# การเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซน

ยุทธศิลป์ กุลวงศ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

# COMPARISON OF HOSPITAL EFFLUENT DISINFECTION BETWEEN CHLORINATED COMPOUND AND OZONE

YUTTHASIL KULLAWONG

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2012

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

**ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ**

**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**

**ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**เรื่อง** การเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซน

**ผู้วิจัย** นายยุทธศิลป์ กุลวงศ์

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองราษฎร์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ)

..... คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว**

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2555

# กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและข้อเสนอแนะต่างๆ ในการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองราษฎร์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำอธิบายในเนื้อหาการปรับปรุงในเนื้อหาให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกาญจนา พาแก้ว คุณทิวาส ถนอมวงศ์ และ คุณเอกรัฐ ศรีอ่อน ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือและการปฏิบัติต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ จนทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณคุณจิราธร แสนทวีสุข ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำเกี่ยวกับเอกสารต่างๆ และช่วยติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ทำการศึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้สามารถดำเนินการมาได้อย่างสะดวกจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณ บริษัท ชวิศา โซน จำกัด และ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทีเอเอ็นไวรอนเมนท์เซอร์วิส สำหรับเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ที่ใช้ในการทดลองจนทำให้การศึกษาครั้งนี้สามารถดำเนินการมาได้อย่างสะดวกจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณพระคุณผู้อำนวยการโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ที่กรุณาอนุญาตให้เก็บข้อมูลการศึกษา รวมทั้งเผยแพร่ผลการศึกษา ขอขอบคุณ คุณปรียาภัทร วรรณสุข บัณฑิตศึกษารุ่นพี่ ที่ให้คำแนะนำในการศึกษาแต่ละกระบวนการวิจัยและเนื้อหาบางส่วน ซึ่งทำให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่ช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้กันและกันเสมอมา รวมทั้งผู้ที่มีส่วนร่วมช่วยเหลือกับการทำการค้นคว้าอิสระนี้จนเสร็จสมบูรณ์ทุกท่าน

(นายยุทธศิลป์ กุลวงศ์)
ผู้วิจัย

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **กิตติกรรมประกาศ** | ก |
| **บทคัดย่อภาษาไทย** | ข |
| **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | ค |
| **สารบัญ** | ง |
| **สารบัญตาราง** | ฉ |
| **สารบัญภาพ** | ซ |
| **บทที่** | |
| **1 บทนำ** | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา | 2 |
| 1.4 สมมุติฐานงานวิจัย | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสียโรงพยาบาล | 4 |
| 2.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงพยาบาล | 4 |
| 2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล | 6 |
| 2.4 สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งโรงพยาบาล | 13 |
| 2.5 สารประกอบคลอรีน | 13 |
| 2.6 โอโซน | 18 |
| 2.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งของโรงพยาบาล | 23 |
| 2.8 โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย | 25 |

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

**3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

3.1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของโรงพยาบาลที่ศึกษา 29

3.2 จุดเก็บและการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 29

3.3 การทดลองฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดช 30

3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย การฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลด้วยการเติมสารประกอบคลอรีนและการเติมโอโซน 36

**4 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล**

4.1 ผลการรวบรมข้อมูลทุติยภูมิของโรงพยาบาล 37

4.2 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วยสารประกอบคลอรีน 46

4.3 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วยโอโซน 49

4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย การฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ด้วย สารประกอบคลอรีนและโอโซน 52

**5 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**

5.1 สารประกอบคลอรีน 53

5.2 ข้อเสนอแนะ 54

**เอกสารอ้างอิง** **55**

**ภาคผนวก**

ก การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 60

ข ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร 71

ค การคำนวณสารประกอบคลอรีนและโอโซน 74

ง ข้อมูลจริงที่ใช้ในงงานวิจัย 77

**ประวัติผู้วิจัย** **88**

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลทั่วไป (วารสารส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2541) | 5 |
| 2.2 | ความเข้มข้นของคลอรีนกับการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ | 17 |
| 2.3 | ตารางเวลาในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่างๆที่ประสิทธิภาพการกำจัด 50 เปอร์เซ็นตโดยใช้โอโซน คลอรีน และเปอร์แมงกาเนต | 20 |
| 4.1 | จำนวนบุคลากรจำแนกตามสาขาวิชาชีพที่สำคัญ ปี 2555 (ข้อมูลสถิติของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม 2555) | 40 |
| 4.2 | ชุมชนหรือกลุ่มผู้รับบริการที่เป็นเป้าหมาย (Targeted Customers) | 41 |
| 4.3 | สรุปผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2555 | 45 |
| 4.4 | ปริมาณที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน | 47 |
| 4.5 | การหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน | 48 |
| 4.6 | การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน | 49 |
| 4.7 | ปริมาณที่เหมาะสมของโอโซน | 49 |
| 4.8 | เวลาสัมผัสที่เหมาะสมของโอโซน | 50 |
| 4.9 | ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโอโซน | 51 |
| ก.1 | MPN Index and 95% Confidence Limits For Various Combinations of Positive Results When Various Numbers of Tubes Are Used Per Dilution (10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml) | 67 |
| ข.1 | ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร | 72 |
| ง.1 | ค่าพีเอชและค่าคลอรีนตกค้างจากการใช้คลอรีน | 78 |
| ง.2 | ค่า TCB และ FCB จากการใช้คลอรีน | 79 |
| ง.3 | เปียบเทียบค่า TCB | 79 |
| ง.4 | เปียบเทียบค่า FCB | 80 |
| ง.5 | ค่าพีเอชและค่าคลอรีนตกค้าง | 80 |
| ง.6 | ค่า TCB และ FCB | 81 |
| ง.7 | เทียบค่า TCB | 81 |

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ง.8 | เทียบค่า FCB | 82 |
| ง.9 | ค่าคลอรีนตกค้าง | 82 |
| ง.10 | เทียบค่า TCB และ FCB | 83 |
| ง.11 | ค่า TCB และ FCB ของโอโซน | 83 |
| ง.12 | เทียบค่า TCB ของโอโซน | 84 |
| ง.13 | เทียบค่า FCB ของโอโซน | 84 |
| ง.14 | ค่าเวลาสัมผัสของ TCB และ FCB ของโอโซน | 85 |
| ง.15 | เทียบค่าเวลาสัมผัสของ TCB ของโอโซน | 85 |
| ง.16 | เทียบค่าเวลาสัมผัสของ FCB ของโอโซน | 86 |
| ง.17 | ค่าพีเอชจากการใส่โอโซนของ TCB และ FCB | 86 |
| ง.18 | เทียบค่า TCB | 87 |
| ง.19 | เทียบค่า FCB | 87 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | กระบวนการเกิดโอโซน (บริษัท โปรเฟสชันแนล โอไนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ; Ozone inter The Expert Ozone) | 19 |
| 2.2 | กระบวนการการเติมโอโซน | 22 |
| 2.3 | ลักษณะ Coliform Bacteria | 27 |
| 2.4 | ลักษณะ Fecal Coliform Bacteria | 27 |
| 2.5 | สรุปขั้นตอนการทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย | 28 |
| 3.1 | จุดเก็บตัวอย่างทิ้งของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม | 30 |
| 3.2 | สรุปแผนการทดลองของการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาล | 31 |
| 3.3 | สารประกอบคลอรีนที่ใช้ในการทดลอง | 32 |
| 3.4 | ลักษณะรูปแบบการทดลองการหาปริมาณ | 32 |
| 3.5 | ลักษณะรูปแบบการทดลองหาเวลาสัมผัส | 33 |
| 3.6 | ลักษณะรูปแบบการทดลองหาค่าพีเอช | 34 |
| 3.7 | เครื่องกำเนิดโอโซน | 35 |
| 3.8 | เครื่องกำเนิดโอโซนด้านหลัง | 35 |
| 4.1 | แผนผังอาคารต่างๆโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม | 39 |
| 4.2 | อาคารบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม | 42 |
| 4.3 | ถังเติมอากาศระบบบำบัด | 43 |
| 4.4 | ลานตากตะกอน | 43 |
| 4.5 | ถังเติมคลอรีน | 44 |

# บทคัดย่อ


ชื่อเรื่อง : การเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบ
: คลอรีนและโอโซน
โดย : ยุทธศิลป์ กุลวงศ์
ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์

ศัพท์สำคัญ : น้ำทิ้งโรงพยาบาล การฆ่าเชื้อ สารประกอบคลอรีนและโอโซน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ด้วยสารประกอบคลอรีนและโอโซน พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายต่อหน่วย สำหรับทั้งสองกรณี ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณ เวลาสัมผัส และค่าพีเอช โดยประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ คำนวณจากปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ก่อนและหลังการทดลอง จากผลการทดลองภายในห้องปฏิบัติการพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับปริมาณ เวลาสัมผัส และค่าพีเอช ของสารประกอบคลอรีนได้แก่ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 30 นาที และ 7 ตามลำดับ ส่วนโอโซน มีค่า 48 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 40 นาที และ 7 ตามลำดับ โดยทั้งสองกรณีมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งปริมาณทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาลที่กำหนด สำหรับสารประกอบคลอรีนและโอโซน จะมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วย เท่ากับ 0.13 และ 0.02 บาท ต่อลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ในการใช้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงพยาบาลต่อไป

# ABSTRACT


TITLE : COMPARISON OF HOSPITAL EFFLUENT DISINFECTION BETWEEN CHLORINATED COMPOUND AND OZONE

BY : YUTTHASIL KULLAWONG

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. SOMPOP SANOGRAJ, Ph.D.

KEYWORDS : HOSPITAL EFFLUENT / DISINFECTION / CHLORINATED COMPOUND AND OZONE

The objective of this research was to study factors affecting disinfection of hospital effluent using chlorinated compound and ozone. In addition, disinfection efficiency and unit cost were determined for both cases. Studied factors included dosage, contact time, and pH. Based on quantities of total coliform and fecal coliform bacteria before and after experiment, disinfection efficiency was calculated. The experimental results from the laboratory showed that optimum values of dosage, contact time, and pH for chlorinated compound were 1.50 milligram per liter, 30 mins, and 7 while optimum values of dosage, contact time, and pH for ozone were 48 milligram per liter, 40 mins, and 7, respectively. Consequently, disinfection efficiencies of greater than 90 percentage were obtained for both cases. In additons, both quantities of total coliform and fecal coliform bacteriamet the hospital-effluent standard. Unit costs for chlorinated compound and ozone were 0.13 and 0.02 baht per liter, respectively. However, a futher study needs to be investigated for using in the hospital-wastewater treatment plant.

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงพยาบาลจัดเป็นสถานประกอบการประเภทหนึ่งที่มีการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น การล้างทำความสะอาดร่างกาย เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ตลอดจนการทำอาหาร การซักล้าง ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ย 800 ลิตร/เตียง/วัน (คู่มือการจัดการน้ำเสียอาคารประเภท ก กรมควบคุมมลพิษ 2553) ลักษณะน้ำเสียจากโรงพยาบาลคล้ายกับน้ำเสียชุมชนทั่วไป คือ มีสารอินทรีย์สูง อาจมีไขมัน สารทำความสะอาดหรือสารฆ่าเชื้อปะปนอยู่บ้างดังนั้นของเสียและน้ำเสียที่เกิดจากการบริการผู้เจ็บป่วยอาจมีเชื้อโรคปนเปื้อนได้และอาจกระจายออกนอกโรงพยาบาลเกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้คนได้

การฆ่าเชื้อโรคน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลมีกระบวนการที่ใช้หลักๆ ได้แก่ การฆ่าเชื้อด้วยการเติมโอโซน การฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี (UV) และการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน (กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ 2549) ก็เป็นวิธีที่นิยมอย่างแพร่หลายและคลอรีน คือ สารที่นิยมใช้กันมากในการทำลายเชื้อโรคในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคได้สูงและราคาไม่สู้จะแพงนัก สีก็เป็นสีขาว ไม่เป็นที่รังเกียจ ยกเว้นแต่จะมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย สารคลอรีนโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือชนิดก๊าซและชนิดผง การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้ ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรค (Duration of contact) อุณหภูมิ (Temperature) ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) และสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ซึ่งในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งของคลอรีน ในน้ำทิ้งนั้นก็ยังมีปริมาณคลอรีนหลงเหลืออยู่บ้างที่เรียกทั่วไปว่า มีคลอรีนตกค้างในน้ำ และที่มีการใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคอีกชนิด คือใช้วิธีการเติมโอโซน

การเติมโอโซนก็มีการใช้เป็นลำดับรองลงมาเช่นกัน เพราะโอโซนเป็นตัวออกซิแดนซ์ (oxidant) ที่ดีมาก การใช้โอโซนมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำคือมีพิษเฉียบพลัน แต่อย่างไรก็ตามโอโซนจะแตกตัวออกง่ายและเร็วมากจึงทำให้ไม่พบโอโซนในแหล่งรับน้ำทิ้งนอกจากนี้โอโซนจะกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยาก ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสาร THM เช่นกรดฮิวมิค (Humic acid) และกำจัดสาร Mulathion ได้ด้วย ซึ่งบางแห่งอาจใช้วิธีโอโซนกระทำก่อนคลอรีน เพื่อไม่ให้เกิดสาร THM ขึ้น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

ดังนั้น จึงเป็นที่มาในการศึกษานี้การเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาล ระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซน เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

**1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการฆ่าเชื้อ ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ด้วยสารประกอบคลอรีน

1.2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการฆ่าเชื้อ ในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ด้วยโอโซน

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายต่อหน่วย การฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลด้วยสารประกอบคลอรีนและโอโซน

**1.3 ขอบเขตการศึกษา**

การวิจัยจะกระทำภายในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยทำการทดลองฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง ด้วยสารประกอบคลอรีน และโอโซน โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ ได้จากน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี

1.3.2 สารประกอบคลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 70-75 ซึ่งได้จากโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี

1.3.3 เครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ มีขนาดกำลังผลิตโอโซน 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

1.3.4 ปัจจัยที่ศึกษาผลกระทบ ได้แก่ ปริมาณ เวลาสัมผัส และค่าพีเอช (pH)

1.3.5 พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ), ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB), พีเอช (pH ), คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual)

**1.4 สมมุติฐานงานวิจัย**

สารประกอบคลอรีนและโอโซน สามารถฆ่าเชื้อ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ โดยโอโซนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารประกอบคลอรีน

1.5.1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซนในการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาลได้

1.5.2 สามารถนำข้อมูลจากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาล

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสียโรงพยาบาล

กิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียกิจกรรมที่เกิดจากการให้บริการรักษาผู้เจ็บป่วยต่างๆ ภายในโรงพยาบาลก่อให้เกิดน้ำเสีย ได้แก่ สถานที่ตรวจคนไข้นอก มีผู้ป่วยและญาติมาใช้ห้องน้ำ สถานที่ตรวจคนไข้ใน มีผู้ป่วยมารับการรักษาตัวในโรงพยาบาล รวมทั้งญาติมาเฝ้า ลักษณะน้ำเสียจะแตกต่างกันตามสภาพการบริการ ลักษณะน้ำเสียจึงอาจมีการปนเปื้อนน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในการทำความสะอาดแผลโรงซักผ้า ได้แก่ เสื้อผ้าผู้ป่วย หมอนเตียง น้ำเสียอาจปนเปื้อนเชื้อโรคน้ำยาซักผ้า โรงครัวและโรงอาหารน้ำเสียมีเศษอาหาร และไขมันปนเปื้อนมากห้องผ่าตัด ห้องคลอด และห้องเก็บศพ น้ำเสียมีการปนเปื้อนของน้ำยาฆ่าเชื้อโรคและสิ่งคัดหลั่งอาคารบ้านพัก น้ำเสียเหมือนน้ำเสียชุมชนสรุปได้ว่าน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากบ้านเรือน โดยมีทั้งน้ำเสียที่เกิดจากการดำรงชีวิต และน้ำเสียจากผู้ป่วย ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากทุกกิจกรรมภายในโรงพยาบาลจะต้องได้รับการบำบัดและผ่านการฆ่าเชื้อก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547)

## 2.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงพยาบาล

ปริมาณน้ำเสียจากโรงพยาบาลอยู่ในช่วง 800 ลิตรต่อเตียงผู้ป่วยน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีลักษณะคล้ายน้ำเสียจากบ้านเรือมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารอันตราย ได้แก่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ยาที่มีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย สารกัมมันตรังสี ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการให้บริการรักษาผู้ป่วยมีองค์ประกอบต่างๆหลายอย่าง เช่นสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน สารอินทรีย์ในน้ำเสียมีทั้งที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยและสารละลาย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนได้ และอาจเกิดสภาพเน่าเสียได้ จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของของออกซิเจนละลายน้ำทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นได้โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือนินทรีย์และสะสมอยู่ในวงจรอาหารเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งในน้ำเสียของโรงพยาบาล ก่อนที่จะปล่อยออกสู่ชุมชนก็จะมี

การบำบัดน้ำเสียก่อน เพื่อให้ได้ค่าน้ำทิ้งก่อนปล่อยไม่เกินตามเกณฑ์มาตรฐาน ดัชนีคุณภาพน้ำเสีย และค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ลักษณะน้ำเสียของโรงพยาบาลทั่วไป (วารสารส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2541)

| ดัชนีคุณภาพน้ำเสีย | ความเข้มข้น | เฉลี่ย | ค่ามาตรฐาน* |
|---|---|---|---|
| 1. พีเอช | 6.3-8.8 | 7.34 | 5-9 |
| 2. ตะกอนหนัก (มก/ล.) | 2.0-222 | 60.40 | ไม่เกิน30 |
| 3. บีโอดี(มก./ล.) | 10.4-328 | 282 | ไม่เกิน20 |
| 4. ทีเคเอ็น(มก./ล.) | 5.3-442 | 18.30 | ไม่เกิน 35 |
| 5. สารแขวนลอย(มก./ล.) | 1.0-375 | 110.80 | ไม่เกิน 30 |
| 6. โคลิฟอร์มรวม (MPN/100 ml) | $4.6x10^3$-$1.1x10^9$ | $1.5x10^8$ | น้อยกว่า 5,000 MPN/100 ml |
| 7. ฟีคัลโคลิฟอร์ม (MPN/100 ml) | $9.3x10^2$-$1.1x10^9$ | $1.2x10^8$ | น้อยกว่า 1,000 MPN/100 ml |

* หมายถึง ลำดับที่ 1 ถึง 5 เป็นมาตรฐานน้ำทิ้ง ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด (10 มกราคม 2537) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537
ลำดับที่ 6 ถึง 7 เป็นมาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในแหล่งน้ำผิวดิน ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียของโรงพยาบาลโดยทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจากตารางที่ 2.1 พบว่าค่าเฉลี่ยพีเอช คือ 7.34 ค่าเฉลี่ยตะกอนหนัก คือ 60.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย บีโอดี คือ 282 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็น คือ 18.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยสารแขวนลอย คือ 110.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยโคลิฟอร์มทั้งหมด คือ$1.5x10^8$ MPN/100 ml ค่าเฉลี่ยฟีคัลโคริฟอร์ม คือ $1.2x10^8$ MPN/100 ml โดยเฉพาะในการศึกษานี้ เน้นเฉพาะในส่วนของการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งมีค่าโคริฟอร์มทั้งหมด ค่ามาตรฐานน้อยกว่า 5,000 MPN/100 ml และมีค่าฟีคัลโคริฟอร์ม ค่ามาตรฐานน้อยกว่า 1,000 MPN/100 ml

## 2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมผู้ป่วย ด้วยโรคนานาชนิด จัดว่าเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรค และอาจเกิดการแพร่พันธุ์ต่อไปได้ ถ้าขาดการสุขาภิบาลที่ดี ดังนั้น กระทรวงสาธารณสุขได้จัดให้มี ระบบบำบัดน้ำเสีย ในโรงพยาบาลเป็นแห่งแรก ในปี พ.ศ.2516 กระทรวงสาธารณสุขคาดว่าจะจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียครบร้อยละ 100 ในปี 2541 หน่วยงานที่สำคัญในการดำเนินการ ให้มีระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล ของกระทรวงสาธารณสุข ได้แก่ กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย โดยดำเนินการแต่งตั้ง สำรวจ ออกแบบ ควบคุมการก่อสร้าง ดูแลประสิทธิภาพ รวมทั้งให้คำชี้แนะแก้ไขแก่โรงพยาบาล รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล ของกระทรวงสาธารณสุข สามารถแบ่งออกได้ 6 แบบได้แก่ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

### 2.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) และหากมีบ่อหลายบ่อต่อเนื่องกัน บ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) ดังนั้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง ก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม บ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละบ่อดังนี้

2.3.1.1 บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) บ่อแอนแอโรบิคเป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่ต้องการออกซิเจน บ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อ จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายต่อไปยังบ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) เพื่อบำบัดต่อไป

2.3.1.2 บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแฟคคัลเททีฟเป็นบ่อที่นิยมใช้กันมากที่สุด ภายในบ่อมีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิค ได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำและจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิค บ่อแฟคคัลเททีฟนี้โดยปกติแล้วจะรับน้ำเสียจากที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อน กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคคัลเททีฟ เรียกว่า การทำความสะอาดตัวเอง (Self-Purification) สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เพื่อเป็นอาหารและสำหรับการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่อยู่ในบ่อส่วนบน สำหรับบ่อส่วนล่าง

จนถึงก้นบ่อซึ่งแสงแดดส่องไม่ถึง จะมีปริมาณออกซิเจนต่ำ จนเกิดสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Condition) และมีจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซเช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิค แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น

2.3.1.3 บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) บ่อแอโรบิคเป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและ สาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนักเพื่อให้ออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อ และมีสภาพเป็นแอโรบิคตลอดความลึก บ่อแอโรบิคอาศัยออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้า และยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ส่วนหนึ่งโดยอาศัยแสงแดดด้วย

2.3.1.4 บ่อบ่ม (Maturation Pond) บ่อบ่มมีสภาพเป็นแอโรบิคตลอดทั้งบ่อ จึงมีความลึกไม่มากและแสงแดดส่องถึงก้นบ่อใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อฟอกน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้น อาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

**2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL)**

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าเพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยปกติจะออกแบบให้บ่อมีความลึกประมาณ 2-6 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention Time) ภายในบ่อเติมอากาศประมาณ 3-10 วัน และเครื่องเติมอากาศจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพ สามารถทำให้เกิดการผสมกันของตะกอนจุลินทรีย์ ออกซิเจนละลายในน้ำ และน้ำเสีย นอกจากนี้จะต้องมีบ่อบ่ม (Polishing Pond หรือ Maturation Pond) รับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้จะต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในบ่อบ่มและระยะเวลาเก็บกักให้เหมาะสมไม่นานเกินไป เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณของสาหร่าย (Algae) ในบ่อบ่มมากเกินไป (นิรุติ คูณผล, 2539)

**2.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)**

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภทได้แก่ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ และแบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) ซึ่งจะมีชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองท้ายบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ท้ายบึง และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำหรือชั้นหิน และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้จะได้รับออกซิเจนจากการแทรกซึมของอากาศผ่านผิวน้ำหรือชั้นหินลงมา ออกซิเจนบางส่วนจะได้จากการสังเคราะห์แสงแต่มีปริมาณไม่มากนัก สำหรับสารแขวนลอยจะถูกกรองและจมตัวอยู่ในช่วงต้น ๆ ของระบบ การลดปริมาณไนโตรเจนจะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดิไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดที่ชั้นดินส่วนพื้นบ่อ และพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถกำจัดโลหะหนัก (Heavy Metal) ได้บางส่วนอีกด้วย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

2.3.3.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) เป็นแบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจากบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) แล้ว ลักษณะของระบบแบบนี้จะเป็นบ่อดินที่มีการบดอัดดินให้แน่นหรือปูพื้นด้วยแผ่น HDPE ให้ได้ระดับเพื่อให้น้ำเสียไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน บ่อดินจะมีความลึกแตกต่างกันเพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์โครงสร้างของระบบแบ่งเป็น 3 ส่วน (อาจเป็นบ่อเดียวกันหรือหลายบ่อขึ้นกับการออกแบบ) คือ

1) ส่วนแรก เป็นส่วนที่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ เช่น กก แฝก ธูปฤาษี เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วน เป็นการลดสารแขวนลอยและค่าบีโอดีได้ส่วนหนึ่ง

2) ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว รวมทั้งพืชขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน เป็นต้น พื้นที่ส่วนที่สองนี้จะไม่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำเหมือนในส่วนแรกและส่วนที่สาม น้ำในส่วนนี้จึงมีการสัมผัสอากาศและแสงแดดทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ด้วย

3) ส่วนที่สาม มีการปลูกพืชในลักษณะเดียวกับส่วนแรก เพื่อช่วยกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ และทำให้เกิดสภาพดิไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งสามารถลดสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนได้

2.3.3.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ จะมีข้อดีกว่าแบบ Free Water Surface Wetland คือ เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ และป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคมาปนเปื้อนกับคนได้ ในบางประเทศใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้ง จากระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) และระบบอาร์บีซี (RBC) หรือ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ ระบายออกจากอาคารดักน้ำเสีย (CSO) เป็นต้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2545) สำคัญในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ คือ

พืชที่ปลูกในระบบ จะมีหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย และยังทำหน้าที่สนับสนุนให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

ตัวกลาง (Media) จะมีหน้าที่สำคัญคือ

1) เป็นที่สำหรับให้รากของพืชที่ปลูกในระบบยึดเกาะ

2) ช่วยให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบและช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก

3) เป็นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ

4) สำหรับใช้กรองสารแขวนลอยต่าง ๆ

**2.3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process)**

เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่างๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ในปัจจุบัน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix)

กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไป จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ออกแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิค จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) แบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

2.3.4.1 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge: CMAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถัง ระบบแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึง และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง (Uniform Population)

2.3.4.2 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัส (Contact Tank) และถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) โดยตะกอนที่สูบมาจากก้นถังตกตะกอนขั้นสองจะถูกส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย จากนั้นตะกอนจะถูกส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในถังสัมผัสนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่ น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส โดยน้ำใสส่วนบนจะถูกระบายออกจากระบบ และตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลาย และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไป

2.3.4.3 ระบบคลองเวียนวน (Oxidation Ditch; OD) ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติม

อากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน (NO32-) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N2) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrosomonas Spp. และ Nitrobactor Spp.) ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้

2.3.4.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ลักษณะสำคัญของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ เป็นระบบแอกทิเวเต็ดจ์สลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับ ดังนี้

1) ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ
2) ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (BOD)
3) วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา
4) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด
5) ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

**2.3.5 ระบบบำบัดน้ำเสียคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)**

เป็นระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ประเภทหนึ่ง ที่ใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน ก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน การทำงานของระบบคลองวนเวียนจะเหมือนกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไป คือ อาศัยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด โดยจุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว เป็นต้น ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นสภาวะแอโรบิค โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นจึงแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านบำบัดแล้ว โดยวิธีการตกตะกอนในถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อให้ได้น้ำใส (Supernatant) อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน ซึ่งมีคุณภาพน้ำดีขึ้น และสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบคลองวนเวียนจะมีลักษณะแตกต่างจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น คือ ถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี ทำให้ระบบคลองวนเวียนจึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น โดยรูปแบบของถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และการกวนจะใช้เครื่องกลเติมอากาศซึ่งตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) จากลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวทำให้

สภาวะในถังเติมอากาศแตกต่างไปจากระบบแอคติเวเต็ดจ์สลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) โดยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่าเขตแอนือกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งจะมีระยะเวลาไม่ช่วงนี้ไม่เกิน 10 นาที การที่ถังเติมอากาศมีสภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ขึ้นในถังเดียวกัน ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีขึ้นด้วย

**2.3.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor: RBC)**

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด ตัวกลางทรงกระบอกนี้จะหมุนอย่างช้า ๆ เมื่อหมุนขึ้นพ้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่อาศัยติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสติดตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลา กลไกการทำงานของระบบในการบำบัดน้ำเสียอาศัยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจำนวนมากที่ยึดเกาะติดบนแผ่นจานหมุนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการหมุนแผ่นจานผ่านน้ำเสีย ซึ่งเมื่อแผ่นจานหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศก็จะพาเอาฟิล์มน้ำเสียขึ้นสู่อากาศด้วย ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนจากอากาศ เพื่อใช้ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เหล่านั้นให้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ ต่อจากนั้นแผ่นจานจะหมุนลงไปสัมผัสกับน้ำเสียในถังปฏิกิริยาอีกครั้ง ทำให้ออกซิเจนส่วนที่เหลือผสมกับน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียอีกส่วนหนึ่ง สลับกันเช่นนี้ตลอดไปเป็นวัฏจักร แต่เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ยึดเกาะแผ่นจานหมุนหนามากขึ้น จะทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน หลุดลอกจากแผ่นจานเนื่องจากแรงเฉือนของการหมุน ซึ่งจะรักษาความหนาของแผ่นฟิล์มให้ค่อนข้างคงที่โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยที่ไหลออกจากถังปฏิกิริยานี้ จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้น

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกรูปแบบหนึ่งของระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ซึ่งองค์ประกอบหลักของระบบประกอบด้วย 1) ถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกของแข็งที่มากับน้ำเสีย 2) ถังปฏิกิริยา ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และ 3) ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยในส่วนของถังปฏิกิริยาประกอบด้วย แผ่นจานพลาสติกจำนวนมากที่ทำจาก polyethylene (PE) หรือ high density polyethylene (HDPE) วางเรียงขนานซ้อนกัน โดยติดตั้งฉากกับเพลา

แนวนอนตรงจุดศูนย์กลางแผ่น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะยึดเกาะติดบนแผ่นจานนี้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 1-4 มิลลิเมตร หรือที่เรียกระบบนี้อีกอย่างว่าเป็นระบบ fixed film ทั้งนี้ชุดแผ่นจานหมุนทั้งหมดวางติดตั้งในถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ระดับของเพลาจะอยู่เหนือผิวน้ำเล็กน้อย ทำให้พื้นที่ผิวของแผ่นจานจมอยู่ในน้ำประมาณร้อยละ 35 - 40 ของพื้นที่แผ่นทั้งหมด และในการหมุนของแผ่นจานหมุนชีวภาพอาศัยชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลาและเฟืองทดรอบเพื่อหมุนแผ่นจานในอัตราประมาณ 1-3 รอบต่อนาที

## 2.4 สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งโรงพยาบาล

เนื่องจากโรงพยาบาลเป็นสถานที่รับผู้ป่วยที่ติดเชื้อ จากที่ต่างๆ เพื่อรับการรักษา ดังนั้นการใช้สารเคมีในการทำความสะอาด ฆ่าเชื้อโรคตามสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ทางการแพทย์และอื่นๆ จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อป้องกันมิให้ทั้งผู้ป่วย หรือผู้ปฏิบัติงานเกิดการติดเชื้อได้ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ Isopropyl alcohol, Sodium Hypochlorite (chlorine), Iodine, Phenolics, Quaternary ammonium compounds, Glutaraldehyde, Formaldehyde แต่ในส่วนของสารเคมีที่ใช้สำหรับการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งโรงพยาบาลที่นิยมใช้กันมาก คือ คลอรีน เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย ประสิทธิภาพดี ควบคุมระบบง่าย คงตัวอยู่ในน้ำได้นาน และโอโซน ซึ่งในปัจจุบันก็มีการนำก๊าซโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยเช่นกัน เพราะโอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่ดี และมีอำนาจรุนแรงกว่าคลอรีน มีประสิทธิภาพทำลายกลิ่น สี รส และไวรัสที่อยู่ในน้ำ (มีอำนาจทำลายไวรัสได้ดีกว่าคลอรีน) ซึ่งผลของปฏิกิริยาในที่ก๊าซโอโซนทำลายสารอินทรีย์จะไม่เพิ่มสี กลิ่น และรสในน้ำ โอโซนที่เหลือจากปฏิกิริยาจะจางหายอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบันคลอรีนก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันตามโรงพยาบาลโดยทั่วไป เหตุเพราะราคาถูก หาง่าย การใช้งานไม่ยุ่งยาก ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมของคลอรีนจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2.5 สารประกอบคลอรีน

คลอรีน (Chlorine) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคลอรีนสามารถทำลายเชื้อโรคได้มากกว่าร้อยละ 99 รวมทั้ง อี.โคไล *(E.coli)* และเชื้อไวรัส นอกจากนี้คลอรีนสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ในชั่วระยะเวลาหนึ่งที่ทำการเติมคลอรีนลงไปแล้ว ยังให้ผลในระยะยาวอีกด้วย โดยคลอรีนที่เติมลงไปจะละลายน้ำอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ (Residual Chlorine) ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาในภายหลัง

**2.5.1 คุณสมบัติของคลอรีน**

คลอรีนสามารถดำรงอยู่ในสภาพของเหลวและแก๊ส โดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะแทบทุกชนิดเมื่อมีความชื้นอยู่ด้วย คลอรีนเป็นสารที่ไม่ก่อการระเบิดและติดไฟด้วยตนเอง คลอรีนที่อุณหภูมิและความดันปกติ จะมีสภาพเป็นแก๊สสีเขียวตองอ่อน กลิ่นฉุน ถ้าปะปนอยู่ในอากาศจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ก๊าซคลอรีนจะหนักกว่าอากาศ 2.5 เท่า ฉะนั้นเมื่อเกิดการรั่วคลอรีนจะแผ่คลุมบริเวณพื้นผิวดินหรือบนพื้นน้ำ และบริเวณที่ต่ำๆ ก๊าซคลอรีนจะละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย คลอรีนเหลวมีสีอำพัน หนักกว่าน้ำประมาณ 1.5 เท่า ที่ความดันปกติ จะมีจุดเดือด 34 องศาเซลเซียส เมื่อกลายสภาพเป็นแก๊สจะขยายตัวถึงประมาณ 460 เท่า ดังนั้นถ้าเกิดการรั่วควรแก้ไขไม่ให้เกิดการรั่วในสภาพเป็นของเหลวคลอรีนเหลวและก๊าซคลอรีนที่แห้งจะไม่กัดกร่อนโลหะธรรมดา เช่น เหล็ก ทองแดง เหล็กไร้สนิท ตะกั่ว แต่โลหะดังกล่าวจะถูกกัดกร่อนอย่างรุนแรงถ้าสัมผัสกับคลอรีนที่มีความชื้น ดังนั้น อุปกรณ์ที่ใช้งานเกี่ยวกับคลอรีนเหลว ควรปิดให้สนิทเมื่อเลิกใช้งานแล้ว เพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้เกิดอันตรายได้

คลอรีนที่อยู่ในภาชนะบรรจุเป็นคลอรีนแห้ง (มีความชื้นน้อยกว่า 150 ส่วนในล้านส่วน) จะมีสภาพเป็นของเหลวอยู่ภายใต้ความดันสูง ความดันนี้เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยความดันจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ เพราะส่วนที่เป็นของเหลวจะขยายตัวเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊ส ดังเช่นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดันของก๊าซคลอรีนในภาชนะเหล็กจะเท่ากับ 10 เท่าของความดันอากาศ ถ้าอุณหภูมิขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สภายในจะเท่ากับ 20 เท่าของความกดดันของอากาศ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อภาชนะบรรจุ ดังนั้น จึงควรเก็บภาชนะบรรจุคลอรีนในที่ร่มและมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

**5.5.2 ชนิดของคลอรีน**

คลอรีน คือ สารที่นิยมใช้กันมากในการทำลายเชื้อโรคในน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคได้สูงและราคาไม่สู้จะแพงนัก สีเป็นสีขาว ไม่เป็นที่รังเกียจ ยกเว้นแต่จะมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย สารคลอรีนโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือชนิดก๊าซและชนิดผง

2.5.2.1 ชนิดก๊าซคลอรีน มีสีเหลืองแกมเขียว มีความหนาแน่นประมาณ 2.5 เท่าของอากาศ และเมื่อเป็นของเหลว (คลอรีนเหลวร้อยละ 99) จะมีสีเหลืองอำพัน มีความหนาแน่นเป็น 1.44 เท่าของน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดและเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ เยื่อบุจมูก และผิวหนัง ซึ่งผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับก๊าซคลอรีนที่จะเริ่มเห็นได้ชัดเจน คือที่ความเข้มข้นประมาณ 5 พีพีเอ็ม ขึ้นไป และที่ความเข้มข้น 5-10 พีพีเอ็ม จะทำให้การหายใจติดขัด น้ำตาไหล ระคายเคืองผิวหนัง ระคายเคืองปอด และเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น หากได้รับก๊าซคลอรีนในปริมาณ 1,000 พีพีเอ็ม จะทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ความ

ระมัดระวัง และต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและควบคุมการทำงาน คลอรีนไม่ไหม้ไฟแต่ช่วยในการสันดาปเหมือนออกซิเจน และพบว่าก๊าซคลอรีนทำปฏิกิริยารุนแรงกับไขมัน แอมโมเนียเทอร์เพนไทน์ และไฮโดรคาร์บอน ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน(Corrosive)เมื่อแห้ง

2.5.2.2 ชนิดคลอรีนผง หรือที่รู้จักกันในนามของ "ผงปูนคลอรีน" มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด คือ

1) แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium hypochlorite) เป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดีมีสูตรทางเคมี คือ ($CaCl_2O_2$) มักจะผลิตให้มีความเข้มข้นระหว่าง 60-70% โดยน้ำหนัก คลอรีนผงชนิดนี้หาได้ง่าย ราคาไม่แพง ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงอย่างรุนแรง ไม่ทำให้เสียรสชาติ ฆ่าเชื้อโรคในเวลาไม่นานเกินไป และยังคงมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคต่อไปได้อีกสะดวกต่อการใช้งาน และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพได้ง่าย ดังนั้น จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด

2) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) เป็นสารละลายใส สีเหลืองอมเขียวมีสูตรทางเคมี คือ NaOCl ความเข้มข้นประมาณ 16% โดยน้ำหนัก มีความเสถียรน้อยกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ทำให้เสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว จึงควรเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิไม่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อชะลออัตราการเสื่อมคุณภาพและอายุในการเก็บไม่ควรเกิน 60-90 วัน สำหรับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เมื่ออยู่ในสภาวะ pH ต่ำ จะระเหยเป็นหมอกคลอรีนสามารถระเบิดได้

3) ปูนคลอไรด์ (Chlorinated Lime or Chloride of Lime or Bleaching Powder) หรือบางทีเรียกว่า "ผงฟอกสี" มีสูตรทางเคมี คือ $CaCl_2O_2$ ผลิตได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอรีนและปูนขาว มีความเข้มข้นประมาณ 35% โดยน้ำหนัก

**2.5.3 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีน**

การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังนี้

2.5.3.1 ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (Free chlorine residual) ความเข้มข้นและปริมาณของคลอรีนที่เติมลงในน้ำไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อโรค หากแต่เป็นปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงระยะเวลาสัมผัสอันหนึ่งแต่การเติมคลอรีนน้อยเกินไป จะไม่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระขึ้นและอาจจะทำลายเชื้อโรคในน้ำได้ไม่ทั้งหมด แต่การเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้น้ำมีกลิ่นฉุนของคลอรีนและทำให้รสชาติของน้ำเสียไปด้วย ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองคลอรีนโดยใช่เหตุ นอกจากนี้ คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหายได้ ดังนั้น ในการเติมคลอรีนจึงต้องเติมในปริมาณที่พอเหมาะ คือ สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด รวมทั้งก่อให้เกิดคลอรีนอิสระที่แนะนำ คือระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัม

ต่อลิตร (0.2-0.5 พีพีเอ็ม ณ เวลาสัมผัส 30 นาที) กล่าวคือภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของคลอรีนกับการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.5.3.2 ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรค (Duration of contact) ทั้งนี้โดยเริ่มตั้งแต่เวลาที่เติมสารละลายผงปูนคลอรีนลงไปในน้ำจนถึงเวลาที่ผู้ใช้เริ่มใช้น้ำเป็นรายแรกไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที หรือถ้านานกว่านั้นการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายผงปูนคลอรีนก็จะมีมากขึ้นด้วยและทำให้กลิ่นลดลง ซึ่งระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.5.3.3 อุณหภูมิ (Temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงคลอรีนจะลดลง แต่ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของผงปูนคลอรีนจะดีขึ้น

2.5.3.4 ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) อนุภาคความขุ่นในน้ำอาจเป็นเกราะกำบังให้เชื้อโรค ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสและฆ่าเชื้อโรคได้ ดังนั้น ถ้าต้องการให้คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีจึงต้องทำให้น้ำมีความใสสูง คือ ต้องมีความขุ่นน้อยกว่า 10 NTU (Nephelometric Turbidity Units) โดยการเติมสารส้ม เพื่อให้อนุภาคของความขุ่นจับตัวรวมกันตกตะกอนและผ่านถังกรอง

2.5.3.5 สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) มีผลต่อการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน เนื่องจากคลอรีนจะแตกตัวเป็นไฮโปคลอรัส (Hypochlorus : HOCl ) ซึ่งมีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย หาก pH สูงกว่า 7.5 จะทำให้เกิด $OCl^-$ มากขึ้น ซึ่ง $OCl^-$ นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคด้อยกว่า HOCl จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองคลอรีนมากขึ้น และหากค่า pH สูงถึง 9.5 จะเกิด $OCl^-$ ถึง 100 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของคลอรีนกับการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ (สำนักงานสาธารณสุข 2549)

| เชื้อโรค | สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) | เวลา (นาที) |
|---|---|---|
| แบคทีเรีย | 100 | 10 |
| เชื้อวัณโรค | 125 | 3-10 |
| เชื้อรา | 100 | 60 |
| เชื้อไวรัสตับอักเสบบี | 500 | 10 |
| เชื้อ HIV | 50 | 10 |
| สปอร์ของแบคทีเรีย | ทำลายไม่ได้ | |

**2.5.4 ข้อดี ข้อด้อยของการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค**

ข้อดีของการใช้คลอรีน

2.5.4.1 เป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย

2.5.4.2 ราคาไม่แพง

2.5.4.3 ละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิปกติ

2.5.4.4 ไม่ทำให้น้ำเสียรสชาติ

2.5.4.5 ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงอย่างรุนแรง

2.5.4.6 ฆ่าเชื้อโรคในเวลาไม่นานเกินไปและมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคในน้ำต่อไปได้อีก

2.5.4.7 สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพได้

ข้อด้อยของการใช้คลอรีน ทำปฏิกิริยากับกลุ่มของกรดอินทรีย์ (Organic acid) คือ กรดฮิวมิค (Humic acid) เกิดไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes : THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา จึงกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของไตรฮาโลมีเทน (THMs) ไว้ที่ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm.) ในน้ำดื่ม ขณะที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organizasion : WHO) กำหนดความเข้มข้นของไตรฮาโลมีเทน (THMs) ที่ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่จากการศึกษาเปรียบเทียบขององค์การอนามัยโลก (WHO) เกี่ยวกับความเสี่ยงจากอันตรายของการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ การก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน (THMs) และอันตรายที่เกิดจากโรคระบบทางเดินอาหารที่มีน้ำเป็นสื่อที่มีผลต่อสุขภาพ พบว่า อันตรายจากการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำและการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนเป็นส่วนเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการเกิดโรคของระบบทางเดินอาหารที่มีน้ำเป็นสื่อ

### 2.5.5 การเตรียมสารละลายคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค

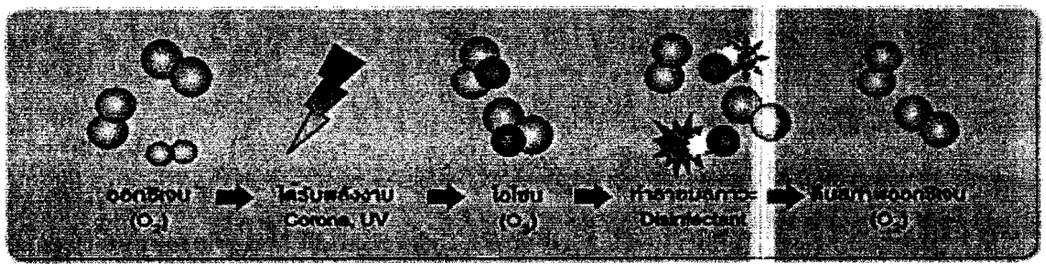
การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำนั้น จะต้องระลึกเสมอว่า เมื่อเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว คลอรีนจะต้องสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้หมด ขณะเดียวกันต้องมีคลอรีนอิสระอยู่ในน้ำด้วย ซึ่งปริมาณของคลอรีนอิสระ จะต้องมีอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในกรณีที่มีการระบาดของโรคระบบทางเดินอาหารที่มีน้ำเป็นสื่อ เช่นโรคอุจจาระร่วงอย่างรุนแรง โรคบิด ฯลฯ ต้องเพิ่มปริมาณคลอรีนอิสระเป็นประมาณ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในภายหลัง ดังนั้น ในการเติมคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรคในน้ำต้องเติมสารละลายคลอรีนให้มีปริมาณคลอรีนสูงกว่าจำนวนที่จะให้เกิดเป็นคลอรีนอิสระเสมอ สำหรับการเตรียมสารละลายคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในครัวเรือน มักใช้คลอรีนผง ความเข้มข้น 60% การใช้งานต้องนำมาละลายน้ำ แล้วนำส่วนที่เป็นน้ำใสผสมน้ำตามอัตราส่วนและวัตถุประสงค์ในการใช้ เช่น ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่ม-น้ำใช้ ใช้ล้างผักสด ผลไม้ อาหารทะเล ภาชนะอุปกรณ์ และอาคารสถานที่ต่างๆ และอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมในการฆ่าเชื้อโรคจากน้ำทิ้งโรงพยาบาลก็คือ การเติมโอโซน เพราะโอโซนเป็นตัวออกซิแดนซ์ (oxidant) ที่ดีมากแตกตัวง่ายและเร็ว จึงทำให้ไม่พบโอโซนในแหล่งรับน้ำทิ้ง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2548)

## 2.6 โอโซน

โอโซน เป็นก๊าซธรรมชาติที่ปราศจากสีและ มีพลังงาน ในการทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นสูง โดยไม่เหลือสารพิษตกค้างใดๆนอกจากออกซิเจน โอโซนยังมีฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรีย รา และไวรัส ได้ดีที่สุด และรวดเร็วที่สุด โดยเร็วกว่า คลอรีนสูงสุด ถึง 5,000 เท่า

### 2.6.1 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซน($O_3$) คือ ก๊าซสีน้ำเงินที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งก๊าซชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะสลายตัวเองกลายเป็นก๊าซออกซิเจน ($O_2$) ได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ทำให้ไม่สามารถผลิตโอโซนให้มีความหนาแน่นสูงๆและเก็บไว้ได้นานๆ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการผลิตโอโซน ณ แหล่งที่จะใช้งานนั้นเลย ก๊าซชนิดนี้เป็นก๊าซที่ไม่ค่อยเสถียร (unstable gas) ณ อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย คือ เป็นตัวออกซิไดเซอร์ที่แรงมาก ดังนั้น โอโซนจะเติมออกซิไดซ์หรือเติมออกซิเจนให้กับสารประกอบทางเคมีชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย ซึ่งปฏิกิริยาการการออกซิเดชั่น จะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เป็นของเหลว คุณสมบัติพิเศษนี้เอง จึงทำให้นิยมนำไปใช้บำบัดน้ำเสีย โดยสารประกอบทางเคมีที่ไม่พึงต้องการจะถูกเติมออกซิเจน และสามารถกำจัดออกไปได้จนเกือบหมด




**ภาพที่ 2.1** กระบวนการเกิดโอโซน (บริษัท โปรเฟสชันแนล โอไนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ; OZONE inter The Expert Ozone)

**2.6.2 วิธีการเกิดก๊าซโอโซน**

วิธีการเกิดก๊าซโอโซน ก็มีการเกิดได้ 3 วิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6.2.1 ในธรรมชาติก๊าซโอโซนเกิดจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศ หรือฟ้าผ่า ฟ้าแลบ และแสงจากดวงอาทิตย์ ที่มีรังสีอัลตราไวเลตเปลี่ยนโครงสร้างของออกซิเจนจาก $O_2$ ให้เป็น $O_3$ กระบวนการเกิดโอโซนดังแสดงภาพที่ 2.1

2.6.2.2 การใช้รังสีอัลตร้าไวโอเลต หรือหลอด UV วิธีนี้จะสร้างความเข้มข้นของ ก๊าซโอโซน ไม่สูงนัก จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 - 0.10 โดยน้ำหนัก (ช่วงคลื่น 185 นาโนเมตร)

2.6.2.3 การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Corona Discharge) จะสามารถทำความเข้มข้นของก๊าซโอโซนได้สูงถึงร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ในยุโรปและอเมริกา สามารถผลิตได้ถึง 3,000 ปอนด์ต่อวัน (ประมาณ 56 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) (บริษัท โปรเฟสชันแนล โอไนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ; OZONE inter The Expert Ozone)

**2.6.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์โอโซน**

โอโซนถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในการทำน้ำดื่มให้ปราศจากจุลินทรีย์ (Disinfection) นอกจากนี้โอโซนยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ คือ (สุเมธ ชวเดช, 2541)

2.6.3.1 การออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Oxidation of Organic) ดังกล่าวมาแล้ว โอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียร สามารถแตกตัวได้ ได้แรดติคัลต่างๆ ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ต่างๆ การออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยโอโซนอาจสมบูรณ์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างสารเคมีของสารอินทรีย์นั้นๆ ตัวอย่างเช่น โอโซนสามารถออกซิไดซ์ฟีนอล (Phenol) ได้อย่างสมบูรณ์ โดยสารฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ อนึ่งสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีโครงสร้างสลับซับซ้อนไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยโอโซน เช่น สารเนพทาลีน (Naphthalene) จะถูกออกซิไดซ์โดยโอโซนได้ Cyclic peroxide, Oxalic acid,

Oxomalonic acid, Formic acid, Orthoiphadiadahyde acid, Phthalaldehydic acid, Hydrogen peroxide, Phathatic acid และ 1,4-Naphaquinone ซึ่งเวลาในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่างๆที่ประสิทธิภาพการกำจัด 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โอโซน คลอรีน และเปอร์แมงกาเนต แสดงดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** เวลาในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่างๆที่ประสิทธิภาพการกำจัด 50 เปอร์เซ็นต โดยใช้โอโซน คลอรีน และเปอร์แมงกาเนต (Lin และ Yeh,1993)

| Compound | Chorine | Permanganate | Ozone |
|---|---|---|---|
| Acetophenone | 26 d | 43 d | 25 min |
| Benzaldehyde | >3.2 d | 36 min | 28 min |
| 1,2Bis(2chloroethoxy)ethane | 8.2 d | >5.8 d | 22 min |
| Bis(2-chloroethyl)ether | >20 d | 67 d | 50 min |
| Borneol | >20 d | 15 d | 21 min |
| Camphor | 1.4 d | 7 d | 53 min |
| p-Dichlorobenzene | >3.2 d | >5.8 d | >12 min |
| p-Nitrophenol | 2.1 h | 1.1 d | 2.0 min |
| Methyl-m-toluate | >20 d | 22 d | 5.5 min |
| p-Tolunitrile | >20 d | 28 d | 6.4 min |
| Diacetone-L-sorbose | 100 d | >14 d | 2.8 min |
| Diaetone-L-xylose | >15 d | >14 d | 2.3 min |
| Toluene | N/A | N/A | 2.8 min |
| Ethylbenzene | N/A | N/A | 2.8 min |

จากตาราง 2.3 แสดงประสิทธิภาพการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยโอโซนเปรียบเทียบกับ คลอรีนและเปอร์แมงกาเนต โดยแสดงเป็นเวลาที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการออกซิไดซ์เมื่อใช้โอโซนสั้นกว่าเมื่อใช้คลอรีนและเปอร์แมงกาเนตอย่างมาก

2.6.3.2 การออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ (Oxidation of Inorganics) โอโซนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำ โดยเปลี่ยนวาเลนซีจากสองเป็นสามสำหรับเหล็ก ซึ่งทำให้เหล็กและแมงกานีสตกตะกอนได้ ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$Fe^{2+} \xrightarrow{O_2} Fe^{3+} \xrightarrow{H_2O} Fe(OH)_3 \qquad (1)$$

$$M^{2+} \xrightarrow{O_3} Mn^{4+} \xrightarrow{O_3} MnO_2 \qquad (2)$$

โอโซนสามารถออกซิไดซ์ไซยาไนด์เป็นไซยาเนต จากนั้นไซยาเนตจะถูกออกซิไดซ์ได้ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ดังสมการ (3) และ (4)

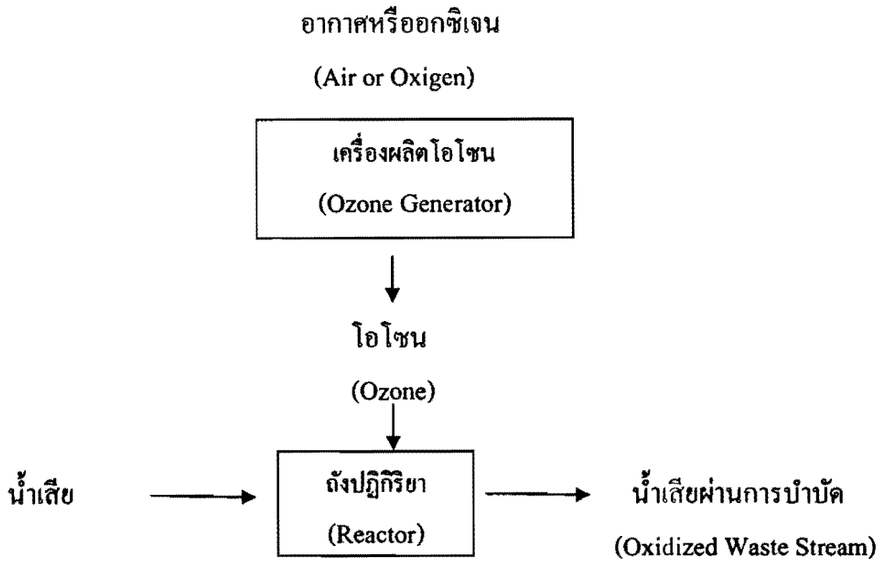
$$CN^- + O_3 \longrightarrow CNO^- + O_2 \qquad (3)$$

$$CNO^- + O_3 \longrightarrow 2CO_2 + N_2 + O_2 \qquad (4)$$

2.6.3.3 การควบคุมสาหร่าย (Agle Control) ปัญหาสาหร่ายมักพบในการใช้น้ำแบบหมุนเวียนในอุตสาหกรรม เช่น น้ำหล่อเย็น การใช้คลอรีนเพื่อทำลายสาหร่ายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตสาหร่าย พบว่า ใช้ไม่ได้ผล ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายมีการปรับตัวกับคุ้นเคยกับคลอรีน การใช้โอโซนจะได้ผลดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิเดนซ์ที่รุนแรงกว่าคลอรีน

2.6.3.4 การกำจัดสี (Colour Removal) สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสี สามารถใช้โอโซนออกซิไดซ์สารอินทรีย์เหล่านี้ ซึ่งจะทำให้สีของน้ำเสียลดต่ำลงโดยโมเลกุลโอโซนจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสี ประสิทธิภาพการกำจัดอาจเพิ่มสูงขึ้น โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Langlais et al., (1991) ได้กล่าวถึงการศึกษาของ Flgstad และ Odegaard ในปี 1985 พบว่าความสามารถในการบำบัดสีโดยการเติมโอโซน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อระยะเวลาการบำบัดยาวนานขึ้น การบำบัดสีที่เหลือเป็นไปได้ยาก ดังแสดงในภาพที่ 2.2




**ภาพที่ 2.2** กระบวนการการเติมโอโซน

### 2.6.4 ปฏิกิริยาสลายตัวของโอโซนในน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร โอโซนจะกลายเป็นออกซิเจน โดยแตกตัวให้เรดิคัลต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl radical ($OH^{\cdot}$), $HO_3$, $HO_4$ และ Super oxide ($O_2$) แรดดิคัลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ (Strong Oxidant) (สุเมธ ชวเดช, 2541)

### 2.6.5 การเติมโอโซน (Ozonation)

ระบบที่ใช้ผลิตโอโซนมีความสำคัญ คือ ใช้จากอากาศหรือใช้จากออกซิเจนบริสุทธิ์โดยใช้ถังสัมผัสที่มีรูปทรงที่ค่อนข้างสูงและปิดมิดชิด นอกจากนี้ควรมีการจ่ายหัวฟู่ ซึ่งควรพ่นโอโซนจากก้นถังให้ลอยขึ้นผิวน้ำ เพื่อให้ได้การกวนที่ดีและการโยกย้ายโอโซนในน้ำที่มีประสิทธิภาพ ถ้าออกแบบหัวฟู่ดีก็จะได้การโยกย้ายโอโซนลงในน้ำได้มากถึงร้อยละ 90 เมื่อโอโซนถูกปล่อยออกจากถังสัมผัสจะต้องบำบัดเสียก่อน เพราะโอโซนจะมีผลให้ระคายเคืองและเป็นพิษ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547) รูปรายละเอียดของการระบบบำบัดด้วยกระบวนการเติมโอโซนแสดงไว้ในภาพที่ 2.2

**2.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งของโรงพยาบาล**

โรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรคจากผู้ป่วย ที่มารับการรักษาพยาบาลน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงพยาบาล จึงมีการปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค หากระบบบำบัดบริการรักษาบำบัดไม่ดี ก็จะมีโอกาส เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาล น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีทั้งปริมาณความเข้มข้น และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค น้ำเสียที่เกิดจากอาคารให้บริการรักษาผู้ป่วยทุกหลังภายในโรงพยาบาล ต้องผ่านกระบวนการบำบัดและใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคก่อนออกสู่คู่/ท่อระบายน้ำสาธารณะนอกโรงพยาบาล ดังนั้น ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด (10 มกราคม 2537) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9 ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537 และตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในแหล่งน้ำผิวดิน ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 จึงต้องมีมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารต่างๆ แบ่งตามขนาดและประเภทของโรงพยาบาลที่กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคารของโรงพยาบาลทางราชการ หรือสถานพยาบาลตามกฎหมาย ดังพารามิเตอร์ต่อไปนี้ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2547)

**2.7.1 บีโอดี$_5$ ($BOD_5$)** คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ไปสำหรับการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้น้ำ ค่า BOD จึงใช้เป็นดัชนีวัดความสกปรกของน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม ชุมชน และใช้กำหนดลักษะน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ตลอดจนใช้หาประสิทธิภาพของโรงงานจำกัดน้ำทิ้ง

**2.7.2 พีเอช (pH)** เป็นดัชนีที่แสดงถึงความเข้มข้นของอนุมูลไฮโดรเจน [$H^+$] ซึ่งสะท้อนถึงสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำส่วนใหญ่จะดำรงชีวิตได้อย่างเป็นปกติเมื่อค่าพีเอชมีค่าในช่วง 6-8

**2.7.3 ค่าของแข็งทั้งหมด (TSS)** หมายถึง ปริมาณของแข็งในน้ำ สามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐาน คำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไป ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ

550 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักน้ำที่ชั่งหลังการกรอง ลบด้วยน้ำหนักหลังจากการเผา น้ำหนักที่ได้คือของแข็งส่วนที่ระเหยไป

**2.7.4 น้ำมันและไขมัน (fat oil and grease, FOG)** หมายถึง ปริมาณน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถถ่ายเทลงสู่น้ำได้ หลักการวิเคราะห์ปริมาณ FOG ในน้ำคือ การสกัดน้ำมันและไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Trichlorotrifluoroethane ทำได้โดยการสกัดโดยวิธี Partition gravimetric method ซึ่งทำการสกัดโดยการใช้กรวยแยก และวิธีสกัดด้วยเครื่องสกัดซอกฮ์เลต (Soxlet extraction apparatus) น้ำมันและไขมันจะละลายอยู่ในตัวทำละลาย นำไประเหยตัวทำละลายแล้วอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือนำไปคำนวณปริมาณ FOG มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อไป

**2.7.5 ของแข็งทั้งหมด (total solid: TS)** คือ ปริมาณของแข็งในน้ำ สามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐาน คำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไป

**2.7.6 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)** หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักน้ำที่ชั่งหลังการกรองลบด้วยน้ำหนักหลังจากการเผา น้ำหนักที่ได้คือ ของแข็งส่วนที่ระเหยไป

**2.7.7 ปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)** หมายถึง ปริมาณรวมทั้งหมดของ ไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย เช่นในปัสสาวะ ซึ่งเป็นปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย ทั้งในรูปของแข็งและสารละลาย ซึ่ง เป็นตัวบ่งบอกสภาพของน้ำเสียอีกตัวหนึ่ง ถ้าน้ำมีค่า TKN มาก น้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น (เหม็นเปรี้ยวเหมือนคมแอมโมเนีย) ซึ่งระบบไร้อากาศหรือระบบก๊าซชีวภาพ ไม่สามารถจะกำจัด TKN ได้ (บางที เพิ่มให้อีกด้วย) การกำจัด TKN ต้องใช้อากาศหรือใช้พืชน้ำ เพราะพืชน้ำใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโต

**2.7.8 ซัลไฟด์ (Sulfide)** ซัลไฟด์ในน้ำเสียส่วนมากจะมาจากปฏิกิริยารีดักชั่นของซัลเฟตโดยจุลชีพในน้ำเสีย ในสภาพที่น้ำเสียมีค่าพีเอชเป็นกรด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) จะหนีออกมาจากน้ำเสียทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนเหมือนก๊าซไข่เน่าจึงเรียกก๊าซนี้ว่าก๊าซไข่เน่า ปริมาณหรือความเข้มข้นต่ำสุดในน้ำที่คนเราสามารถจะได้กลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระเหย

ออกมา อยู่ระหว่าง 0.025-0.25 ไมโครกรัมต่อลิตรโดยที่ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในบรรยากาศที่ต่ำมากถึง 0.3 ส่วนในล้านส่วน ก็สามารถรับรู้ได้ว่าเป็นกลิ่นของก๊าซนี้ ในทางการก่อสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจจะก่อให้เกิดปัญหาได้เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจจะถูกออกซิไดซ์ได้ในทางชีววิทยาไปเป็นกรดซัลฟิวริกได้ถ้าอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อคอนกรีตที่อยู่ในน้ำได้

**2.7.9 โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total coliform bacteria)** คือ ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด การตรวจแบคทีเรียชนิดนี้ในแหล่งน้ำจะแสดงถึงความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร ตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ กำหนดให้แหล่งน้ำที่เหมาะในการผลิตประปา และการเล่นกีฬาทางน้ำ ไม่ควรมีแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดเกินกว่า 5,000 หน่วย (เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร) ในขณะที่แหล่งน้ำที่เหมาะแก่การเกษตรไม่ควรมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดเกินกว่า 20,000 หน่วย

**2.7.10 ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (fecal coliform bacteria)** คือ ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม การตรวจพบแบคทีเรียชนิดนี้ในแหล่งน้ำ จะเป็นการยืนยันเพิ่มขึ้นจากค่าการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ว่าแหล่งน้ำนั้นมีโอกาสปนเปื้อนของเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร ตามมาตรฐานแหล่งน้ำ กำหนดให้แหล่งน้ำที่เหมาะในการผลิตประปาและการเล่นกีฬาทางน้ำไม่ควรมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม ฟีคอลโคลิฟอร์ม เกินกว่า 1,000 หน่วย (เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร) ขณะที่แหล่งน้ำที่เหมาะการเกษตรไม่ควรมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม เกินกว่า 4,000 หน่วย

ซึ่งในการศึกษานี้ เป็นการศึกษาการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ดังนั้น จะเน้นทำการวิเคราะห์โดยเฉพาะพารามิเตอร์ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ จะใช้ข้อมูลทุติยภูมิของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ประกอบการศึกษา

## 2.8 โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางแบคทีเรียในงานสิ่งแวดล้อมที่มักคุ้นเคยกันคือ การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางแบคทีเรียในพารามิเตอร์ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ) และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) ซึ่งโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีความเหมือนและแตกต่างกันดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ว่าน้ำได้รับการปนเปื้อนสิ่งสกปรกหรือเชื้อโรคที่มาจาก

อุจจาระของคน และจากบนพื้นดินหรือบริเวณทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ขณะที่ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถบ่งชี้ว่าน้ำได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก หรือเชื้อโรคจากอุจจาระของคน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นส่วนหนึ่งของโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด เราจึงมักพบว่าในทุกแหล่งน้ำที่ตรวจวัดจะมีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียเสมอ โดยทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียนิยมตรวจวัดด้วยวิธี Multiple tube fermentation หรือ MPN Technique มีหน่วยในการตรวจวัดเป็น MPN/100 มิลลิลิตรของน้ำตัวอย่าง (MPN: Most Probable Number)

กล่าวได้ว่าการพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียในแหล่งน้ำแสดงว่า แหล่งน้ำนั้นมีเชื้อโรคปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้น โดยโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดสามารถบ่งชี้ได้ว่าเชื้อโรคที่ปนเปื้อนมาจากสิ่งแวดล้อมทั่วๆไป เช่น อุจจาระ และบนดิน เป็นต้น ทั้งที่ก่อให้เกิดโรคและไม่ก่อให้เกิดโรค ขณะที่ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถบ่งชี้ได้ว่าเชื้อโรคที่ปนเปื้อนนั้นมาจากอุจจาระของคน ทั้งยังเป็นเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดโรคได้ด้วย หากน้ำผิวดินหรือแหล่งน้ำบริเวณใดตรวจพบฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถบอกได้ว่ามีการระบายน้ำเสียชุมชนสู่แหล่งน้ำนั้น และไม่เหมาะที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำนั้นไปใช้สำหรับอุปโภคบริโภค ยกเว้นได้ทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นแล้ว

**2.8.1 คุณสมบัติทั่วไปของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย**

มีลักษณะรูปร่างเป็นท่อนเล็ก ๆ (rod shape) ไม่มีสปอร์ (non-spore forming) ลักษณะรูปร่างของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และลักษณะรูปร่างของฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แสดงดังภาพที่ 2.3 และภาพที่ 2.4

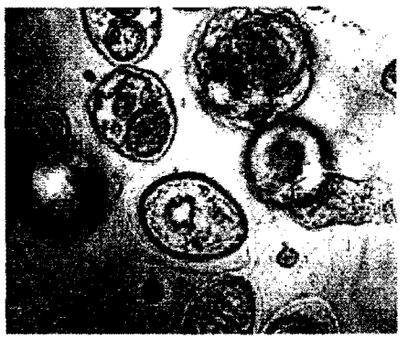
สามารถย้อมสีแกรม สีแกรมไม่ติด เป็นพวกแกรมลบ (gram negative)

สามารถย่อยพวกแล็กโทส (lactose) ให้เกิดกรดและก๊าซ เมื่อเอาไปอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง

สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีอากาศ (aerobic) และไม่มีอากาศ (anaerobic) จึงนับแบคทีเรียพวกนี้เป็นแฟคคัลเตตีฟ (facultative anaerobes)

สามารถทำให้เกิดก๊าซจากอาหารเหลวบริลเลียนกรีนแล็กโทส ไบล์บรอธ (Briliant Green Lactose Bile broth) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 48 ชั่วโมง หรือเร็วกว่านั้น

สามารถเจริญเติบโตในอาหารแข็ง อีเอ็มบี (EMB, Eosine Methylene Blue Agar) ที่ 35 องศาเซลเซียส เซียส ในเวลา 24 ชั่วโมง

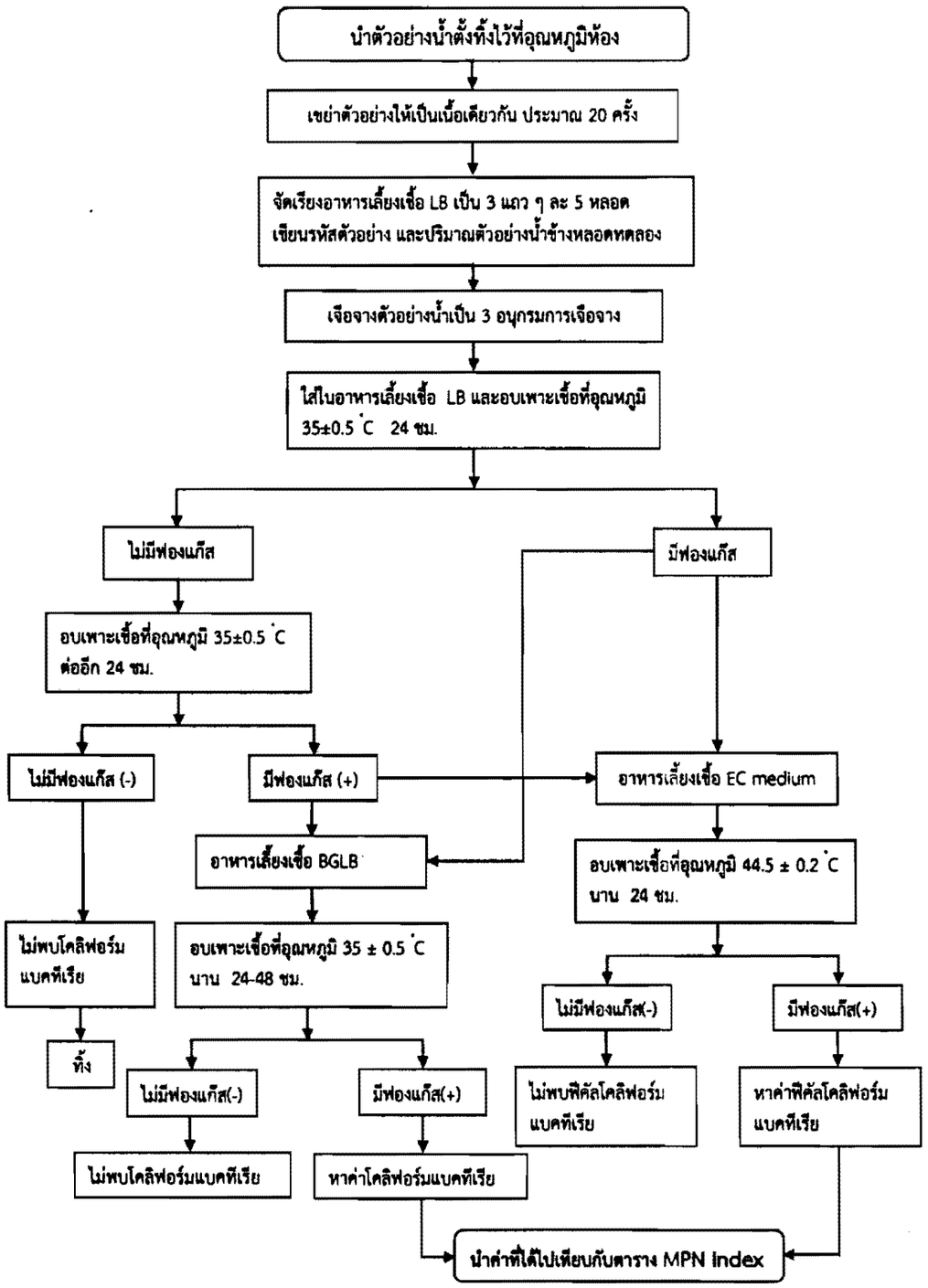


**ภาพที่ 2.3** ลักษณะ Coliform Bacteria (US water systems, 2555)

**ภาพที่ 2.4** ลักษณะ Fecal Coliform Bacteria (Water technology, 2555)

### 2.8.2 หลักการวิเคราะห์

หลักการวิเคราะห์โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สามารถสรุปรายละเอียดขั้นตอนสำคัญต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.5 ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ การเตรียมน้ำสำหรับเจือจาง การทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งมีการทดสอบขั้นแรก (Presumptive test) และการทดสอบขั้นยืนยัน (Confirm test) ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ ดูในภาคผนวก ก




**ภาพที่ 2.5** สรุปขั้นตอนการทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

การเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซน ได้ถูกดำเนินการโดยทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

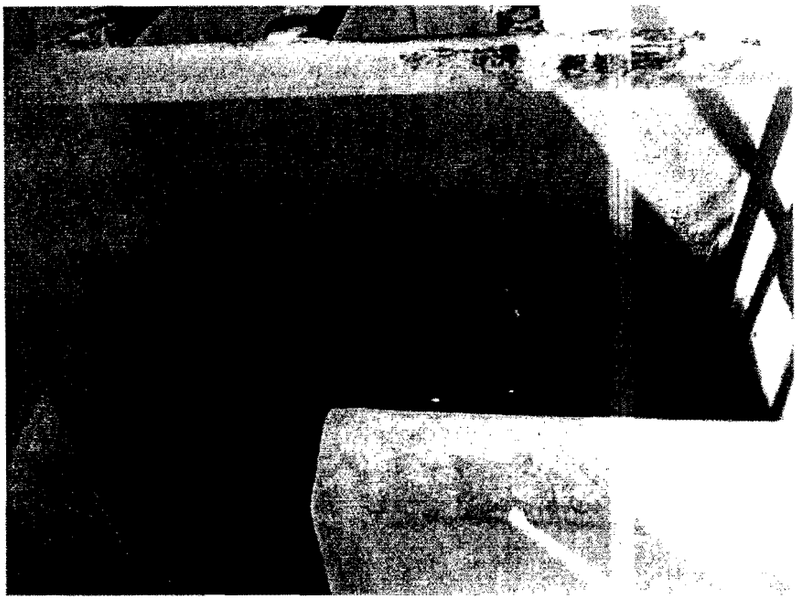
## 3.1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของโรงพยาบาลที่ศึกษา

ข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของโรงพยาบาล ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสียและรายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้นำมาวิเคราะห์ประกอบการศึกษาการเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซนของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งจะมีรายละเอียดในบทต่อไป

## 3.2 จุดเก็บและการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

จุดเก็บน้ำตัวอย่างได้จากน้ำทิ้งของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี โดยเก็บน้ำตัวอย่าง จากจุดปล่อยน้ำทิ้งรวม ในช่วงเวลาราชการ ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2555 ถึง กุมภาพันธ์ 2556 เป็นเวลา 3 เดือน จำนวนทั้งสิ้นอย่างน้อย 2 ครั้ง ปริมาตรประมาณ 100 ลิตรต่อครั้ง ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) จุดเก็บน้ำตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 3.1



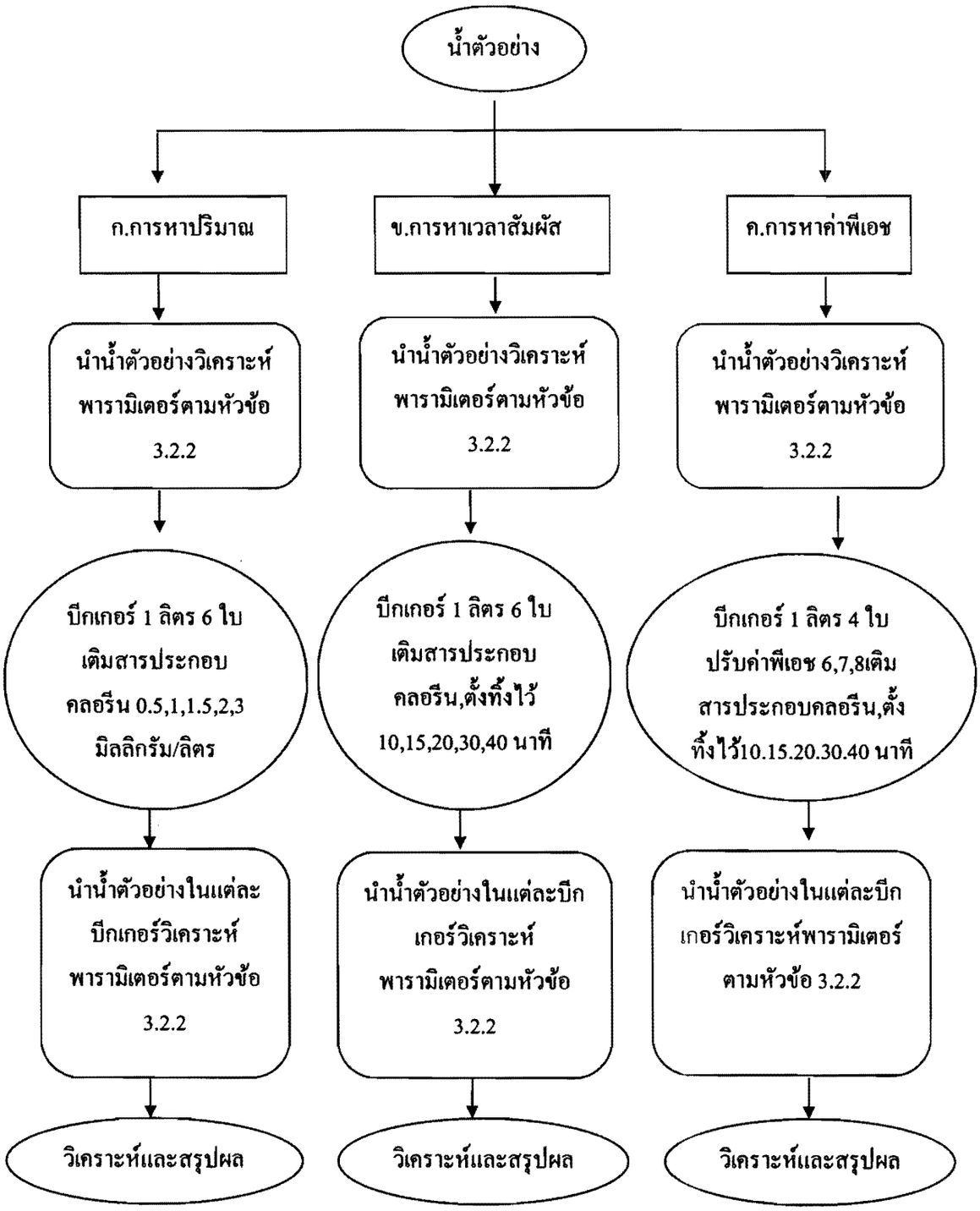
**ภาพที่ 3.1** จุดเก็บตัวอย่างทิ้งของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม

### 3.2.2 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

วิเคราะห์น้ำตัวอย่างจะดำเนินการทันทีภายหลังการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) โดยจะใช้วิธีตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHP และคณะ, 1995) โดยทุกๆ พารามิเตอร์ ทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองฆ่าเชื้อโรค ดังมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

## 3.3 การทดลองฆ่าเชื้อในน้ำทิ้ง โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดช

การทดลองฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซน รายละเอียดและขั้นตอนการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งด้วยสารประกอบคลอรีนและโอโซนสามารถแสดงสรุป ได้ดังภาพที่ 3.2 โดยรายละเอียดปัจจัยที่คำนึงถึง ที่จะมีผลกระทบได้แก่ ปริมาณเวลาสัมผัส และค่าพีเอช โดยในแต่ละสารฆ่าเชื้อจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

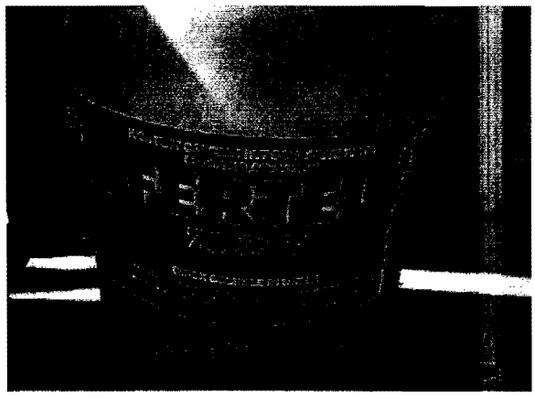



**ภาพที่ 3.2** สรุปแผนการทดลองของการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาล

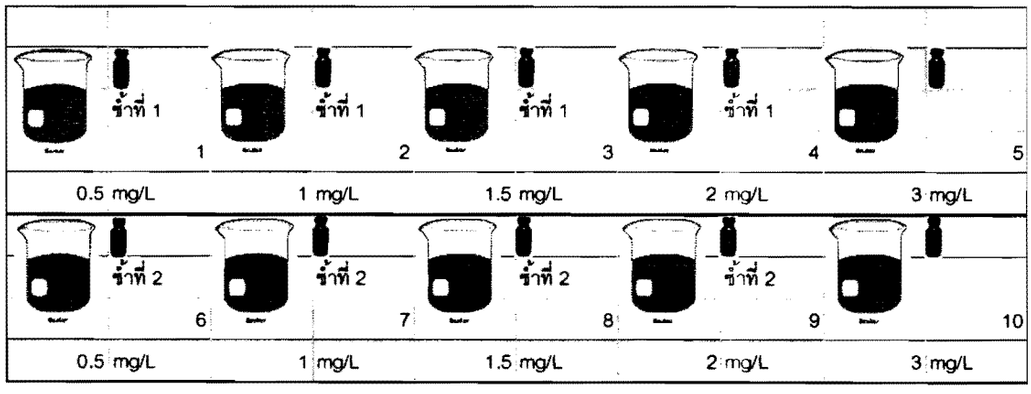
### 3.3.1 สารประกอบคลอรีน

3.3.1.1 การหาปริมาณ

ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 6 อัน นำตัวอย่างน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ๆ ละ 1 ลิตร เติมสารประกอบคลอรีน ดูภาพที่ 3.3 ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 อัน ความเข้มข้นเริ่มต้น 0, 0.5 , 1, 1.5, 2, และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 15 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB ) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ลักษณะรูปแบบการทดลอง การหาปริมาณ แสดงดังภาพที่ 3.4 และตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.5



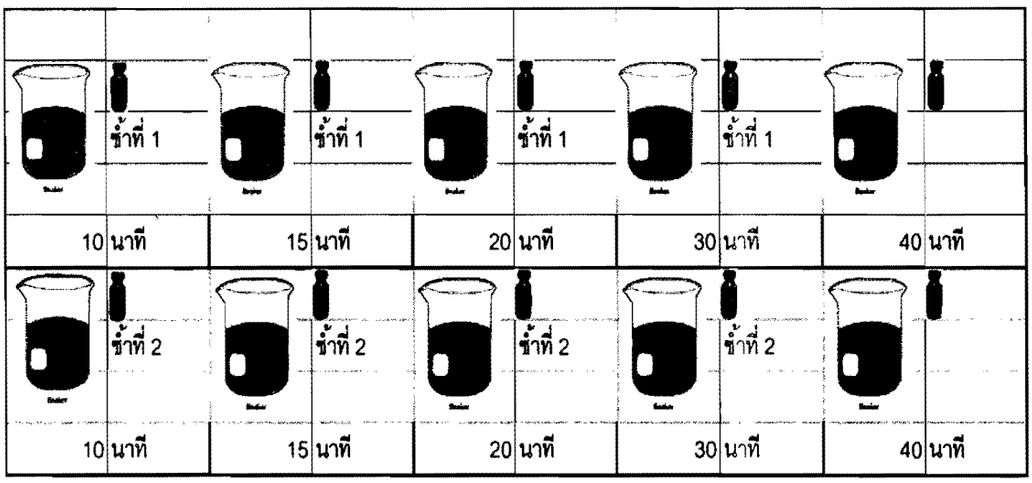
**ภาพที่ 3.3** สารประกอบคลอรีนที่ใช้ในการทดลอง




**ภาพที่ 3.4** ลักษณะรูปแบบการทดลองการหาปริมาณ

3.3.1.2 การหาเวลาสัมผัส

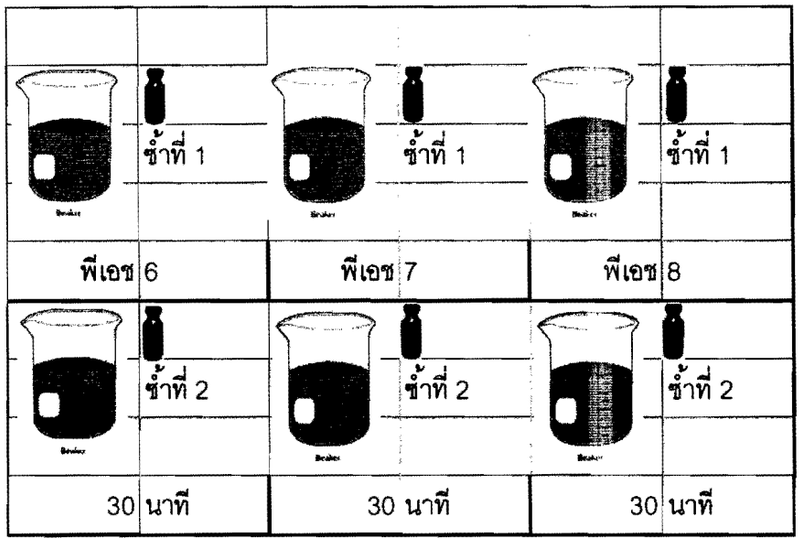
ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 6 อัน นำตัวอย่างน้ำทิ้ง ใส่บีกเกอร์ๆ ละ 1 ลิตร เติมสารประกอบคลอรีนความเข้มข้นได้จากการทดลอง 3.3.1.1 ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบโดยมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ 0, 10, 15, 20, 30, และ 40 นาที ตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ลักษณะรูปแบบการทดลอง การหาเวลาสัมผัส แสดงดังภาพที่ 3.6




**ภาพที่ 3.5** ลักษณะรูปแบบการทดลองหาเวลาสัมผัส

3.3.1.3 การหาค่าพีเอช

ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 4 อัน นำตัวอย่างน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ๆ ละ 1 ลิตร เติมสารประกอบคลอรีนความเข้มข้นได้จากการทดลอง 3.3.1.1 ปรับค่าพีเอชตัวอย่างน้ำทิ้ง 6, 7, และ 8 ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ที่เวลาสัมผัส ได้จากการทดลอง 3.3.1.2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ลักษณะรูปแบบการทดลอง การหาค่าพีเอช แสดงดังภาพที่ 3.7



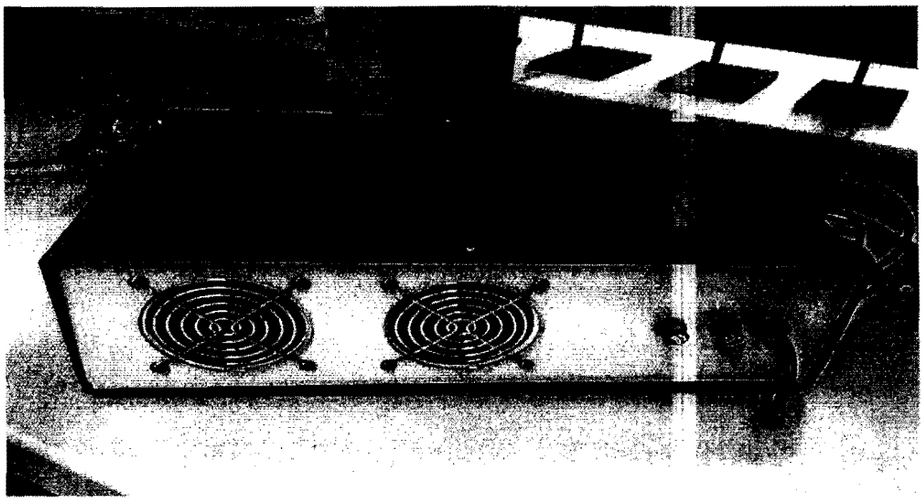

**ภาพที่ 3.6** ลักษณะรูปแบบการทดลองหาค่าพีเอช

### 3.3.2 การใช้โอโซน

3.3.2.1 การหาปริมาณ

ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 6 ใบ นำตัวอย่างน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ละ 1 ลิตร เติมโอโซนโดยเครื่องกำเนิดโอโซน ดูภาพที่ 3.8 ที่เตรียมไว้ เป่าโอโซนในอัตรา 0, 1, 3, 12, 48, และ 100 มิลลิกรัมโอโซน/ลิตร ตามลำดับ บีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ทิ้งไว้ที่เวลา 15 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ซึ่งลักษณะรูปแบบการทดลอง เหมือนกับภาพที่ 3.4 เพียงแต่เปลี่ยนความเข้มข้นเป็น0, 1, 3, 12, 48, และ 100 มิลลิกรัมโอโซน/ลิตร ตามลำดับ เครื่องกำเนิดโอโซนที่ใช้ในการทดลอง กำลังผลิต 800 มิลลิกรัมต่อ ชั่วโมง มีพัดลมระบายความร้อนภายในตัวเครื่อง อยู่ด้านหลังเครื่อง แสดงดังภาพที่ 3.9

**ภาพที่ 3.7** เครื่องกำเนิดโอโซน



**ภาพที่ 3.8** เครื่องกำเนิดโอโซนด้านหลัง

3.3.2.2 การหาเวลาสัมผัส

ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 6 ใบ นำตัวอย่างน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ๆ ละ 1 ลิตร เติมโอโซนโดยเครื่องกำเนิดโอโซนที่เตรียมไว้ เป่าโอโซนในอัตรา ที่ได้จากการทดลอง 3.3.2.1 ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ โดยมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค 10, 15, 20, 30, และ 40 นาที ตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB)

พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ซึ่งลักษณะรูปแบบการทดลอง เหมือนกับภาพที่ 3.5 เพียงแต่เปลี่ยนเวลาสัมผัส เป็น 10, 15, 20, 30, และ 40 นาที ตามลำดับ

3.3.2.3 การหาค่าพีเอช

ใช้บีกเกอร์ ความจุ 1 ลิตร 4 อัน นำตัวอย่างน้ำทิ้งใส่บีกเกอร์ๆ ละ 1 ลิตร ปรับค่าพีเอชตัวอย่างน้ำทิ้ง 6,7,8 ตามลำดับ เวลาสัมผัสที่ได้จากการทดลอง 3.3.2.1 ตั้งทิ้งไว้ที่เวลาสัมผัส ได้จากการทดลอง 3.3.2.2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria: TCB) ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform Bacteria: FCB) พีเอช (pH ) คลอรีนตกค้าง (Chlorine residual) ซึ่งลักษณะรูปแบบการทดลอ เหมือนกับ ภาพที่ 3.6 เพียงแต่เปลี่ยนเวลาสัมผัสที่ได้จากการทดลอง แตกต่างกัน

## 3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย การฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลด้วยการเติมสารประกอบคลอรีนและการเติมโอโซน

นำผลการทดลองในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 มาวิเคราะห์เพื่อทำการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลด้วยการเติมสารประกอบคลอรีนและการเติมโอโซน ซึ่งประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อสามารถคำนวณและวิเคราะห์ ได้จากผลการทดลองในบทถัดไป และนำข้อมูลจากหัวข้อ 3.4 มาทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของการใช้สารประกอบคลอรีนและโอโซน เพื่อนำข้อมูลค่าใช้จ่าย งบประมาณเกี่ยวกับการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ในแต่ละเดือนทั้งค่าสารประกอบคลอรีนค่าถังคลอรีนโดยคำนวณจากข้อมูลการใช้จ่ายของงานพัสดุโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดมและคำนวณต้นทุนในการติดตั้งเครื่องเติมโอโซนค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน แล้วนำมาหาข้อสรุปความเหมาะสมและต้นทุนค่าใช้จ่ายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำทิ้งโรงพยาบาลต่อไป

# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

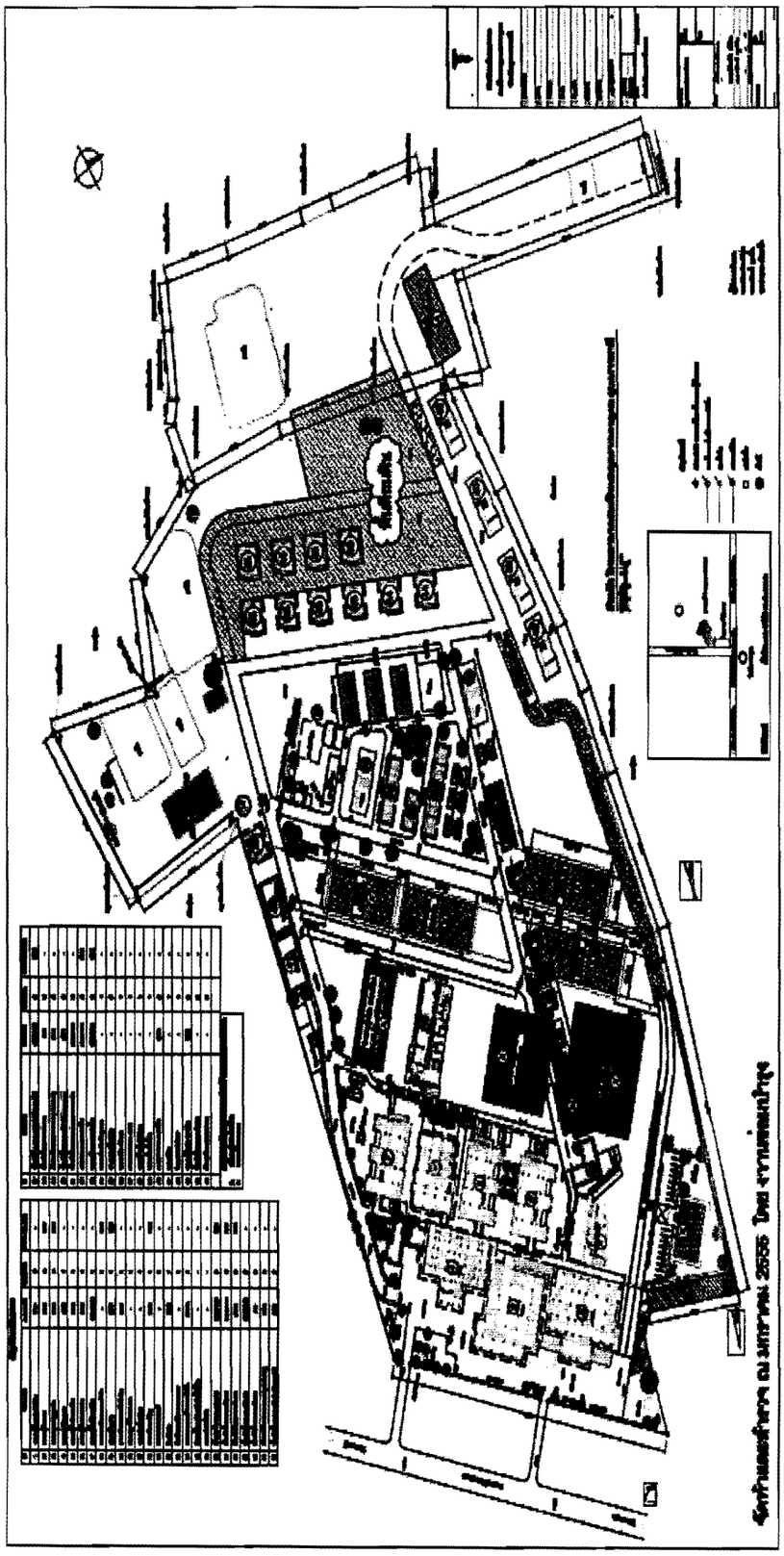
การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบการฆ่าเชื้อของน้ำทิ้งโรงพยาบาลระหว่างสารประกอบคลอรีนและโอโซนโดยทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยทำการทดลองกับน้ำเสียโดยเก็บน้ำตัวอย่าง จากจุดปล่อยน้ำทิ้งรวม ในช่วงเวลาราชการ ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2555 ถึง กุมภาพันธ์ 2556 เป็นเวลา 3 เดือน จำนวนทั้งสิ้นอย่างน้อย 2 ครั้ง ปริมาตรประมาณ 100 ลิตรต่อครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 หาปริมาณที่เหมาะสมของคลอรีนและโอโซน ชุดการทดลองที่ 2 การหาเวลาสัมผัส และชุดการทดลองที่ 3 การหาค่าพีเอช โดยมีรายละเอียดและผลการทดลองดังนี้

## 4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของโรงพยาบาล

### 4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงพยาบาล

โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม เป็นโรงพยาบาลทั่วไปขนาด 250 เตียง ตั้งอยู่เลขที่ 299 หมู่ที่ 19 ตำบลเมืองเดช อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี เปิดให้บริการผู้ป่วยในจำนวน 230 เตียง มีสถานีอนามัยเครือข่าย 25 แห่ง และศูนย์สุขภาพชุมชน (PCU) ในเขตรับผิดชอบ 3 แห่ง ปัจจุบันเป็นโรงพยาบาลทั่วไปแม่ข่ายเขตพัฒนาสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี โซน 4 (ประกอบด้วยอำเภอ น้ำยืน บุณฑริก นาจะหลวย ทุ่งศรีอุดม น้ำขุ่น และเดชอุดม) มีบทบาทหน้าที่ดังนี้ ภารกิจหลัก ให้บริการ รักษาพยาบาล ส่งเสริมสุขภาพ ป้องกันโรคและฟื้นฟูสภาพที่มี ศักยภาพการให้บริการรักษาพยาบาลระดับทุติยภูมิ ระดับสูง คือมีบริการเฉพาะทาง 4 สาขาหลัก และ แพทย์ทางเลือก ได้แก่สูตินรีเวชกรรม ศัลยกรรมทั่วไป ศัลยกรรมกระดูก อายุรกรรม กุมารเวชกรรม และ บริการแพทย์แผนไทย ให้บริการส่งเสริมสุขภาพ ทุกกลุ่มอายุ โดยแบ่งเป็นกลุ่มปกติ กลุ่มเสี่ยง และ กลุ่มป่วย ให้บริการป้องกันโรคติดต่อ และไม่ติดต่อ ให้บริการฟื้นฟูสภาพได้แก่งานกายภาพบำบัด การดูแลผู้ป่วยต่อเนื่องที่บ้าน (Home health care) ในกลุ่มผู้ป่วย ผู้พิการ รวมทั้งร่วมมือกับชุมชนและ หน่วยงานอื่น ในการพัฒนาบริการสุขภาพพร้อมทั้ง เทิดพระเกียรติและสนองพระราโชบายสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯสยามมกุฎราชกุมาร ภารกิจรอง ได้แก่ งานบริการวิชาการ และการให้คำปรึกษา โดย เป็นแหล่งฝึกงานของ นักศึกษา หลายสาขาวิชาชีพได้แก่ แพทย์ พยาบาล นักกายภาพบำบัด เจ้าพนักงานสาธารณสุขชุมชน เจ้าพนักงานเภสัชกรรม ฯลฯ

รวมทั้ง ภารกิจ สนับสนุน ด้านงานบริหารงานทั่วไป ปัจจุบันโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดช อุดมประกอบด้วยอาคารต่างๆทั้งหมด 45 หลัง แผนผังโรงพยาบาล แสดงภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังอาคารต่างๆ โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม

อัตรากำลังบุคลากรของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม แบ่งเป็น ข้าราชการ 157 คน ลูกจ้าง 408 คน รวมบุคลากรทั้งสิ้น 565 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** จำนวนบุคลากรจำแนกตามสาขาวิชาชีพที่สำคัญ ปี 2555 (ข้อมูลสถิติของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม 2555)

| สาขาวิชาชีพ | ข้าราชการ (คน) | ลูกจ้าง (คน) | รวม (คน) |
|---|---|---|---|
| แพทย์ ผู้อำนวยการ | 1 | 0 | 1 |
| แพทย์เฉพาะทาง | 11 | 0 | 11 |
| แพทย์เวชปฏิบัติและอื่นๆ | 6 | 0 | 6 |
| ทันตแพทย์ | 4 | 0 | 4 |
| เจ้าพนักงานทันตสาธารณสุข | 7 | 3 | 10 |
| เภสัชกร | 11 | 3 | 14 |
| พยาบาลวิชาชีพ | 84 | 61 | 145 |
| นักเทคนิคการแพทย์ | 1 | 7 | 8 |
| เจ้าพนักงานวิทยาศาสตร์การแพทย์ | 4 | 1 | 5 |
| นักรังสีการแพทย์ | 1 | 0 | 1 |
| เจ้าหน้าที่รังสีการแพทย์ | 3 | 0 | 3 |
| เจ้าพนักงานเภสัชกรรม | 10 | 4 | 14 |
| นักกายภาพบำบัด | 0 | 5 | 5 |
| เจ้าพนักงานโสตทัศนศึกษา | 1 | 0 | 1 |
| เจ้าพนักงานเวชสถิติ | 0 | 2 | 2 |
| นักวิชาการสาธารณสุข | 2 | 16 | 18 |
| เจ้าพนักงานสาธารณสุขชุมชน | 6 | 15 | 21 |
| เจ้าหน้าที่อื่น ๆ | 5 | 291 | 296 |
| **รวม** | **157** | **408** | **565** |
| - ข้าราชการ | 157 | 0 | 157 |
| - ลูกจ้างประจำ | 0 | 37 | 37 |
| - ลูกจ้างชั่วคราว(เงินบำรุง) | 0 | 371 | 371 |

จากการสำรวจข้อมูลพบว่า จำนวนผู้ป่วยที่มารับบริการในโรงพยาบาลสรุปประจำปี 2550 -2553 มีสถิติทั้งผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยในดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ชุมชนหรือกลุ่มผู้รับบริการที่เป็นเป้าหมาย (Targeted Customers)

| ลำดับ | กลุ่มเป้าหมาย | จำนวน (คน) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2550 | 2551 | 2552 | 2553 |
| 1 | ผู้ป่วยนอก | 191,363 | 204,586 | 228,441 | 236,305 |
| 2 | ผู้ป่วยใน | 19,447 | 20,196 | 22,654 | 25,226 |
| 3 | จำนวนวันนอน | 56,173 | 61,886 | 75,586 | 93,394 |
| 4 | อัตราการครองเตียง | 97.47 | 105.54 | 132.27 | 111.25 |
| 5 | จำนวนวันนอนเฉลี่ย (LOS) | 2.89 | 3.06 | 3.34 | 3.70 |
| 6 | ผู้มาคลอด | 2,617 | 2,783 | 2,851 | 2,782 |
| 7 | ผู้ป่วยผ่าตัดใหญ่ | 2,102 | 2,078 | 2,320 | 2,923 |
| 8 | ผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง | 16,694 | 19,980 | 21,995 | 21,214 |
| 9 | ผู้ป่วยโรคเบาหวาน | 17,652 | 20,242 | 23,854 | 21,477 |

โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดมใช้น้ำจากหน่วยผลิตน้ำของน้ำประปาส่วนภูมิภาค ส่วนใหญ่ใช้ในกิจกรรมอุปโภคบริโภคต่างๆในโรงพยาบาล จากรายงานการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย ปี 2554 พบว่ามีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยประมาณ 160 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (รายงานการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม, 2554) คิดเป็นอัตราการใช้น้ำ 300 เตียง เท่ากับ 533 ลิตรต่อเตียงต่อวัน

**4.1.2 ปริมาณน้ำเสีย**

ข้อมูลเดือน พฤศจิกายน 2554 – เมษายน 2555 พบว่ามีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นปริมาณน้ำเสียต่อจำนวนเตียงคนไข้ปัจจุบัน 100 ลิตรต่อเตียงต่อวัน ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำของโรงพยาบาลเท่ากับ 160 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าปริมาณสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณการใช้น้ำ สืบเนื่องจากที่ปริมาณการใช้น้ำของโรงพยาบาลเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเสีย มีสัดส่วนแตกต่างกันมาก สาเหตุเพราะ อาคารบริการ,อาคารบ้านพักและแฟลตพักอาศัย น้ำทิ้งไม่ได้เชื่อมต่อเข้ากับระบบบำบัดน้ำ

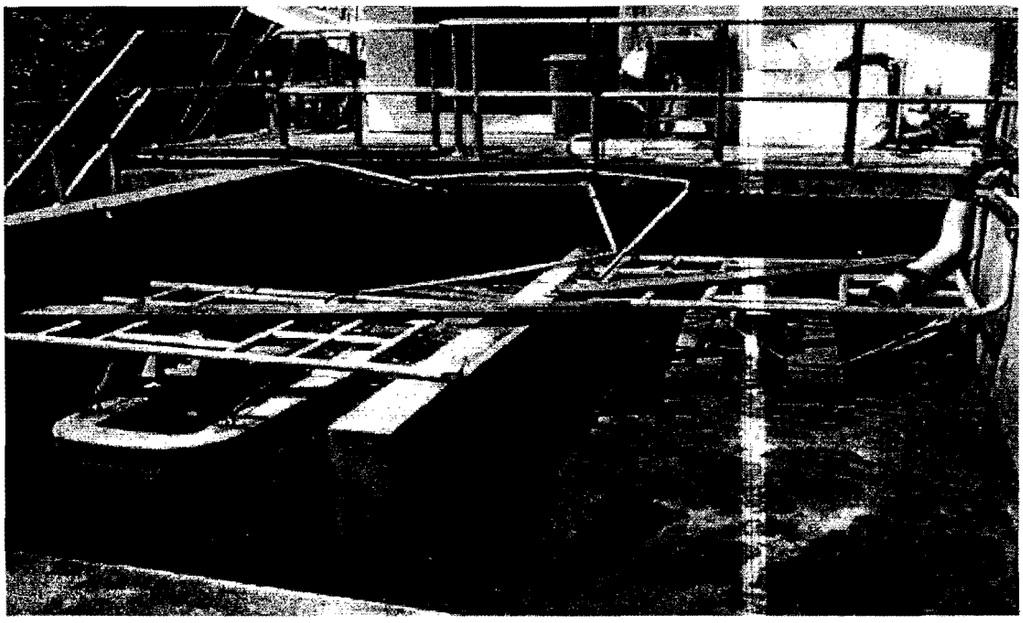
เสียของโรงพยาบาล อาคารบริการได้แก่ อาคารงานพัสดุ อาคารงานซ่อมบำรุง อาคารงานยานพาหนะ อาคารงานสวนสนาม อาคารสู่สุขติ อาคารบ้านพัก ได้แก่ บ้านพักระดับ 3- 4 จำนวน 8 หลัง บ้านพัก ระดับ 5-6 จำนวน 2 หลัง แฟลตพักอาศัย 20 ยูนิต 3 ชั้น จำนวน 4 หลัง

**4.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย**

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดมเป็นระบบบำบัดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) อาคารบำบัดน้ำเสีย แสดงดังภาพที่ 4.2

**ภาพที่ 4.2** อาคารบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม

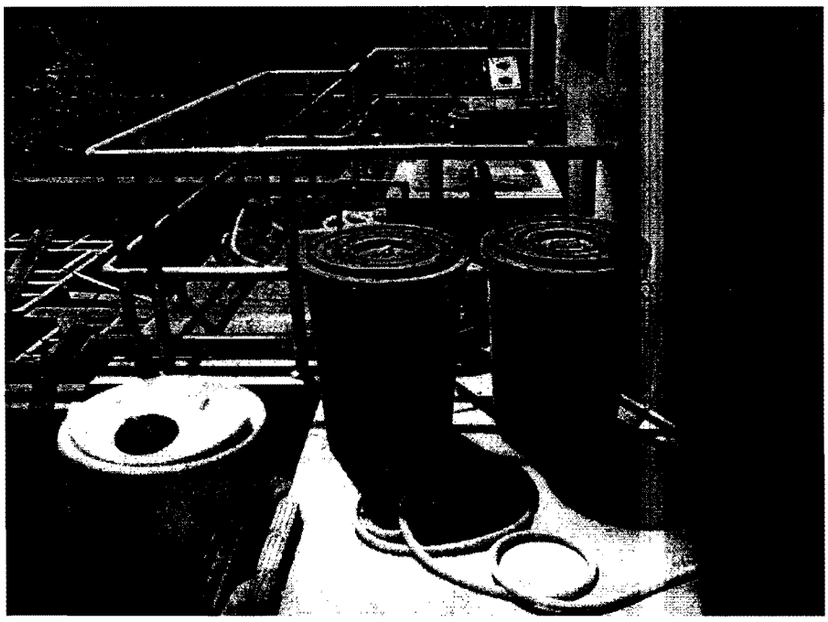
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ แสดงดังภาพที่ 4.2 เพื่อเติมอากาศเข้าระบบ ซึ่งมีสลัดจ์ อยู่เป็นจำนวนมาก และกำจัดโดยมีลานตากตะกอน แสดงดังภาพที่ 4.3



**ภาพที่ 4.3** ถังเติมอากาศระบบบำบัด

**ภาพที่ 4.4** ลานตากตะกอน

และสุดท้ายการฆ่าเชื้อโรคของน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งตอนนี้โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ใช้คลอรีนแบบผง ในรูปแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ เนื่องจากราคาถูก หาง่ายและสามารถเชื่อถือได้จากการวัด Residual Chlorine เป็นตัวยืนยัน แสดงดังภาพที่ 4.5



**ภาพที่ 4.5** ถังเติมคลอรีน

โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ได้มีการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งอย่างสม่ำเสมอเป็นประจำทุกปี อย่างน้อย ปีละ 3 ครั้ง ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ จำนวน 10 พารามิเตอร์ ในแต่ละครั้งที่ตรวจ ก็จะมีผลตรวจ ทั้งผ่านทุกพารามิเตอร์และไม่ผ่านในบางพารามิเตอร์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพด้านกายภาพโครงสร้างของระบบบำบัด การรั่วซึมของน้ำฝนเข้าระบบ การชำรุดของเครื่องมืออุปกรณ์ของระบบ เป็นต้น จากข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ดังแสดงตามตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** สรุปผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2555

| พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ | หน่วย | ค่ามาตรฐาน | ปีงบประมาณ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ปี 2553 | | | | | ปี 2554 | | | | ปี 2555 | | |
| | | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3. |
| 1. pH(ค่าความเป็นกรด-ด่าง) | - | 5-9 | 6.67 | 7.21 | 7.52 | 7.63 | 7.69 | 7.39 | 7.24 | 6.82 | 7.26 | 7.13 | 7.31 | 7.73 |
| 2. Settleacle Solids (ค่าตะกอนหนัก) | ml / l | ไม่เกิน 0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| 3. Total Dissolved Solids (TDS) | mg / l | ไม่เกิน 500 | 21.67 | 221.33 | 230.67 | 297 | 261 | 242 | 288 | 330 | 452.00 | 361 | 271 | 267.5 |
| (ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด) | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Total Suspended Solids (SS) | mg / l | ไม่เกิน 40 | 35 | 41.33 | 66.67 | 29.5 | 8.5 | 9.5 | 24 | 12.5 | 22.00 | 49.5 | 29.5 | 42.5 |
| (ค่าสารแขวนลอยทั้งหมด) | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. TKN(ไนโตรเจนในรูป ทีเคเอ็น) | mg / l | ไม่เกิน 35 | 13.72 | 37.24 | 33.6 | 6.16 | 12.32 | 12.32 | 15.4 | 25.2 | 12.88 | 282.83 | 141.41 | 376.94 |
| 6. Grease & Oil (น้ำมันและไขมัน | mg / l | ไม่เกิน 20 | 13.72 | 26.80 | 6.8 | 23.6 | 29.2 | 52.67 | 64.93 | 9.2 | 40.40 | 19.602 | 2.8 | 198.4 |
| 7. Sulfide(ค่าซัลไฟด์) | mg Sulfide / l | ไม่เกิน 1.0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0.05 | 0.01 |
| 8. BOD(ค่าความสกปรกในน้ำ) | mg / l | ไม่เกิน 30 | 25 | 52.33 | 41.92 | 18.51 | 13.98 | 18.21 | 13.02 | 3.01 | 8.68 | 0.94 | 2.95 | 6.07 |
| 9. Total Coliform Bacteria | MPN Index / 100 ml | ≤ 5,000 | ≤20 | 800 | ≥ 16,000 | 110 | ≥ 16,000 | 20 | <20 | <1.8 | <18 | <18 | <18 | <18 |
| 10. Fecal Coliform Bacteria | MPN Index / 100 ml | ≤ 1,000 | ≤20 | 90 | ≥ 16,000 | 40 | ≥ 16,000 | 20 | <20 | <1.8 | <18 | <18 | <18 | <18 |

จากตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม ตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2555 ซึ่งมีการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาล พบว่าปี พ.ศ. 2553 มีการตรวจน้ำทิ้ง จำนวน 4 ครั้ง ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 6.67 – 7.63 ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ผ่านค่ามาตรฐาน 3 ครั้ง ครั้งที่ 3 ปรากฏค่าโคลิฟอร์มทั้งหมด เกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 16,000 MPN/100ml ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้สารคลอรีนที่ไม่เหมาะสม ต่อมาปี พ.ศ. 2554 มีการตรวจน้ำทิ้งจำนวน 4 ครั้ง ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.82-7.39 ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ผ่านมาตรฐาน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ปรากฏค่าโคลิฟอร์มทั้งหมดเกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 16,000 MPN/100 ml อาจเกิดจากการใช้ปริมาณคลอรีนที่ไม่เหมาะสมก็เป็นได้ ซึ่งครั้งที่ 2 -4 พบว่าค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตลอด และปี พ.ศ. 2555 มีการตรวจน้ำทิ้ง จำนวน 3 ครั้ง ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.13 - 7.73 ค่าโคริฟอร์มแบคทีเรียรวมและค่าฟีคัลโคริฟอร์มแบคทีเรียผ่านเกณฑ์มาตรฐานตลอดทุกครั้งที่ตรวจ เป็นไปได้ว่าเจ้าหน้าที่ ที่ดูแลระบบมีการเฝ้าระวังและเติมสารคลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง

## 4.2 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วยสารประกอบคลอรีน

### 4.2.1 การหาปริมาณ

การหาปริมาณที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีนได้ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นคลอรีน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | คลอรีนตกค้าง (mg/l) | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60,000±0.0 | 0.5 mg /L | 15 | 7.22± 0.0 | 0.0±0.0 | 92,000 ± 0.0 | 42.5 | 92,000 ± 0.0 | 42.5 |
| | 1.0 mg /L | 15 | 7.23± 0.0 | 0.0±0.0 | 9,600 ± 10,465.2 | 94.0 | 9,600 ± 10,465.2 | 94.0 |
| 160,000±0.0 | 1.5 mg /L | 15 | 7.24± 0.0 | 0.3±0.0 | 730 ± 268.7 | 99.5 | 730±268.7 | 99.5 |
| 107,000±0.0 | 2.0 mg /L | 15 | 7.22± 0.0 | 0.6±0.0 | 49±0.0 | 99.9 | 33±0.0 | 99.9 |
| | 3.0 mg /L | 15 | 7.23±0.0 | 1.3±0.0 | 15±2.8 | 99.9 | 11±3.5 | 99.9 |

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอรีนตกค้าง 0.3±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากตารางค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB อยู่ที่ 730±268.7 MPN/100 ml และ730±268.7 MPN/100 ml ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ไม่เกินค่ามาตรฐาน ( TCB ไม่เกิน 5,000 MPN/100 ml และ ค่ามาตรฐาน FCB ไม่เกิน 1,000 MPN/100 ml ) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.5 และ 99.9 ตามลำดับ จากการควบคุมผลการทดลอง พบว่าค่าเชื้อเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญในช่วงปริมาณสารประกอบคลอรีน 0.5 ถึง 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 4.2.2 การหาเวลาสัมผัส

การหาเวลาสัมผัสได้ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** การหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นคลอรีน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | คลอรีนตกค้าง (mg/l) | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160,000±0.0 | 1.5 mg/L | 10 | 7.24±0.0 | 0.3±0.0 | 920±0.0 | 99.4 | 540±0.0 | 99.6 |
| | 1.5 mg/L | 15 | 7.27±0.0 | 0.3±0.0 | 730±268.7 | 99.5 | 445±134.4 | 99.7 |
| 160,000±0.0 | 1.5 mg/L | 20 | 7.26±0.0 | 0.3±0.0 | 380±266.3 | 99.7 | 240±0.0 | 99.8 |
| 107,000±0.0 | 1.5 mg/L | 30 | 7.26±0.0 | 0.3±0.0 | 0±0.0 | 100 | 0±0.0 | 100 |
| | 1.5 mg/L | 40 | 7.26±0.0 | 0.1±0.0 | 0±0.0 | 100 | 0±0.0 | 100 |

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ 30 นาที มีปริมาณคลอรีนตกค้าง 0±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB มีค่าเท่ากับ 0±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ0±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อทั้งสองเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละร้อย ตามลำดับ จากการควบคุมผลการทดลอง พบว่าค่าเชื้อเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญ ในช่วงเวลาสัมผัส 10 ถึง 20 นาที

### 4.2.3 การหาค่าพีเอช

การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีนได้ผลการทดลองสรุป ดังตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นคลอรีน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | คลอรีนตกค้าง (mg/l) | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 160,000±0.0 | 1.5 mg /L | 30 | 6 | 0.1±0.0 | 0±0.0 | 100 | 0±0.0 | 100 |
| 160,000±0.0 | 1.5 mg /L | 30 | 7 | 0.1±0.0 | 0±0.0 | 100 | 0±0.0 | 100 |
| 107,000±0.0 | 1.5 mg /L | 30 | 8 | 0.1±0.0 | 0±0.0 | 100 | 0±0.0 | 100 |

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารประกอบคลอรีนอยู่ในช่วง 6-8 มีปริมาณคลอรีนตกค้าง 0.1±0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อค่าการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB ซึ่งช่วงค่า พีเอช ดังกล่าว ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากันคือ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้เลือกค่าพีเอชเท่ากับ 7 เป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใกล้กับค่าพีเอชน้ำเริ่มต้น

## 4.3 ผลการทดลองการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วยโอโซน

### 4.3.1 การหาปริมาณ

การหาปริมาณที่เหมาะสมโอโซนฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ได้ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** ปริมาณที่เหมาะสมของโอโซน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นโอโซน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 54,000±0.0 | 1 mg /l | 15 | 7.19±0.0 | 24,000±0.0 | 55.5 | 16,000±0.0 | 70.3 |
| | 12 mg /l | 15 | 7.33±0.0 | 16,000±0.0 | 70.3 | 12,600±4,408.3 | 76.6 |
| 54,000±0.0 | 36 mg /l | 15 | 7.70±0.0 | 7,300±2,687.0 | 86.4 | 4,450±1,343.5 | 91.7 |
| 54,000±0.0 | 48 mg /l | 15 | 7.85±0.0 | 920±0.0 | 98.3 | 240±0.0 | 99.5 |
| | 100 mg /l | 15 | 7.93±0.0 | 49±0.0 | 99.9 | 17±0.0 | 99.9 |

จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของโอโซนมีค่าเท่ากับ 48 มิลลิกรัมโอโซนต่อลิตร ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB เท่ากับ 920±0.0 MPN/100ml และ 240±0.0 MPN/100ml ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ ไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของ TBC ไม่เกิน 5,000 MPN/100ml และ ค่ามาตรฐาน FBC ไม่เกิน 1,000 MPN/100ml ) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับ 98.3 และ99.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการควบคุมผลการทดลอง พบว่าค่าเชื้อเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญ ในช่วงปริมาณโอโซน 1 ถึง 36 มิลลิกรัมโอโซนต่อลิตร

**4.3.2 การหาเวลาสัมผัส**

จากผลการทดลองหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของโอโซนฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ได้ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** เวลาสัมผัสที่เหมาะสมของโอโซน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นโอโซน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 10 | 7.0±0.0 | 3,500±0.0 | 99.6 | 2,500±424.3 | 99.7 |
| | 48 mg /l | 15 | 6.98±0.0 | 2,950±777.8 | 99.6 | 1,700±0.0 | 99.8 |
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 20 | 6.93±0.0 | 2,200±0.0 | 99.7 | 1,500±282.4 | 99.8 |
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 30 | 6.99±0.0 | 1,950±353.6 | 99.7 | 1,100±0.0 | 99.8 |
| | 48 mg /l | 40 | 6.96±0.0 | 1,700±0.0 | 99.8 | 790±0.0 | 99.9 |

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของโอโซนมีค่าเท่ากับ 40 นาที ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB เท่ากับ 1,700±0.0 MPN/100ml และ 790±0.0 MPN/100ml ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของ TBC ไม่เกิน 5,000 MPN/100ml และ ค่ามาตรฐาน FBC ไม่เกิน 1,000 MPN/100ml) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ จากการควบคุมผลการทดลอง พบว่าค่าเชื้อเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญ ในช่วงเวลาสัมผัส 10 ถึง 20 นาที

### 4.3.3 การหาค่าพีเอช

จากผลการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโอโซนฆ่าเชื้อในน้ำทิ้งของโรงพยาบาล ได้ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.9

**ตารางที่ 4.9** ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโอโซน

| เชื้อเริ่มต้น (MPN/100ml) | ความเข้มข้นโอโซน (mg/l) | เวลา (นาที) | พีเอช | TCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) | FCB (MPN/100ml) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 40 | 6 | 1,800±0.0 | 99.8 | 1,100±0.0 | 99.8 |
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 40 | 7 | 1,600±0.0 | 99.8 | 940±0.0 | 99.9 |
| 920,000±0.0 | 48 mg /l | 40 | 8 | 920±0.0 | 99.9 | 700±0.0 | 99.9 |

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมของโอโซนมีค่าเท่ากับ 7 ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ TCB และ FCB เท่ากับ 1,600±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ 940±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของ TBC ไม่เกิน 5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ ค่ามาตรฐาน FBC ไม่เกิน 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ จากการควบคุมผลการทดลอง พบว่าค่าเชื้อเริ่มต้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญ ในช่วงค่าพีเอช 6 ถึง 8

## 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายต่อหน่วย การฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วย สารประกอบคลอรีนและโอโซน

จากผลการทดลองที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการทดสอบโดยสารประกอบคลอรีนความเข้มข้นเหมาะสมคือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพร้อยละ 99.5 เวลาที่เหมาะสมคือ 30 นาที มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 และพีเอช คือ 7 มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 และตรวจพบมีคลอรีนตกค้าง แต่การใช้สารละลายคลอรีนในการฆ่าเชื้อ ต้องมีการเตรียมสารคลอรีนที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะสารคลอรีนที่ใช้เป็นชนิดผง ไม่สามารถเติมลงในน้ำทิ้งได้ทันที ต้องทำให้เป็นของเหลวก่อนโดยการผสมในภาชนะรองรับโดยเฉพาะ และต้องมีถังสำหรับการเติมในน้ำทิ้งด้วย การเติมก็ต้องเติมในอัตราส่วนที่เหมาะสมตามกำหนดของชนิดของสารคลอรีนแต่ละยี่ห้อด้วย เจ้าหน้าที่ ที่ปฏิบัติงานก็มีโอกาสสัมผัสกับสารคลอรีนด้วยการเติมก็ต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม

เพื่อไม่ให้เติมในปริมาณมาก หรือน้อยจนเกินไป และสารคลอรีนที่เติมก็มีการตกค้างในน้ำทิ้งด้วย เมื่อปล่อยออกสู่คลองสาธารณะก็จะมีสารคลอรีนตกค้าง ก็ที่ทราบว่าเป็นสารที่ก่อมะเร็ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ สิ่งแวดล้อม กระทบต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในส่วนของค่าใช้จ่ายต่อหน่วย สำหรับสารประกอบคลอรีนเท่ากับ 0.13 บาทต่อลิตร และเป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนต่อเนื่องประจำทุกปี ตัวอย่างการคำนวณดูในภาคผนวก ค

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โอโซน พบว่า มีความเข้มข้นของโอโซนที่เหมาะสมคือ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพเฉลี่ย ร้อยละ 98.9 เวลาที่เหมาะสม 40 นาที มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 99.9 และค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 7 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 99.8 แต่การใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งของโรงพยาบาล จะไม่ยุ่งยาก เพราะเป็นเครื่องที่ผลิตสารโอโซนโดยเฉพาะ การติดตั้ง การใช้งานและการดูแลบำรุงรักษาง่าย สะดวกต่อเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ไม่มีการปนเปื้อนของโอโซน อีกทั้งโอโซนไม่ตกค้างในน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ปล่อยสู่คลองสาธารณะไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษจากโอโซน ไม่ส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ ไม่กระทบต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตต่างๆ และที่สำคัญไม่เป็นพิษสิ่งแวดล้อม ในส่วนค่าใช้จ่ายต่อหน่วย สำหรับโอโซน เท่ากับ 0.02 บาทต่อลิตร และ เป็นการลงทุนครั้งเดียว คือค่าเครื่องผลิตโอโซน และโอโซน ตัวอย่างการคำนวณดูในภาคผนวก ค

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

### 5.1.1 สารประกอบคลอรีน

จากการทดลองหาปริมาณที่เหมาะของสารประกอบคลอรีน ความเข้มข้นคลอรีนที่เหมาะสม เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 730±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ได้เวลาที่เหมาะสม คือ 30 นาที ไม่พบค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ทำการปรับค่าพีเอช 3 ค่า คือ 6, 7 และ 8 ผลการทดลองปรากฏว่าไม่พบค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ถึงแม้ว่าค่าพีเอช จะแตกต่างกัน ก็ไม่มีผลต่อการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และเชื้อฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย แต่อย่างใด แต่ทั้งนี้เลือกค่าพีเอชเท่ากับ 7 เป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใกล้กับค่าพีเอชน้ำเริ่มต้น และค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดที่ได้ ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ได้ ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

### 5.1.2 โอโซน

จากการทดลองหาปริมาณที่เหมาะของโอโซน ความเข้มข้นโอโซนเหมาะสม เท่ากับ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 920±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ 240±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตรตามลำดับ มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 98.3 และ99.5 ตามลำดับ ได้เวลาที่เหมาะสม 40 นาที ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 1,700±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ 790±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ และค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 7 มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด และ ค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 1,600±0.0MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ 940±0.0 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ และ ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดที่ได้ ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน

5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร และ ค่าฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ได้ ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการศึกษาพารามิเตอร์น้ำทิ้งชนิดอื่นๆเพิ่มเติมด้วย

5.3.2 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบระยะยาวจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากการฆ่าเชื้อน้ำทิ้งจากระบบบำบัดโดยสารประกอบคลอรีนและการเติมโอโซน

5.3.3 การนำผลการทดลองไปใช้ในระบบบำบัดจริงควรคำนึงถึง ปัจจัยหลายๆด้าน เช่น ต้นทุนค่าใช้จ่าย ผู้ดูแลระบบ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงสุขภาพของผู้ที่อยู่ใกล้เคียง

# เอกสารอ้างอิง

# เอกสารอ้างอิง


กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2549. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2547. พระราชบัญญัติส่งเสริมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพมหานคร : ชวนพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547 ก. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. 2547 ข. วิศวกรรมน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

เกษม จันทร์แก้ว. 2539. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนา เรื่อง การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต กระทรวงสาธารณสุข.

กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. คู่มือการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล. กรุงเทพมหานคร : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

กรมควบคุมมลพิษ. "คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ", การระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. http://infofile.pcd.go.th/ptech/anair_manual1.pdf? CFID=11440964& CFTOKEN=11700726. ธันวาคม, 2555.

กรมอนามัย. 2539. การจัดทำระบบบำบัดน้ำเสียสถานพยาบาล. นนทบุรี : ฝ่ายวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

การเคหะแห่งชาติ. 2537. การบำบัดน้ำเสียชุมชน. กรุงเทพมหานคร : กองวิจัยและพัฒนาศูนย์วิชาการที่อยู่อาศัย.

ชูเวช ชาญสง่าเวช. 2543. การจัดการทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : ยูนิเวอร์แซลคอมฟิวกราฟฟิค.

นิรุติ คูณผล. 2539. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย. นนทบุรี : ฝ่ายวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข.

ประเสริฐ กระจ่างวงษ์. 2546. นโยบายการอนามัยสิ่งแวดล้อม. นนทบุรี : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศน์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อม เขต 1. ภาพลักษณ์โรงพยาบาลอนามัยสิ่งแวดล้อม. นนทบุรี : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานสาธารณสุข. "งานอนามัยสิ่งแวดล้อม", การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน. http://www.cco.moph.go.th/hp_group/nana/chlorine.html. ตุลาคม, 2555.

สุเมธ ชวเดช. 2541. รายงานการวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซน สำหรับการบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American public Health Association. 2005. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 21st Edition. USA: American Public Health Association.

APHA AWWA and WPCF. 1985. Standard Method for the Examination of water and wastewater. 16 th Edition, USA: American Public Healt Association.

APOGEE Interactive Inc. "OZONATION", การบำบัดด้วยโอโซน. http://tristate.apogee.net/et/ewtwozn.asp. ตุลาคม, 2549.

Botzenhare, K., Tarcson, G. and Ostruschka, M. 1993. "Inactivation of bacteria and coliphages by ozone and chlorine dioxide in a continuous flow reactor", Water Science Technology. 27(3-4): 363-370.

de Mik, G. and de Groot, I. 1977. "The germicidal effect of the open air in different parts of the Netherlands", Journal of Hygiene. 78: 175-187.

Fince, G.R., Smith, D.W. and Stiles, M.E. 1988. "Dose-response of Escherichia coli in ozone demand-free phosphate buffer", Water Resources Technology. 22: 1563-1570.

Hall, R.M. and Sobsey, M.D. 1993. "Inactivation of Hepatitis A virus and MS2 by ozone and ozone hydrogen peroxide in buffered water", Water Science Technology. 27(3-4): 371-378.

Kowalski, W. J., Bahnfleth, Q.P. and Whittam, T.S. 1998. "Bactericidal effects of high airborne ozone concentrations on Escherichia coli and Staphylococcus aureus", Ozone Science and Engineering. 20: 205-211.

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

USwatersystems. Bacteria, Cysts & Virus. http:www.USwatersystems.com/shop/categories/water-problems/Babteria%2C-cysts-%26-virus/. December, 2012.

Water technology. Crystal Clear Monitoring. http://www.water technology.net/features/feature 74577/feature74577-6.html. December, 2012.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

## 1.1 การตรวจคุณภาพของน้ำ

### 1.1.1 ปริมาณจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำ ส่วนใหญ่ปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของคนและสัตว์ลงสู่แหล่งน้ำ การตรวจวิเคราะห์เป็นการตรวจหาจุลินทรีย์ก่อโรค

แบคทีเรียโคลิฟอร์ม หมายถึงกลุ่มของแบคทีเรียในวงศ์ *Enterobacteriaceae* ที่มีรูปร่างท่อนสั้น ติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เป็นพวกที่ไม่ต้องการอากาศ หรือ Facultative anaerobe สามารถหมักน้ำตาลแลคโตสให้กรด และแก๊สได้ภายใน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ *Escherichia coli* ซึ่งโดยปกติมักพบอยู่ในทางเดินอาหารสัตว์เลือดอุ่น และของคน ฉะนั้นจะมากในอุจจาระ และ แบคทีเรียจีนัส Enterobacter ดังนั้นการตรวจพบจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จึงถือได้ว่ามีการปนเปื้อนมาของอุจจาระ อาจนำซึ่งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ แต่โดยปกติคนสามารถต้านทานจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ดี เว้นมีการกระตุ้นการเชื้อปกติในทางเดินอาหารให้สามารถก่อโรคได้ เช่น พวกไวรัส ดังนั้น การผลิตอาหาร หรือ น้ำดื่ม จึงจะต้องมีการตรวจสอบจุลินทรีย์ ว่ามีอยู่ในปริมาณเท่าใด มีอันตรายหรือไม่

1.1.1.1 การวิเคราะห์โดยวิธี Most probable number of coliform organisms (MPN)หรือ Multiple tubes fermentation technique

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย โดยอาศัยความสามารถในการย่อยสารอาหารให้เกิดก๊าซในหลอดทดลอง จากจำนวนของหลอดที่ให้ผล Positive ของแต่ละการเจือจาง 3 ระดับ แล้วนำไปอ่านหาค่าในตารางดัชนี MPN (MPN index) ซึ่งจะบอกจำนวนของโคลิฟอร์มที่มีอยู่ในน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยค่าในตารางดัชนี MPN นี้เป็นค่าการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะเป็นการประมาณทางสถิติถึงปริมาณของโคลิฟอร์มที่น่าจะตรวจพบได้ในน้ำ (Most Probable Number per 100 ml of sample) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำที่ขุ่น หรือน้ำเสียต่างๆ

1.1.1.2 ระบบการวิเคราะห์

การเลือกระบบหลอดเลี้ยงเชื้อเพื่อวิเคราะห์โคลิฟอร์มตามวิธี MPN โดยทั่วไปนิยมใช้อยู่ 2 ระบบ คือ ระบบ “3” และระบบ “5” หลอดซึ่งเป็นการบอกให้ทราบจำนวนหลอดที่จะใช้หมักต่อหนึ่งระดับการเจือจางของตัวอย่างน้ำ

ระบบ 3 หลอด ใช้อาหารเหลวน้อย ประหยัดเวลา โอกาสผิดพลาดมาก

ระบบ 5 หลอด ใช้อาหารเหลวมาก เปลืองเวลา โอกาสผิดพลาดน้อยกว่า

การเจือจางตัวอย่างน้ำสามารถทำได้ดังนี้

1) เตรียมหลอดแก้วที่มีน้ำกลั่น หรือ buffered water ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ที่ผ่านการ sterile แล้วจำนวน 3 หลอด

2) เขย่าตัวอย่างน้ำที่เก็บมาอย่างแรง 25 ครั้ง

3) ใช้ sterile pipette ดูดน้ำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่มีน้ำกลั่นหลอดที่ 1 (อัตราการเจือจาง 1:10)

4) เขย่าตัวอย่างน้ำในหลอดแก้วที่ 1 อย่างแรง 25 ครั้ง

5) ใช้ sterile pipette ดูดน้ำตัวอย่างจากหลอดแก้วที่ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่มีน้ำกลั่นหลอดที่ 2 (อัตราการเจือจาง 1:100)

6) เขย่าตัวอย่างน้ำในหลอดแก้วที่ 2 อย่างแรง 25 ครั้ง

7) ใช้ sterile pipette ดูดน้ำตัวอย่างจากหลอดแก้วที่ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วที่มีน้ำกลั่นหลอดที่ 3 (อัตราการเจือจาง 1:1000)

จะได้ชุดอนุกรมของการเจือจางตัวอย่างน้ำเป็น 0.1, 0.01, และ 0.001 นำน้ำตัวอย่างในแต่ละระดับการเจือจางมาวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มต่อไป

1.1.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total Coliform Bacteria)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) หลอดแก้วพร้อมฝาผิด (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร

(2) หลอดดักอากาศเดอร์แรม (durham tube)

(3) ปิเปตขนาด 10 และ 1 มิลลิลิตร

(4) ลูกยางใช้กับปิเปตสำหรับดูดน้ำตัวอย่าง

(5) ตะเกียงแอลกอฮอล

(6) ตู้เพาะเชื้อ (incubator)

(7) ลวดที่มีปลายห่วงกลม (wire loop)

2) อาหารเลี้ยงเชื้อ

(1) น้ำกลั่นสำหรับการเจือจางตัวอย่าง

(2) Lactose broth (LB)

(3) Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGB)

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์

(1) การตรวจสอบขั้นแรก (Presumptive test)

นำหลอดแก้ว (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ซึ่งมีหลอดดักอากาศเดอร์แรมวางคว่ำอยู่ภายใน มาบรรจุอาหารเหลวแลคโตส ให้ท่วมหลอดเดอร์แรม ประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที

เขย่าตัวอย่างน้ำแรงๆ ขึ้นลง 25 ครั้ง

ใช้ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างน้ำใส่ลงในหลอดแก้วที่บรรจุอาหารเหลวแลคโตส 3 หรือ 5 หลอดๆ ละ 1 มิลลิลิตร ต่อ 1 ระดับของการเจือจาง ซึ่งชุดอนุกรมของการเจือจางในการวิเคราะห์จะใช้การเจือจาง 3 ระดับต่อ 1 ตัวอย่าง

เขย่าหลอดแก้วเบาๆ เพื่อให้อาหารผสมกับตัวอย่างน้ำ ระวังอย่าให้มีฟองอากาศในหลอดเดอร์แรม

นำหลอดแก้วทั้งหมดเข้าตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35± 0.5°C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

นำหลอดแก้วมาตรวจดูก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดเดอร์แรม ถ้าหลอดใดเกิดก๊าซแสดงว่าให้ผลทางบวก (positive) นำหลอดที่เกิดก๊าซไปทดสอบขั้นยืนยันต่อไป

(2) การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)

นำหลอดแก้ว (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ซึ่งมีหลอดดักอากาศเดอร์แรมวางคว่ำอยู่ภายใน มาบรรจุอาหารเหลว BGB ให้ท่วมหลอดเดอร์แรม แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที

นำหลอดที่ให้ผลทางบวกในการตรวจสอบขั้นแรกมาเขย่าเบาๆ และทำการถ่ายเชื้อโดยใช้ลวดที่มีปลายห่วงกลมจุ่มลงไปในหลอดที่ให้ผลทางบวกแล้วนำไปจุ่มลงในหลอดแก้วที่มีอาหาร BGB ทำอย่างนี้ 2-3 ครั้ง

เขย่าหลอดแก้วเบาๆ เพื่อให้อาหาร BGB ผสมกับเชื้อที่ถ่ายมา ระวังอย่าให้มีฟองอากาศในหลอดเดอร์แรม

นำหลอดแก้วที่มีอาหาร BGB ทั้งหมด เข้าตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35± 0.5°C

นำหลอดแก้วมาตรวจดูก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดเดอร์แรม ถ้าหลอดใดเกิดก๊าซแสดงว่าให้ผลทางบวก (positive) แสดงยืนยันว่ามีเชื้อโคลิฟอร์มในหลอดแก้วที่เกิดก๊าซในการตรวจสอบขั้นแรก

นำหลอดที่ให้ผลทางบวกไปทดสอบขั้นสมบูรณ์ต่อไป

(3) การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed test)

นำเชื้อจากหลอดที่เกิดฟองอากาศในขั้นยืนยันมา streak ลงบนอาหารแข็ง EMB (Eosin Methylene Blue Plate) แล้วนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24± 2 ชั่วโมง ซึ่งเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มเท่านั้น ที่เจริญเติบโตได้เห็นเป็นโคโลนี ซึ่งโคโลนีจะมีลักษณะมีสีเข้มตรงกลาง และมีสีโลหะตัด (metallic sheen)

จากนั้นให้ใช้ไม้จิ้มฟันที่ sterile แล้ว จิ้มเอาโคโลนีที่แยกเดี่ยวๆ เห็นชัดในแต่ละ plate ประมาณ 2-3 โคโลนี ใส่ลงในหลอดที่มีอาหาร

Lactose Broth แล้วนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24-48 ชั่วโมง ถ้าเป็นเชื้อโคลิฟอร์มจะให้ก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักอากาศเดอร์แรม

Nutrient Agar Slant แล้นำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24-48 ชั่วโมง จึงนำเชื้อไปทำ gram-stained ซึ่งจะเป็น gram negative แล้วส่องดูลักษณะของแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทัศน์

1.1.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal Coliform)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) หลอดแก้วพร้อมฝาผิด (test tube) ขนาด 15 ml

(2) หลอดดักอากาศเดอร์แรม (durham tube)

(3) ปิเปตขนาด 10 และ 1 ml

(4) ลูกยางใช้กับปิเปตสำหรับดูดน้ำตัวอย่าง

(5) ตะเกียงแอลกอฮอล

(6) ตู้เพาะเชื้อ (incubator)

(7) ลวดที่มีปลายห่วงกลม (wire loop)

1) อาหารเลี้ยงเชื้อ

(1) น้ำกลั่นสำหรับการเจือจางตัวอย่าง

(2) Lactose broth (LB)

(3) EC-medium

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์

(1) การตรวจสอบขั้นแรก (Presumptive test)

นำหลอดแก้ว (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ซึ่งมีหลอดดักอากาศเดอร์แรมวางคว่ำอยู่ภายใน มาบรรจุอาหารเหลวแลคโตส ให้ท่วมหลอดเดอร์แรม ประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที

เขย่าตัวอย่างน้ำแรงๆ ขึ้นลง 25 ครั้ง

ใช้ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างน้ำใส่ลงในหลอดแก้วที่บรรจุอาหารเหลวแลคโตส 3 หรือ 5 หลอดๆ ละ 1 มิลลิลิตร ต่อ 1 ระดับของการเจือจาง ซึ่งชุดอนุกรมของการเจือจางในการวิเคราะห์จะใช้การเจือจาง 3 ระดับต่อ 1 ตัวอย่าง

เขย่าหลอดแก้วเบาๆ เพื่อให้อาหารผสมกับตัวอย่างน้ำ ระวังอย่าให้มีฟองอากาศในหลอดเดอร์แรม

นำหลอดแก้วทั้งหมดเข้าตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35± 0.5°C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

นำหลอดแก้วมาตรวจดูก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดเดอร์แรม ถ้าหลอดใดเกิดก๊าซแสดงว่าให้ผลทางบวก (positive) นำหลอดที่เกิดก๊าซไปทดสอบขั้นยืนยันต่อไป

(2) การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)

นำหลอดแก้ว (test tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ซึ่งมีหลอดดักอากาศเดอร์แรมวางคว่ำอยู่ภายใน มาบรรจุอาหารเหลว BGB ให้ท่วมหลอดเดอร์แรม แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที

นำหลอดที่ให้ผลทางบวกในการตรวจสอบขั้นแรกมาเขย่าเบาๆ และทำการถ่ายเชื้อโดยใช้ลวดที่มีปลายห่วงกลมจุ่มลงไปในหลอดที่ให้ผลทางบวกแล้วนำไปจุ่มลงในหลอดแก้วที่มีอาหาร BGB ทำอย่างนี้ 2-3 ครั้ง

เขย่าหลอดแก้วเบาๆ เพื่อให้อาหาร BGB ผสมกับเชื้อที่ถ่ายมา ระวังอย่าให้มีฟองอากาศในหลอดเดอร์แรม

นำหลอดแก้วที่มีอาหาร BGB ทั้งหมด เข้าตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35± 0.5°C

นำหลอดแก้วมาตรวจดูก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดเดอร์แรม ถ้าหลอดใดเกิดก๊าซแสดงว่าให้ผลทางบวก (positive) แสดงยืนยันว่ามีเชื้อโคลิฟอร์มในหลอดแก้วที่เกิดก๊าซในการตรวจสอบขั้นแรก

นำหลอดที่ให้ผลทางบวกไปทดสอบขั้นสมบูรณ์ต่อไป

(3) การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed test)

นำเชื้อจากหลอดที่เกิดฟองอากาศในขั้นยืนยันมา streak ลงบนอาหารแข็ง EMB (Eosin Methylene Blue Plate) แล้วนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24± 2 ชั่วโมง ซึ่งเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มเท่านั้น ที่เจริญเติบโตได้เห็นเป็นโคโลนี ซึ่งโคโลนีจะมีลักษณะมีสีเข้มตรงกลาง และมีสีโลหะตัด (metallic sheen)

จากนั้นให้ใช้ไม้จิ้มฟันที่ sterile แล้ว จิ้มเอาโคโลนีที่แยกเดี่ยวๆ เห็นชัดในแต่ละ plate ประมาณ 2-3 โคโลนี ใส่ลงในหลอดที่มีอาหาร

Lactose Broth แล้วนำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24-48 ชั่วโมง ถ้าเป็นเชื้อโคลิฟอร์มจะให้ก๊าซเกิดขึ้นในหลอดดักอากาศเดอร์แรม

Nutrient Agar Slant แล้นำไปเข้าตู้เพาะเชื้อที่ 35± 0.5°C นาน 24-48 ชั่วโมง จึงนำเชื้อไปทำ gram-stained ซึ่งจะเป็น gram negative แล้วส่องดูลักษณะของแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทัศน์

**1.1.2 การคำนวณ**

การคำนวณหาค่าดัชนี MPN นำจำนวนของหลอดที่ให้ผล positive ของแต่ละระดับการเจือจางจำนวน 3 ระดับ ในการตรวจสอบขั้นยืนยัน มาหาค่าปริมาณของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียหรือฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ในตัวอย่างน้ำเทียบกับตารางดัชนี MPN เช่น ถ้าในอนุกรมการเจือจางตัวอย่างน้ำ 10, 1, 0.1 พบว่า

10 ml มีหลอดที่ให้ผลบวก 4 หลอดจาก 5 หลอด (ระดับการเจือจางแรกควรเข้าใกล้ 5)

1 ml มีหลอดที่ให้ผลบวก 3 หลอดจาก 5 หลอด

0.1 ml มีหลอดที่ให้ผลบวก 1 หลอดจาก 5 หลอด (ระดับการเจือจางสุดท้ายควรเข้าใกล้ 0 ไม่ควรเกิน 2)

ดังนั้นให้ไปเปิดดูตารางดัชนี MPN จากเลขรวมของหลอดที่ให้ผลบวก คือ 4-3-1 ซึ่งจะให้ค่าดัชนี MPN ของตัวอย่างเป็น 33 MPN/100 ml ของตัวอย่างแต่ถ้าอนุกรมการเจือจางตัวอย่างน้ำที่อ่านผลได้เป็น 1,0.1,0.01 ml ค่าที่อ่านได้จากดัชนี MPN จะต้องคูณด้วย 10 แต่ถ้าอนุกรมการเจือจางตัวอย่างน้ำที่อ่านผลได้เป็น 0.1, 0.01, 0.001 ml ค่าที่อ่านได้จากดัชนี MPN จะต้องคูณด้วย 100 บางครั้งผลที่ได้อาจจะอ่านไม่ได้จากตารางดัชนี MPN ให้ทำการคำนวณหาค่า MPN ต่อ 100 ml

$$MPN/100ml = \frac{No\ of\ possitive\ tube\ X100}{\sqrt{(ml\ sample\ in\ negative\ tubes)X(ml\ sample\ in\ all\ sample)}}$$

**1.1.3 รายงานผล**

รายงานปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรีย กลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม หน่วยเป็น MPN/100 m

**ตารางที่ ก.1** MPN Index and 95% Confidence Limits For Various Combinations of Positive Results When Various Numbers of Tubes Are Used Per Dilution (10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml)

| | **Tubes per Dilution** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Combination** | **3** | | | **5** | | |
| **Of Positives** | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | |
| | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** |
| 0-0-0 | <3 | <0.5 | 9 | <2 | <0.5 | 7 |
| 0-0-1 | 3 | <0.5 | 13 | 2 | <0.5 | 7 |
| 0-1-0 | 3 | <0.5 | 20 | 2 | <0.5 | 11 |
| 0-2-0 | - | 1 | 21 | 4 | <0.5 | 7 |
| 1-0-0 | 4 | 1 | 23 | 2 | <0.5 | 11 |
| 1-0-1 | 7 | 3 | 36 | 4 | <0.5 | 11 |
| 1-1-0 | 7 | 3 | 36 | 4 | <0.5 | 15 |
| 1-1-1 | 11 | 1 | 36 | 6 | <0.5 | 15 |
| 1-2-0 | 11 | 3 | 37 | 6 | <0.5 | 13 |
| 2-0-0 | 9 | 3 | 44 | 5 | 1 | 7 |
| 2-0-1 | 14 | 7 | 89 | 7 | 1 | 17 |
| 2-1-0 | 15 | 4 | 47 | 7 | | 21 |
| 2-1-1 | 20 | 10 | 150 | 9 | 2 | 21 |
| 2-2-0 | 21 | 4 | 120 | 9 | 2 | 28 |
| 2-2-1 | 28 | 7 | 130 | - | 3 | 19 |

**ตารางที่ ก.1** MPN Index and 95% Confidence Limits For Various Combinations of Positive Results When Various Numbers of Tubes Are Used Per Dilution (10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml) (ต่อ)

| | Tubes per Dilution | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Combination** | **3** | | | **5** | | |
| **Of Positives** | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | |
| | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** |
| 2-3-0 | - | 15 | 380 | 12 | 1 | 25 |
| 3-0-0 | 23 | 7 | 210 | 8 | 2 | 25 |
| 3-0-1 | 39 | 14 | 230 | 11 | 2 | 34 |
| 3-0-2 | 64 | 30 | 380 | - | 4 | 34 |
| 3-1-0 | 43 | 15 | 380 | 11 | 4 | 46 |
| 3-1-1 | 75 | 30 | 440 | 14 | 5 | |
| 3-1-2 | 120 | 35 | 470 | - | | |
| 3-2-0 | 93 | 36 | 1,300 | 14 | | |
| 3-2-1 | 150 | 71 | 2,400 | 17 | | 31 |
| 3-2-2 | 210 | 150 | 4,800 | - | 3 | 46 |
| 3-3-0 | 240 | | | - | 5 | 46 |
| 3-3-1 | 460 | | | - | 5 | 63 |
| 3-3-2 | 1,000 | | | - | 7 | |
| 3-3-3 | [3] 2,400 | | | - | | |
| 4-0-0 | - | | | 13 | | |
| 4-0-1 | - | | | 17 | | |
| 4-1-0 | - | | | 17 | | |
| 4-1-1 | - | | | 21 | 9 | 78 |
| 4-1-2 | - | | | 26 | 7 | 67 |
| 4-2-0 | - | | | 22 | 9 | 78 |
| 4-2-1 | - | | | 26 | 9 | 80 |

**ตารางที่ ก.1** MPN Index and 95% Confidence Limits For Various Combinations of Positive Results When Various Numbers of Tubes Are Used Per Dilution (10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml) (ต่อ)

| | Tubes per Dilution | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Combination** | **3** | | | **5** | | |
| **Of Positives** | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | |
| | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** | **/100 mi** | **Lower** | **Upper** |
| 4-3-0 | - | | | 27 | 11 | 93 |
| 4-3-1 | - | | | 33 | 12 | 93 |
| 4-4-0 | - | | | 34 | 7 | 70 |
| 5-0-0 | - | | | 23 | 11 | 89 |
| 5-0-1 | - | | | 31 | 15 | 110 |
| 5-0-2 | - | | | 43 | 11 | 93 |
| 5-1-0 | - | | | 33 | 16 | 120 |
| 5-1-1 | - | | | 46 | 21 | 150 |
| 5-1-2 | - | | | 63 | 17 | 130 |
| 5-2-0 | - | | | 49 | 23 | 170 |
| 5-2-1 | - | | | 70 | 28 | 220 |
| 5-2-2 | - | | | 94 | 25 | 190 |
| 5-3-0 | - | | | 79 | 31 | 250 |
| 5-3-1 | - | | | 110 | 37 | 340 |
| 5-3-2 | - | | | 140 | 44 | 500 |
| 5-3-3 | - | | | 180 | | |
| 5-4-0 | - | | | 130 | 35 | 300 |
| 5-4-1 | - | | | 170 | 43 | 490 |
| 5-4-2 | - | | | 220 | 57 | 700 |

**ตารางที่ ก.1** MPN Index and 95% Confidence Limits For Various Combinations of Positive Results When Various Numbers of Tubes Are Used Per Dilution (10 ml, 1.0 ml, 0.1 ml) (ต่อ)

| | Tubes per Dilution | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Combination** | **3** | | | **5** | | |
| **Of Positives** | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | | **MPN Index** | **95% Confidence Limits** | |
| | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** | **/100 ml** | **Lower** | **Upper** |
| 5-4-3 | - | | | 280 | 90 | 850 |
| 5-4-4 | - | | | 350 | 120 | 1,000 |
| 5-5-0 | - | | | 240 | 68 | 750 |
| 5-5-1 | - | | | 350 | 120 | 1,000 |
| 5-5-2 | - | | | 540 | 180 | 1,400 |
| 5-5-3 | - | | | 920 | 300 | 3,200 |
| 5-5-4 | - | | | 1,600 | 640 | 5,800 |
| 5-5-5 | - | | | [3] 2,400 | | |

### 1.1.4 การควบคุมคุณภาพ

ทาการทดสอบ method blank เช่นเดียวกับการทดสอบตัวอย่าง เพื่อทดสอบการปนเปื้อน (contaminate) ระหว่างการทดสอบ (กรรณิการ์, 2549)

# ภาคผนวก ข
# ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

**ตารางที่ ข.1** ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

| คุณภาพน้ำ | หน่วย | อาคารประเภท ก (สถานพยาบาลขนาด 30 เตียงขึ้นไป) | อาคารประเภท ก (สถานพยาบาลขนาด 10-30 เตียงขึ้นไป) |
|---|---|---|---|
| ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) | Mg/l | 5-9 | 5-9 |
| บีโอดี (BOD) mg/L | Mg/l | ไม่เกิน 20 | ไม่เกิน 20 |
| สารแขวนลอย (Suspended Solids) mg/L | Mg/l | ไม่เกิน 30 | ไม่เกิน 40 |
| ซัลไฟด์(Sulfide) mg/L | Mg/l | ไม่เกิน 1.0 | ไม่เกิน 1.0 |
| สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids) (mg/L) | Mg/l | ไม่เกิน 500 | ไม่เกิน 500 |
| ตะกอนหนัก (Settleable Solids) ml/L | Mg/l | ไม่เกิน 0.5 | ไม่เกิน 0.5 |
| น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) mg/L | Mg/l | ไม่เกิน 20 | ไม่เกิน 20 |
| ซีโอดี (COD) | Mg/l | ไม่เกิน 120 | ไม่เกิน 120 |
| Coliform Bateria | MPN/100 mg | ไม่เกิน 5,000 | ไม่เกิน 5,000 |
| Faecal Coliform Bateria | MPN/100 mg | ไม่เกิน 1,000 | ไม่เกิน 1,000 |

# ภาคผนวก ค
# การคำนวณสารประกอบคลอรีนและโอโซน

**1.1 การคำนวณสารประกอบคลอรีน**

ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1,000 มิลลิลิตร จากสารละลายคลอรีนมาตรฐานเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ว่า

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

โดยที่ $C_1$ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_2$ คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$V_1$ คือ ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

$V_2$ คือ ปริมาตรสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)

แทนค่าจากสูตรจะได้

$$100 \times V_1 = 0.5 \times 1,000$$

$$V_1 = \frac{0.5 \times 1,000}{100}$$

$V_1 = 5.0$ มิลลิลิตร

ดังนั้น จะต้องปีเปตเอาสารละลายคลอรีนมาตรฐานเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในบิกแกอร์ปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นคลอรีนเริ่มต้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ฉะนั้น ถ้าต้องการความเข้มข้นคลอรีน 1, 1.5, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องใช้ปริมาตรสารละลายคลอรีน 10, 15, 20 และ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ

**1.2 การคำนวณโอโซน**

ในการทดลองใช้เครื่องผลิตโอโซน ขนาด 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงต่อลิตร ถ้าต้องการความเข้มข้นโอโซน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องเปิดเครื่องเป็นเวลา ดังนี้

แปลงชั่วโมงเป็นวินาที จะได้ 1 ชั่วโมง = 3,600 วินาที

ความเข้มข้นโอโซน 1 มิลลิกรัม = $\frac{1 \times 3,600}{800}$

= 4.50 วินาที

ดังนั้น ถ้าต้องการความเข้มข้นโอโซนที่ 1, 3, 12, 48 และ 100 มิลลิกรัม ต้องเปิดเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงต่อลิตร เป็นเวลา 4.50, 13.51, 54.05, 216.22 และ 450.45 วินาที ตามลำดับ

**1.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายต่อหน่วย สารประกอบคลอรีน**

สารประกอบคลอรีนที่ใช้ชนิดผง บรรจุในถังๆละ 40 กิโลกรัม ราคาถังละ 3,500 บาท ฉะนั้น คิดเป็นราคาต่อกิโลกรัม = $\frac{3,500}{40}$

= 88 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 88 บาท ต่อ 1,000 กรัม

จากผลการทดลองที่ 4.2.1 ปริมาณความเข้มข้นคลอรีนที่เหมาะสม เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถหาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยดังนี้

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย = $\frac{88 \times (1.5)}{1,000}$

= 0.13 บาทต่อลิตร

**1.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายต่อหน่วยโอโซน**

การคิดค่าใช้จ่ายต่อหน่วย ค่าไฟฟ้า เป็น ยูนิต (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ของเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงต่อลิตร มีกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ จากปริมาณที่เหมาะสมของโอโซน ที่ความเข้มข้นโอโซน 48.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลา 216.22 วินาที คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 3 บาท ได้ดังนี้

ค่าไฟฟ้า = กิโลวัตต์ x ชั่วโมง (ยูนิต)

ค่าไฟฟ้า = $\frac{100}{1,000} \times \frac{216.22}{3,600}$

= 0.006 ยูนิต

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย = 0.006 x 3

= 0.02 บาทต่อลิตร

**1.4 การคำนวณประสิทธิภาพ TCB และ FCB**

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างกรณีการใช้สารประกอบคลอรีน การหาปริมาณที่เหมาะสม จากตารางการทดลองที่ 4.1 เชื้อเริ่มต้น เท่ากับ 160,000±0.0 MPN/100 ml ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า TCB เท่ากับ 730±268.7 มีประสิทธิภาพ TCB และ FCB เท่ากับ 99.5% แสดงวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{730 \times 100}{160{,}000}$$

$$= 0.5$$

ฉะนั้น มีประสิทธิภาพ = 100 – 0.5

= 99.5 เปอร์เซ็นต์

# ภาคผนวก ง
# ข้อมูลจริงที่ใช้ในงานวิจัย

## 1.1 การใช้สารประกอบคลอรีน

### 1.1.1 การหาปริมาณ

**ตารางที่ ง.1** ค่าพีเอชและค่าคลอรีนตกค้างจากการใช้คลอรีน

| ความเข้มข้นคลอรีน | การทดลองที่ | pH | เฉลี่ย pH | ค่า SD (pH) | ปริมาตร 0.001N $Na_2S_2O_3$ (mL) | Chlorine ตกค้าง | เฉลี่ย Chlorine ตกค้าง | ค่า SD (Chlorine ตกค้าง) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.23 | 7.22 | 0.01 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.21 | | | 0 | 0.00 | | |
| 1.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.24 | 7.23 | 0.01 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.22 | | | 0 | 0.00 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.24 | 7.24 | 0.00 | 2 | 0.28 | 0.30 | 0.02 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.24 | | | 2.2 | 0.31 | | |
| 2.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.23 | 7.22 | 0.01 | 4 | 0.57 | 0.57 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.21 | | | 4 | 0.57 | | |
| 3.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.23 | 7.23 | 0.00 | 9.3 | 1.32 | 1.33 | 0.02 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.23 | | | 9.5 | 1.35 | | |

**ตารางที่ ง.2** ค่า TCB และ FCB จากการใช้คลอรีน

| ความเข้มข้นคลอรีน | การทดลองที่ | TCB | เฉลี่ย TCB | ค่า SD (TCB) | FCB | เฉลี่ย FCB | ค่า SD (FCB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 92,000 | 92,000 | 0.00 | 92000 | 92000.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 92,000 | | | 92000 | | |
| 1.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 2,200 | 9,600 | 10465.18 | 2200 | 9600.00 | 10465.18 |
| | ซ้ำที่ 2 | 17,000 | | | 17000 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 920 | 730 | 268.70 | 540 | 540.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 540 | | | 540 | | |
| 2.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 49 | 49 | 0.00 | 33 | 33.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 49 | | | 33 | | |
| 3.0 mg $Cl_2$/L | ซ้ำที่ 1 | 13 | 15 | 2.83 | 13 | 10.50 | 3.54 |
| | ซ้ำที่ 2 | 17 | | | 8 | | |

**ตารางที่ ง.3** เปียบเทียบค่า TCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | 0.001 | เทียบตาราง | ค่า TCB |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 920 | 92,000 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 920 | 92,000 |
| 5 | 5 | 4 | 2 | 0 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 0 | 170 | 17,000 |
| 5 | 5 | 3 | | | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 2 | | | 540 | 540 |
| 5 | 2 | 0 | | | 49 | 49 |
| 5 | 2 | 0 | | | 49 | 49 |
| 4 | 0 | 0 | | | 13 | 13 |
| 4 | 1 | 0 | | | 17 | 17 |

**ตารางที่ ง.4** เปียบเทียบค่า FCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | 0.001 | เทียบตาราง | ค่า FCB |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 920 | 92,000 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 920 | 92,000 |
| 5 | 5 | 4 | 2 | 0 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 0 | 170 | 17,000 |
| 5 | 5 | 2 | | | 540 | 540 |
| 5 | 5 | 2 | | | 540 | 540 |
| 5 | 1 | 0 | | | 33 | 33 |
| 5 | 1 | 0 | | | 33 | 33 |
| 4 | 0 | 0 | | | 33 | 13 |
| 3 | 0 | 0 | | | 8 | 8 |

### 1.1.2 การหาเวลาสัมผัส

จากตารางที่ 4.5 มีข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองดังนี้

**ตารางที่ ง.5** ค่าพีเอชและค่าคลอรีนตกค้าง

| ความเข้มข้นคลอรีน | เวลา (นาที) | การทดลองที่ | pH | เฉลี่ย pH | ค่า SD (pH) | ปริมาตร 0.001N $Na_2S_2O_3$ (mL) | Chlorine ตกค้าง | เฉลี่ย Chlorin ตกค้าง | ค่า SD (Chlorine ตกค้าง) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 10 นาที | ซ้ำที่ 1 | 7.24 | 7.24 | 0.00 | 2.20 | 0.31 | 0.33 | 0.02 |
| | | ซ้ำที่ 2 | 7.24 | | | 2.40 | 0.34 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 15 นาที | ซ้ำที่ 1 | 7.26 | 7.27 | 0.01 | 2.00 | 0.28 | 0.28 | 0.00 |
| | | ซ้ำที่ 2 | 7.27 | | | 2.00 | 0.28 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 20 นาที | ซ้ำที่ 1 | 7.25 | 7.26 | 0.01 | 2.00 | 0.28 | 0.28 | 0.00 |
| | | ซ้ำที่ 2 | 7.27 | | | 2.00 | 0.28 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | ซ้ำที่ 1 | 7.25 | 7.26 | 0.01 | 1.90 | 0.27 | 0.26 | 0.01 |
| | | ซ้ำที่ 2 | 7.27 | | | 1.80 | 0.26 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 40 นาที | ซ้ำที่ 1 | 7.24 | 7.26 | 0.02 | 1.00 | 0.14 | 0.14 | 0.00 |
| | | ซ้ำที่ 2 | 7.27 | | | 1.00 | 0.14 | | |

**ตารางที่ ง.6** ค่า TCB และ FCB

| เวลา (นาที) | การทดลองที่ | TCB | เฉลี่ย TCB | ค่า SD (TCB) | FCB | เฉลี่ย FCB | ค่า SD (FCB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 นาที | ซ้ำที่ 1 | 920 | 920.00 | 0.00 | 540 | 540.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 920 | | | 540 | | |
| 15 นาที | ซ้ำที่ 1 | 920 | 730.00 | 268.70 | 540 | 445.00 | 134.35 |
| | ซ้ำที่ 2 | 540 | | | 350 | | |
| 20 นาที | ซ้ำที่ 1 | 540 | 380.00 | 226.27 | 240 | 240.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 220 | | | 240 | | |
| 30 นาที | ซ้ำที่ 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 0 | | | 0 | | |
| 40 นาที | ซ้ำที่ 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| | ซ้ำที่ 2 | 0 | | | 0 | | |

**ตารางที่ ง.7** เทียบค่า TCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | เทียบตาราง | ค่า TCB |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 3 | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 3 | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 3 | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 2 | 540 | 540 |
| 5 | 5 | 2 | 540 | 540 |
| 5 | 4 | 2 | 220 | 220 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**ตารางที่ ง.8** เทียบค่า FCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | เทียบตาราง | ค่า FCB |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 2 | 540 | 540 |
| 5 | 5 | 2 | 540 | 540 |
| 5 | 5 | 2 | 540 | 540 |
| 5 | 5 | 1 | 350 | 350 |
| 5 | 5 | 0 | 240 | 240 |
| 5 | 5 | 0 | 240 | 240 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

### 1.1.3 การหาค่าพีเอช

จากตารางที่ 4.6 มีข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองดังนี้

**ตารางที่ ง.9** ค่าคลอรีนตกค้าง

| ความเข้มข้นคลอรีน | เวลา (นาที) | pH | ปริมาตร 0.001N $Na_2S_2O_3$ (mL) | Chlorine ตกค้าง | เฉลี่ย Chlorine ตกค้าง | ค่า SD (Chlorine ตกค้าง) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 6.00 | 1.00 | 0.14 | 0.14 | 0.00 |
| | | | 1.00 | 0.14 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 7.00 | 1.00 | 0.14 | 0.14 | 0.00 |
| | | | 1.00 | 0.14 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 8.00 | 1.00 | 0.14 | 0.14 | 0.00 |
| | | | 1.00 | 0.14 | | |

ตารางที่ ง.10 เทียบค่า TCB และ FCB

| ความเข้มข้นคลอรีน | เวลา (นาที) | pH | การทดลองที่ | TCB | เฉลี่ย TCB | ค่า SD (TCB) | FCB | เฉลี่ย FCB | ค่า SD (FCB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 6.00 | ซ้ำที่ 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | 0 | | | 0 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 7.00 | ซ้ำที่ 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | 0 | | | 0 | | |
| 1.5 mg $Cl_2$/L | 30 นาที | 8.00 | ซ้ำที่ 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | 0 | | | 0 | | |

## 1.2 การใช้โอโซน

### 1.2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของโอโซน

มีข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองดังนี้

ตารางที่ ง.11 ค่าTCB และ FCB ของโอโซน

| ความเข้มข้น $O_3$ | การทดลองที่ | pH | sd | เฉลี่ย pH | TCB | sd | เฉลี่ย TCB | FCB | sd | เฉลี่ย FCB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 mg $O_3$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.19 | 0.00 | 7.19 | 24,000 | 0.00 | 24,000 | 16,000 | 0.00 | 16,000 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.19 | | | 24,000 | | | 16,000 | | |
| 12.0 mg $O_3$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.33 | 0.00 | 7.33 | 16,000 | 0.00 | 16,000 | 9,200 | 4808.33 | 12,600 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.33 | | | 16,000 | | | 16,000 | | |
| 36.0 mg $O_3$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.70 | 0.00 | 7.70 | 9,200 | 2687.01 | 7,300 | 3,500 | 1343.50 | 4,450 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.70 | | | 5,400 | | | 5,400 | | |
| 48.0 mg $O_3$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.85 | 0.00 | 7.85 | 920 | 0.00 | 920 | 240 | 0.00 | 240 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.85 | | | 920 | | | 240 | | |
| 100 mg $O_3$/L | ซ้ำที่ 1 | 7.93 | 0.00 | 7.93 | 49 | 0.00 | 49 | 17 | 0.00 | 17 |
| | ซ้ำที่ 2 | 7.93 | | | 49 | | | 17 | | |

**ตารางที่ ง.12** เทียบค่า TCB ของโอโซน

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | 0.001 | เทียบตาราง | ค่า TCB |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 240 | 24,000 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 240 | 24,000 |
| 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 1,600 | 16,000 |
| 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 1,600 | 16,000 |
| 5 | 5 | 5 | 3 | 0 | 920 | 9,200 |
| 5 | 5 | 5 | 2 | 0 | 540 | 5,400 |
| 5 | 5 | 3 | 0 | 0 | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 3 | 0 | 0 | 920 | 920 |
| 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 49 | 49 |
| 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 49 | 49 |

**ตารางที่ ง.13** เทียบค่า FCB ของโอโซน

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | 0.001 | เทียบตาราง | ค่า FCB |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 1,600 | 16,000 |
| 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 1,600 | 16,000 |
| 5 | 5 | 5 | 3 | 0 | 920 | 9,200 |
| 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 1,600 | 16,000 |
| 5 | 5 | 5 | 1 | 0 | 350 | 3,500 |
| 5 | 5 | 5 | 2 | 0 | 540 | 5,400 |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 240 | 240 |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 240 | 240 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 17 | 17 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 17 | 17 |

### 1.2.2 การหาเวลาสัมผัส ที่เหมาะสมของโอโซน

จากตารางที่ 4.8 มีข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองดังนี้

**ตารางที่ ง.14** ค่าเวลาสัมผัสของ TCB และ FCB ของโอโซน

| ความเข้มข้น $O_3$ | เวลา (นาที) | การทดลองที่ | sd | pH | เฉลี่ย pH | sd | TCB | เฉลี่ย TCB | sd | FCB | เฉลี่ย FCB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48.0 mg | 10 | ซ้ำที่ 1 | | 6.99 | 7.00 | | 3,500 | 3,500 | | 2,200 | 2,500 |
| $O_3$/L | นาที | ซ้ำที่ 2 | 0.01 | 7.01 | | 0.00 | 3,500 | | 424.26 | 2,800 | |
| 48.0 mg | 15 | ซ้ำที่ 1 | | 6.95 | 6.98 | | 3,500 | 2,950 | | 1,700 | 1,700 |
| $O_3$/L | นาที | ซ้ำที่ 2 | 0.04 | 7.00 | | 777.82 | 2,400 | | 0.00 | 1,700 | |
| 48.0 mg | 20 | ซ้ำที่ 1 | | 6.94 | 6.93 | | 2,200 | 2,200 | | 1,300 | 1,500 |
| $O_3$/L | นาที | ซ้ำที่ 2 | 0.01 | 6.92 | | 0.00 | 2,200 | | 282.84 | 1,700 | |
| 48.0 mg | 30 | ซ้ำที่ 1 | | 6.99 | 6.99 | | 1,700 | 1,950 | | 1,100 | 1,100 |
| $O_3$/L | นาที | ซ้ำที่ 2 | 0.00 | 6.99 | | 353.55 | 2,200 | | 0.00 | 1,100 | |
| 48.0 mg | 40 | ซ้ำที่ 1 | | 6.99 | 6.96 | | 1,700 | 1,700 | | 790 | 790 |
| $O_3$/L | นาที | ซ้ำที่ 2 | 0.05 | 6.92 | | 0.00 | 1,700 | | 0.00 | 790 | |

**ตารางที่ ง.15** เทียบค่าเวลาสัมผัสของ TCB ของโอโซน

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | เทียบตาราง | ค่า TCB |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 5 | 1 | 350 | 3,500 |
| 5 | 5 | 5 | 1 | 350 | 3,500 |
| 5 | 5 | 5 | 1 | 350 | 3,500 |
| 5 | 5 | 5 | 0 | 240 | 2,400 |
| 5 | 5 | 4 | 2 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 2 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |
| 5 | 5 | 4 | 2 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |

**ตารางที่ ง.16** เทียบค่าเวลาสัมผัสของ FCB ของโอโซน

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | เทียบตาราง | ค่า FCB |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 4 | 2 | 220 | 2,200 |
| 5 | 5 | 4 | 3 | 280 | 2,800 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |
| 5 | 5 | 4 | 0 | 130 | 1,300 |
| 5 | 5 | 4 | 1 | 170 | 1,700 |
| 5 | 5 | 3 | 1 | 110 | 1,100 |
| 5 | 5 | 3 | 1 | 110 | 1,100 |
| 5 | 5 | 3 | 0 | 790 | 790 |
| 5 | 5 | 3 | 0 | 790 | 790 |

### 1.2.3 การหาค่าพีเอชจากการใส่โอโซน

จากตารางที่ 4.9 มีข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองดังนี้

**ตารางที่ ง.17** ค่าพีเอชจากการใส่โอโซนของ TCB และ FCB

| ความเข้มข้นโอโซน | เวลา (นาที) | pH | การทดลองที่ | sd | TBC | เฉลี่ย TBC | sd | FBC | เฉลี่ย FBC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48.0 mg $O_3$/L | 40 | 6.00 | ซ้ำที่ 1 | 0.00 | 1,800 | 1,800 | 0.00 | 1,100 | 1,100 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | | 1,800 | | | 1,100 | |
| 48.0 mg $O_3$/L | 40 | 7.00 | ซ้ำที่ 1 | 0.00 | 1,600 | 1,600 | 0.00 | 940 | 940 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | | 1,600 | | | 940 | |
| 48.0 mg $O_3$/L | 40 | 8.00 | ซ้ำที่ 1 | 0.00 | 920 | 920 | 0.00 | 700 | 700 |
| | | | ซ้ำที่ 2 | | 920 | | | 700 | |

**ตารางที่ ง.18** เทียบค่า TCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | เทียบตาราง | ค่า TCB |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 3 | 3 | 180 | 1,800 |
| 5 | 5 | 3 | 3 | 180 | 1,800 |
| 5 | 5 | 4 | | 1,600 | 1,600 |
| 5 | 5 | 4 | | 1,600 | 1,600 |
| 5 | 5 | 3 | | 920 | 920 |
| 5 | 5 | 3 | | 920 | 920 |

**ตารางที่ ง.19** เทียบค่า FCB

| 10 | 1.0 | 0.1 | 0.01 | เทียบตาราง | ค่า FCB |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 3 | 1 | 110 | 1,100 |
| 5 | 5 | 3 | 1 | 110 | 1,100 |
| 5 | 5 | 2 | 2 | 94 | 940 |
| 5 | 5 | 2 | 2 | 94 | 940 |
| 5 | 5 | 2 | 1 | 70 | 700 |
| 5 | 5 | 2 | 1 | 70 | 700 |

# ประวัติผู้วิจัย

| | |
|---|---|
| **ชื่อ** | นายยุทธศิลป์ กุลวงศ์ |
| **ประวัติการศึกษา** | พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2547 วิทยาศาสตรบัณฑิต<br>(วท.บ.ไฟฟ้ากำลังและอิเล็กทรอนิกส์)<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี |
| **ประวัติการทำงาน** | พ.ศ. 2538 – พ.ศ. 2556<br>กลุ่มงานการจัดการ งานซ่อมบำรุง<br>โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม<br>จังหวัดอุบลราชธานี |
| **ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน** | นายช่างเทคนิคชำนาญงาน<br>โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชเดชอุดม<br>อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี |