °C
6. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform bacteria, FCB)	- Most Probable Number (MPN)

3.2.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสีย

(1) วิเคราะห์ตะกอนของน้ำเสียบ่อสุดท้าย (Final tank) ด้วยเครื่องมือ X-ray florescence spectrometer (XRF) ด้วยวิธี Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry



รูปที่ 3.6 เครื่องมือ X-ray florescence spectrometer (XRF) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW-2400

(2) วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียบ่อสุดท้าย (Final tank) ด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence Spectrometer วิธี Semi-quantitative X-ray fluorescence spectrometry analysis และเครื่องมือ Inductive Couple Plasma Spectrometry (ICPs) วิธี Atomic Emission Spectrometer

3.2.2 การใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ในการนำโอโซนมาใช้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซน เนื่องจากความสามารถของเครื่องผลิตโอโซนอาจมีค่าน้อยกว่าค่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (กัญญาจิต โล่ภิญโญศิริ, 2543) และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนหลังเป่าพ่นลงน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงต้องศึกษาความเข้มข้นก๊าซโอโซนในน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ

3.2.2.1 ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) โอโซนอิ่มตัวหรือโอโซนเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State)

โดยทำการเปิดเครื่องผลิตโอโซนและให้โอโซนสัมผัสกับน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในน้ำที่เวลา 0, 10, 20,

30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 นาที และควบคุมอุณหภูมิน้ำเสียที่ 30°C และแหล่งกำเนิดก๊าซโอโซนคืออากาศ โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ จากนั้น จึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเติมโอโซน ที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสีย ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรกับเวลา เพื่อทำการศึกษาระยะเวลาในการเติมโอโซนที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ

(1) วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียหลังเติมโอโซน ด้วยเครื่องมือ Inductive Couple Plasma Spectrometry (ICPs) วิธี Atomic Emission Spectrometer

3.2.2.2 ระยะเวลาที่โอโซนเปลี่ยนกลับเป็นออกซิเจน

โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นโอโซนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) เมื่อหยุดให้โอโซนสัมผัสกับน้ำเสีย และทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่หลงเหลืออยู่ที่เวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 นาที ควบคุมอุณหภูมิน้ำเสียที่ 30°C และแหล่งกำเนิดโอโซน คืออากาศ โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ จากนั้น นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาความเข้มข้นของโอโซนที่เหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อจุลินทรีย์

ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน วัดด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (APHA, 1998) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสีของสารละลาย Indigo แล้วตรวจวัดค่าความเข้มข้นด้วยการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ ได้แก่ ความสามารถของเครื่องผลิตโอโซน ลักษณะการแพร่ของโอโซนสู่น้ำ อัตราการไหลของก๊าซ และแหล่งก๊าซออกซิเจนที่นำมาผลิตเป็นโอโซน

3.2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและค่า DO

โดยทำการเติมโอโซนอย่างต่อเนื่องในน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) จากนั้น ตรวจวัดความเข้มข้นโอโซนและค่า DO ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ควบคุมอุณหภูมิน้ำเสียที่ 30°C

3.2.2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณ DO

ทำการเติมโอโซนต่อเนื่องจนอิ่มตัว จากนั้นผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเสียที่ 30 และ 31°C และติดตามวัดปริมาณ DO ในน้ำเสีย

3.2.2.5 รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซน

ทำการเติมโอโซนต่อเนื่องจนอิ่มตัวผสมกับน้ำเสีย ควบคุมอุณหภูมิ 30°C ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร

3.2.2.6 ศึกษาระยะเวลาในการเติมโอโซนที่มีผลต่อปริมาณ DO

ทำการเติมโอโซนต่อเนื่องในน้ำเสียที่เวลา 20, 40 และ 60 นาที จากนั้นผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเติมโอโซนต่อปริมาณ DO ในน้ำเสีย

3.2.2.7 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำเติมโอโซน

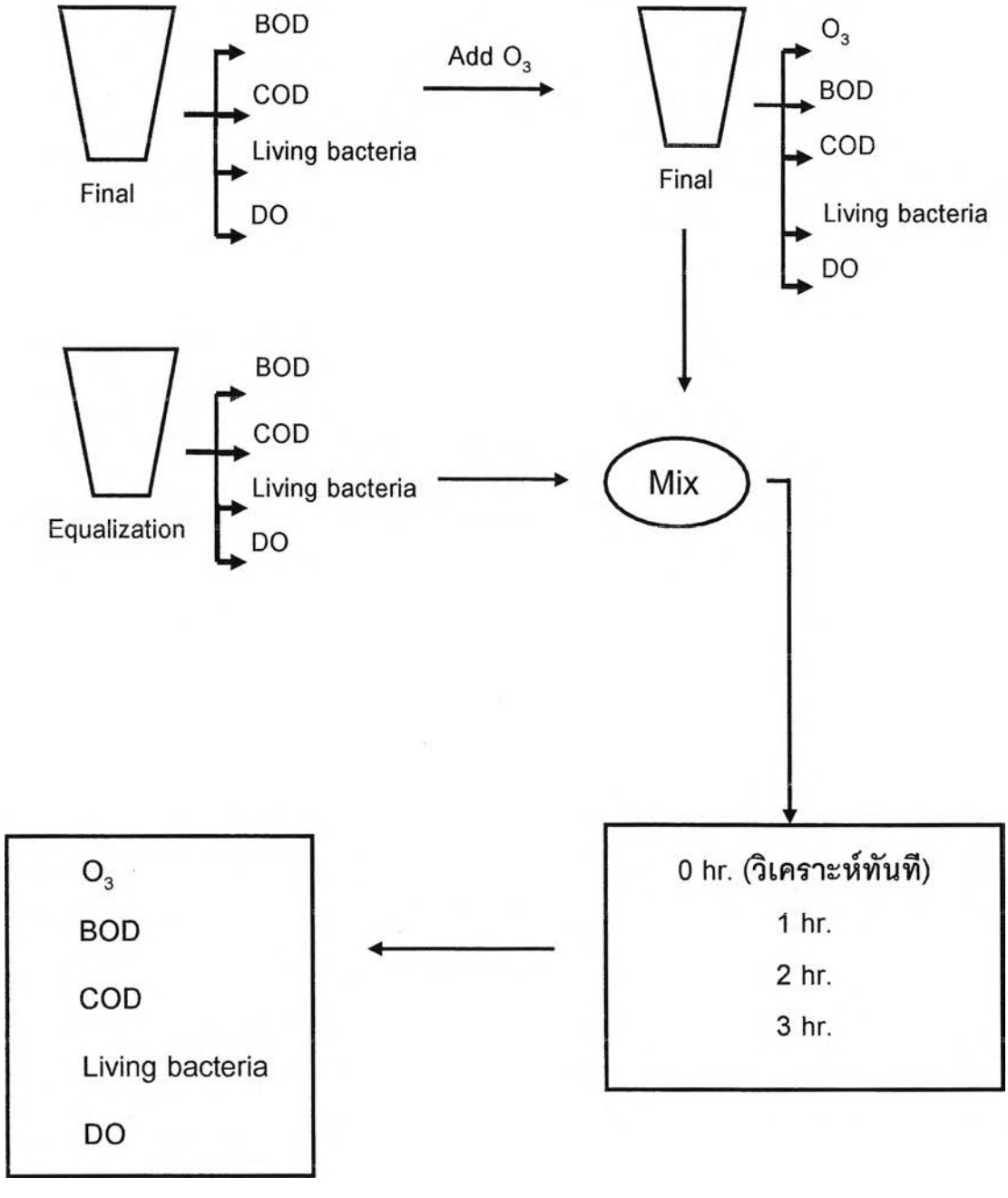
ทำการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำเติมโอโซนจากบ่อสุดท้าย (Final tank) ผสมกับน้ำเสีย โดยระยะเวลาในการเติมโอโซน คือ ระยะเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.2.4 และผสมน้ำเสียในอัตราส่วน 1:2, 1:4 และ 1:8 โดยปริมาตร ควบคุมอุณหภูมิ 30°C จากนั้น วิเคราะห์พารามิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยเมื่อทำการผสมน้ำที่เติมโอโซนกับน้ำเสียจะต้องอยู่ภายใต้ 2 เงื่อนไขสำคัญ คือ

- ความเข้มข้นของโอโซนหลังทำการผสมน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซนกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศ จะต้องเหมาะสม โดยทำให้แบคทีเรียยังดำรงชีวิตอยู่ได้ (ความเข้มข้นโอโซน < 0.1 mg/L)
- ค่า Dissolve oxygen ในน้ำเสียหลังทำการผสมน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซนกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศ ต้องเพียงพอ คือ มากกว่า 2 mg/L

3.2.2.8 ประสิทธิภาพของโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลองในข้อ 3.2.2.7 จะทำให้สามารถคำนวณระยะเวลาในการเติมน้ำที่เติมโอโซนลงในน้ำเสียอีกครั้ง

แผนดำเนินการทดลอง และค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนดำเนินการทดลอง