# รายงานฉบับสมบูรณ์
# กิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) นวัตกรรมระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์สาธารณะ: กรณีศึกษาของสระน้ำที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งชุมชน

(ภาษาอังกฤษ) Innovative Water Quality Improvement System of Water Resource for Public Water Use: Case Studies of Domestic Effluent Contaminated Ponds

**โดย**

**ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุลและคณะ**

**ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**



ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม
ภายใต้ทุนท้าทายไทยเพื่อจัดการความรู้เพื่อใช้ประโยชน์เชิงชุมชน สังคม
การส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2564


**รายงานความก้าวหน้าการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม**
**ภายใต้โครงการทุนท้าทายไทยเพื่อจัดการความรู้เพื่อใช้ประโยชน์เชิงชุมชนสังคม-การใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย**
**และนวัตกรรมเพื่อชุมชนสังคม ประจำปี 2564**

# บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบบำบัดคุณภาพน้ำสำหรับสระน้ำที่ปนเปื้อนจากน้ำทิ้งชุมชนเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริง และพัฒนาองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมการปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับสระน้ำ เพื่อพัฒนาแนวทางการเดินระบบ การควบคุมดูแลระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริงที่พัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีการดำเนินการปรับพื้นที่ ปรับภูมิทัศน์ และติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Multimedia filter/Ozone ร่วมกับการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกและน้ำพุ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ รวมถึงมีการพัฒนาระบบเติมอากาศในน้ำด้วยระบบ Solar aeration และ Wind-energy aeration แบบเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำอีกด้วย

ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสระระหว่างดำเนินระบบ Multimedia filter/Ozone พบว่าน้ำในสระหลังการบำบัดน้ำแล้วพบว่าระบบ Multimedia filter/Ozone ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในสระน้ำ สามารถกำจัด BOD, Ammonia, Phosphate, และ Coliform Bacteria ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้น้ำในสระมีค่าออกซิเจนละลายที่ผ่านมาตรฐานน้ำผิวดิน ประเภทที่ 2

ในส่วนของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบ solar aeration system และแบบ wind-energy aeration system ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในสระน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD, ค่า TKN ไนโตรเจน และค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทำให้คุณภาพน้ำในสระน้ำดีขึ้น และยังช่วยประหยัดพลังงานในการเดินระบบอีกด้วย

โครงการนี้ได้บรรลุเป้าหมายในการพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริง และพัฒนาแนวทางการเดินระบบ การควบคุมดูแลระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริงนี้ที่พัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมระบบบำบัดน้ำเสีย

# ABSTRACT

This research aimed to develop a prototype full-scale water treatment system to upgrade water quality for pond water. Also, the knowledge on the developed innovative system was also described in order to develop the operation and control of this prototype system. The integrated water treatment system included the Multimedia filter/Ozone treatment together with the reaeration system using a water fall for water quality improvement of the pond water. The system could enhance dissolved oxygen in water and improve water quality. Moreover, this research also developed the solar aeration system as well as the wind-energy aeration system as eco-friendly systems in order to upgrade the dissolved oxygen in the pond water.

The developed Multimedia filter/Ozone system with the reaeration system could significantly enhance the dissolved oxygen in the pond water. The system could efficiently remove BOD, ammonia, phosphate and coliform bacteria in the pond water. As a result, the pond water quality could comply with the surface water quality type II.

For the application of solar aeration system as well as the wind-energy aeration system, they could enhance the dissolved oxygen concentration in the pond water effectively as well as reduce BOD, TKN-nitrogen and coliform bacteria in the pond water significantly.

This research can achieve the development of a prototype full-scale water treatment system to upgrade water quality for pond water. Furthermore, the guideline on knowledge development for the water quality improvement of the pond water can provide the method for system operation and control of water quality in the water pond system.

# สารบัญ

**เนื้อหา** **หน้า**

**บทคัดย่อ** ..... **ก**

**ABSTRACT** ..... **ข**

**สารบัญ** ..... **1**

**บทที่ 1 บทนำ** ..... **3**

1.1 หลักการและเหตุผล ..... 3

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 4

1.3 ตัวชี้วัด/ผลผลิตของโครงการ ..... 4

1.4 สรุปตารางเปรียบเทียบการดำเนินงาน ..... 4

**บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม** ..... **6**

2.1 เทคโนโลยีโอโซน (Ozone Oxidation) ..... 6

2.1.1) คุณสมบัติของโอโซน ..... 7

2.1.2) ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโอโซน ..... 8

2.1.3) ปฏิกิริยาสลายตัวของโอโซนในน้ำ ..... 8

2.1.4) ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน ..... 8

2.2 กระบวนการกรอง (Filtration) ..... 9

2.3 ระบบเติมอากาศ (Solar Mixing) ..... 10

2.4 ระบบหมุนเวียนน้ำและการเติมออกซิเจนแบบน้ำตก ..... 10

**บทที่ 3 การดำเนินงานตามแผนงาน** ..... **11**

3.1 การปรับพื้นที่และดำเนินการติดตั้งระบบ Ozone/ Multimedia filter ..... 12

3.2 การติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Ozone/ Multimedia filter 13

3.2.1) รายละเอียดระบบ Multimedia Filter ..... 14

3.2.2) ระบบ EQ Pump และ Stock Tank 1-2 ..... 15

3.2.3) ระบบ Ozone System ..... 16

3.2.4) ระบบเติมโอโซนในน้ำ (Mixing Unit) ..... 17

3.3 การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกและน้ำพุ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ..... 18
3.3.1) การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำพุเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ..... 18
3.3.2) การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ..... 20
3.4 การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond ..... 24
และแบบ Wind-energy aeration pond ซึ่งเป็นรูปแบบประหยัดพลังงาน
3.4.1) ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond ..... 24
3.4.2) ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Wind-energy aeration pond 39
3.5 การทดสอบเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ..... 39

**บทที่ 4 ผลการดำเนินการ และอภิปรายผล ..... 40**
4.1 การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อน ในระดับห้องปฏิบัติการ 41
4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำตรวจวัดที่สระน้ำ..... 43
4.3 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของห้องปฏิบัติการ..... 46
4.4 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสระน้ำของระบบ Solar aeration ..... 48

**บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ ..... 59**
**บรรณานุกรม ..... 60**

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 หลักการและเหตุผล

สืบเนื่องด้วยยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ (ปี พ.ศ. 2558-2569) ยุทธศาสตร์ที่ 4 ด้านการจัดการคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำ ซึ่งคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำโดยทั่วไปสามารถพิจารณาได้จาก สี กลิ่น ความขุ่น ของแข็ง สารอินทรีย์ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย นั่นคือ น้ำที่มีคุณภาพดีต้องใส ปราศจากสี และกลิ่น แหล่งน้ำใดที่มีความขุ่นสูง ย่อมแสดงว่ามีการส่องผ่านของแสงน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากตะกอนดิน สาหร่าย หรือสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่แขวนลอยในน้ำ สำหรับแหล่งน้ำที่รับน้ำทิ้งจากอาคารหรือจากชุมชน จำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพน้ำ กลิ่น สี และพารามิเตอร์อื่นๆ งานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาของการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งของสระน้ำ เพื่อให้สามารถนำน้ำหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำแล้วมาใช้ประโยชน์สำหรับสาธารณะ (Public Use) ได้

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบบำบัดคุณภาพน้ำสำหรับสระน้ำที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งชุมชน จำนวน 2 กรณี โดย

กรณีที่ 1 พื้นที่ศึกษาเป็นสระน้ำที่รับน้ำดิบมาจากคลองบางบัวที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีส่วนประกอบของมลสารจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีที่ 2 พื้นที่ศึกษาเป็นสระน้ำหน้าอาคารของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งมีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากอาคาร ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์สาธารณะได้ สำหรับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่จะพิจารณาประกอบด้วย

1. คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ สารแขวนลอย สี กลิ่น ความขุ่น การนำไฟฟ้า อุณหภูมิ เป็นต้น
2. คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ($NH_4^{+1}$) ไนเตรต ( $No_3^-$ ) ฟอสเฟต ( $PO_4^-$ ) เป็นต้น
3. คุณภาพของน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย สาหร่าย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะช่วยส่งเสริมการจัดการน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์สาธารณะต่างๆ เช่นสำหรับภูมิสถาปัตย์ เพื่อการมีส่วนร่วมในการรักษาแหล่งน้ำของชุมชน

**1.2 วัตถุประสงค์** (เป้าหมายการดำเนินการวิจัย)

1. เพื่อการพัฒนาองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมการปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนมลสารที่มาจากน้ำทิ้งของชุมชน โดยใช้กรณีศึกษาของสระน้ำที่รับน้ำมาจากคลองบางบัวและสระน้ำหน้าอาคารของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ เพื่อพัฒนาแนวทางการเดินระบบ การควบคุมดูแลระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานที่พัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมระบบบำบัดน้ำเสีย
2. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานสำหรับแหล่งน้ำเพื่อการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ทางสาธารณะเพื่อลดปัญหาด้านกลิ่น สี สารอินทรีย์ ซัลไฟด์ ความขุ่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นต้น

**1.3 ตัวชี้วัด/ผลผลิตของโครงการ**

| ผลผลิต (Output) (เชิงปริมาณ/เชิงคุณภาพ) | ตัวชี้วัด | วิธีการวัดผล |
|---|---|---|
| คุณภาพน้ำดีขึ้น | พารามิเตอร์ได้แก่ กลิ่น สี ความขุ่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น | ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่สามารถบอกถึงผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ |
| ได้ต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริง สำหรับสระน้ำ | จำนวน 1 ระบบ | ต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำจำนวน 1 ระบบ |
| ได้คู่มือแนวทางการเดินระบบบำบัดน้ำที่พัฒนา | คู่มือแนวทางการเดินระบบบำบัดน้ำที่พัฒนา | คู่มือแนวทางการเดินระบบบำบัดน้ำที่พัฒนา |

**1.4 สรุปตารางเปรียบเทียบการดำเนินงานตามแผนการดำเนินงานที่ได้เสนอไว้กับงานที่ได้ดำเนินการไปแล้วในรูปของแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ ว่ามีกิจกรรม/ขั้นตอนปฏิบัติตามลำดับอย่างไร**

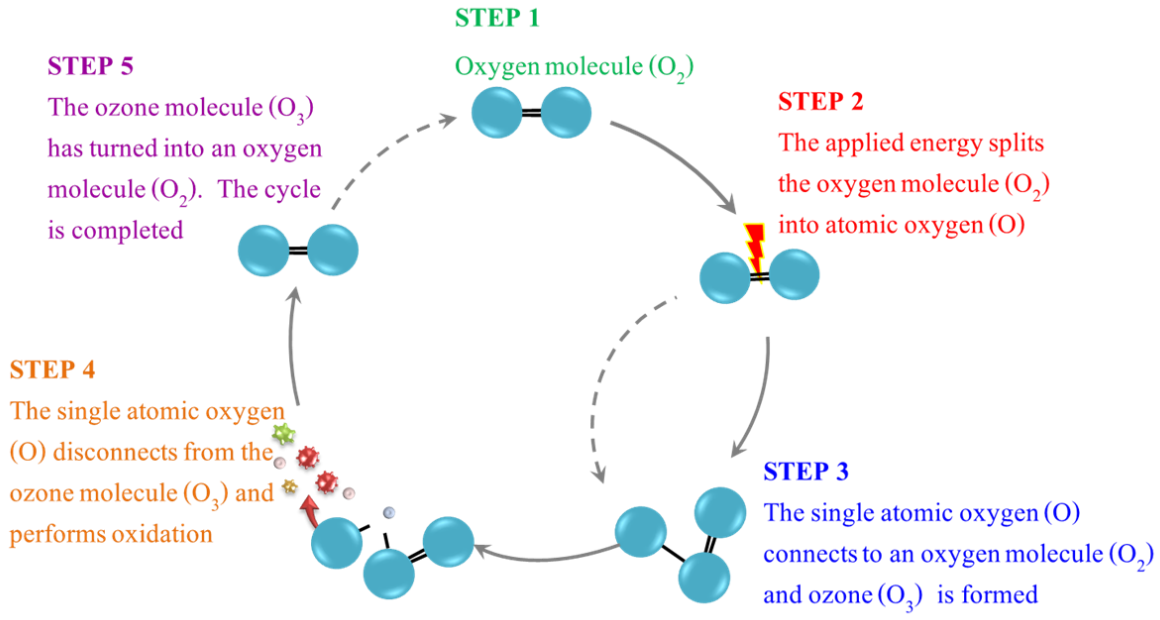
| กิจกรรม | เดือน | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1.ศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ รวบรวมเอกสารและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | ← | → | | | | | | | | | | |
| 2. พัฒนาแนวทางการออกแบบระบบและติดตั้งระบบบำบัดน้ำ | ← | — | — | → | | | | | | | | |
| 3. ดำเนินการทดสอบระบบ เก็บข้อมูลการเดินระบบ | | | | ← | — | — | — | — | — | → | | |
| 4. จัดทำคู่มือแนวทางการเดินระบบบำบัดน้ำที่พัฒนา และรายงานผลการศึกษาวิจัยที่ได้ | | | | | | | | | ← | → | | |
| 5. จัดทำสื่อวิดีทัศน์ความรู้ด้านระบบต้นแบบท่พัฒนา | | | | | | | | | | ↔ | | |

| กิจกรรมที่วางแผนไว้ | กิจกรรมที่เกิดขึ้นจริง |
|---|---|
| 1.ศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ รวบรวมเอกสารและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | ดำเนินการแล้วตามแผนงาน |
| 2. พัฒนาแนวทางการออกแบบระบบและติดตั้งระบบบำบัดน้ำ | ดำเนินการแล้วตามแผนงาน. |
| 3. ดำเนินการทดสอบระบบ เก็บข้อมูลการเดินระบบ | ดำเนินการแล้วตามแผนงาน. |
| 4. จัดทำคู่มือแนวทางการเดินระบบบำบัดน้ำที่พัฒนา และรายงานผลการศึกษาวิจัยที่ได้ | ดำเนินการแล้วตามแผนงาน. |
| 5. จัดทำสื่อการสอนด้านองค์ความรู้ของระบบ | ดำเนินการแล้วตามแผนงาน. |
| 6. ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ | ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ |

# บทที่ 2
# ทบทวนวรรณกรรม

## 2.1 เทคโนโลยีโอโซน (Ozone Oxidation)

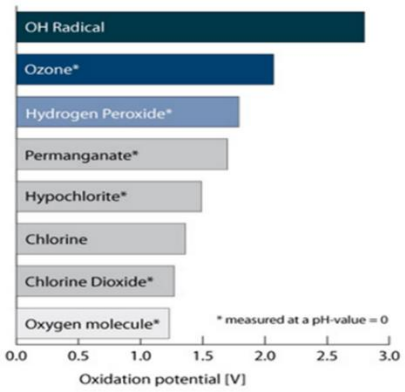
โอโซน (Ozone) คือ โมเลกุลของออกซิเจน 3 อะตอม ที่เกิดจากการแตกตัวของออกซิเจน ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในอากาศ โดยมีแสงอัลตราไวโอเลต เป็นตัวกระตุ้นเรียกอีกอย่างว่า ออกซิเจนที่มีพลัง (Active Oxygen) โดยโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด ทั้งในน้ำและอากาศ ทั้งยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรีย โดยการเข้าไปจับกับโมเลกุล และย่อยสลายสารปนเปื้อนด้วยวิธีการเปลี่ยนโครงสร้างของสารนั้น และยังสามารถทำลายกลิ่น สารเคมี และก๊าซพิษได้ดีเยี่ยม โดยไม่ทิ้งสารตกค้างใดๆ นอกจากออกซิเจน จึงไม่เป็นอันตรายหรือส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม แสดงดังภาพที่ 2-1




**ภาพที่ 2-1** ปฏิกิริยาการเกิดโอโซน

### 2.1.1 คุณสมบัติของโอโซน

- มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ได้กว้างขวาง โดยไม่ก่อผลตกค้างที่เป็นพิษ
- มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของสาหร่ายและตะไคร่น้ำ ในระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) ทำให้การถ่ายเทความร้อนของระบบดีขึ้น และช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น
- มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีน เนื่องจากมีค่า Oxidation Potential สูงกว่า (แสดงดังภาพที่ 2-2) เช่น
  - โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.01 ppm ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ 99% ภายใน 1 นาที
  - โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.4 ppm ฆ่าเชื้อไวรัสได้ 99% ภายใน 4 นาที

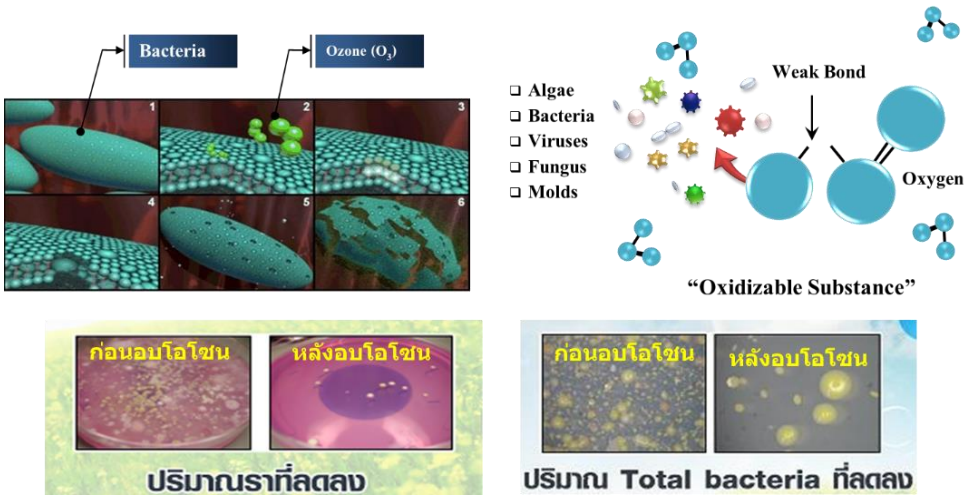



| Compound | Oxidation Potential | Relative Power Of Chlorine |
|---|---|---|
| Fluorine | 3.06 | 2.25 |
| Hydroxyl Radicals* | 2.80 | 2.05 |
| Ozone | 2.07 | 1.52 |
| Hydrogen Peroxide | 1.77 | 1.30 |
| Permanganate | 1.67 | 1.23 |
| Hypochlorous Acid | 1.49 | 1.10 |
| Chlorine | 1.36 | 1.00 |

*This ion is formed when ozone decomposes

**ภาพที่ 2-2** ค่า Oxidation Potential

- ใช้ในการทำลาย และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ และเชื้อรา เป็นต้น โดยโอโซนจะเข้าไปทำลายผนังเซลล์ทำให้ไม่เกิดการเจริญเติบโตต่อไป




**ภาพที่ 2-3** ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคด้วยโอโซน

### 2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโอโซน

2.1.2.1) อุณหภูมิ เมื่อเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณโอโซนลดลงเนื่องจากโอโซนจะสลายตัวได้เร็วขึ้น ความคงตัวของตัวโอโซนรวมทั้งความเข้มข้นของโอโซนขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

2.1.2.2) ค่าพีเอช มีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของโอโซนต่อสารอินทรีย์ต่างๆ โดยในสภาวะที่พีเอชน้อยกว่า 7 โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้ช้า ขณะที่เมื่อพีเอชมากกว่า 8 ปฏิกิริยาจะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโอโซนสลายตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคอล (Hydroxyl radicals ,$OH^o$) ที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง

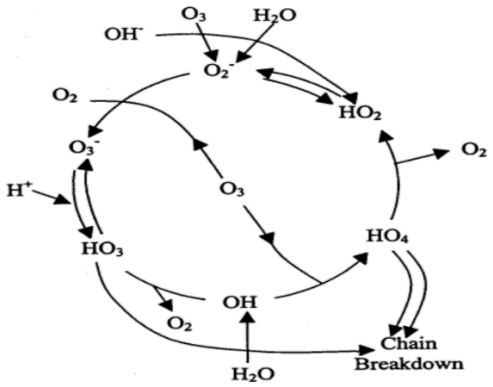
2.1.2.3) คุณสมบัติการละลาย ปริมาณสารประกอบของสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายของก๊าซโอโซน กล่าวคือถ้ามีสารประกอบและอนุภาคต่างๆ ในปริมาณที่มากจะส่งผลให้โอโซนละลายน้ำได้น้อยลง

2.1.2.4) ขนาดของฟองก๊าซโอโซน จำนวนและขนาดของหัวจ่ายที่ใช้ในการพ่นก๊าซมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซ ฟองก๊าซที่มีขนาดใหญ่จะทำให้การผสมระหว่างน้ำกับก๊าซไม่สมบูรณ์ ปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำจึงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับฟองก๊าซโอโซนที่มีขนาดเล็ก และความดันอากาศในการผลิตก๊าซโอโซนมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซ เนื่องจากที่ความดันสูงจะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดใหญ่ส่งผลให้เกิดการละลายน้ำได้น้อย

2.1.2.5) วิธีการที่โอโซนสัมผัสกับสารละลาย การเป่าก๊าซโอโซนและน้ำพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างก๊าซ และของเหลวอย่างชัดเจน ปริมาณโอโซนจะละลายน้ำได้จึงมีค่าน้อย แต่การพ่นโอโซนที่อยู่ในคอลัมน์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า สามารถทำให้โอโซนผสมกับของเหลวได้ดีกว่า ปริมาณโอโซนที่ได้จะมีค่าการละลายเพิ่มสูงขึ้น

### 2.1.3 ปฏิกิริยาสลายตัวของโอโซนในน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย โดยการแตกตัวให้เรดิคอล (Radicals) ต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl radicals ($OH^o$), $HO^o_2$, $HO^o_3$, $HO^o_4$, และ Super oxide ($O_2^-$) ดังภาพที่ 2-4




**ภาพที่ 2-4** ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในน้ำ *(Langlais และคณะ, 1991)*

เรดิคอลที่เกิดขึ้นมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆในน้ำธรรมชาติ กลไกการสลายตัวของโอโซนซับซ้อนกว่าในน้ำบริสุทธิ์ เพราะในน้ำธรรมชาติสารประกอบต่างๆ ซึ่งอาจเป็นตัวก่อ (Initiator) เช่น ฟอร์เมต $HO_2^-$, $Fe_2^+$, $OH^o$ หรือตัวกระตุ้น (Promotor) เช่น ฟอร์เมต และ Primary alcohol หรืออาจมีสารยับยั้ง (Inhibitor) เช่น คาร์บอเนต, ไบคาร์บอเนต และ Tertiary alcohol ของการสลายตัวของโอโซนอนุมูล Hydroxide ion เป็น Promotor ของการสลายตัวโอโซน ดังนั้นครึ่งชีวิตของโอโซนจึงค่อนข้างสั้นในสภาพด่าง โดยที่ pH เท่ากับ 10 ครึ่งชีวิตของโอโซนในน้ำบริสุทธิ์มีค่าประมาณ 30 นาที สารประกอบอินทรีย์ในธรรมชาติเป็นทั้ง Inhibitor และ Promotor ของปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน

2.1.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารอินทรีย์กับโอโซน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาโดยตรงและปฏิกิริยาโดยอ้อม ซึ่งผลลัพธ์ในแต่ละเส้นทางของปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันที่แตกต่างกัน และปฏิกิริยาจะมีชนิดของจลศาสตร์ที่ไม่เหมือนกัน กลไกในการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการโอโซนเนชันทั้ง 2 ทาง มีดังนี้

2.1.4.1) การทำปฏิกิริยาทางตรง (Direct Attack) สารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโอโซนโดยตรง (ปฏิกิริยา Electrophilic หรือ Dipolar Cycloaddition) ซึ่งโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บริเวณพันธะคู่ (C=C, C=C-O-R, C=C-X) หรืออะตอมที่มีประจุลบ (N, P, O, S และ Nucleophilic C) โดยสาร Aromarics ที่มีหมู่ OH, $CH_3$ หรือ $OCH_3$ อยู่ตรงตำแหน่ง Ortho และจะทำปฏิกิริยากับโอโซนได้ดี (High Reactivity) แต่ถ้ามีหมู่ $NO_2$, COOH หรือ CHO ปฏิกิริยาจะเกิดช้า

2.1.4.2) การทำปฏิกิริยาทางอ้อม (Indirect Attack) สารอินทรีย์จะถูกทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ได้แก่ $OH^o$ และ $OH_2^o$ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้อย่างว่องไว โดยทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์อีกทีหนึ่ง และสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ประเภท Acid, Aldehydes, Ketones และพวก Less Highly Activated Aromatic ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2 กระบวนการกรอง (Filtration)

การกรอง (Filtration) เป็นการแยก (Separation) ทางกล เพื่อแยกอนุภาคของแข็งที่ไม่ละลายซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารละลายออกจากส่วนที่เป็นของเหลว โดยให้ของเหลวที่มีส่วนผสมของทั้งของแข็งและของเหลวไหลผ่านตัวแผ่นกรอง ซึ่งมีหน้าที่กักของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูของตัวกรองไว้และปล่อยให้ส่วนที่เป็นของเหลวไหลผ่าน ของเหลวที่กรองได้เรียกว่า ฟิลเทรต (Filtrate)

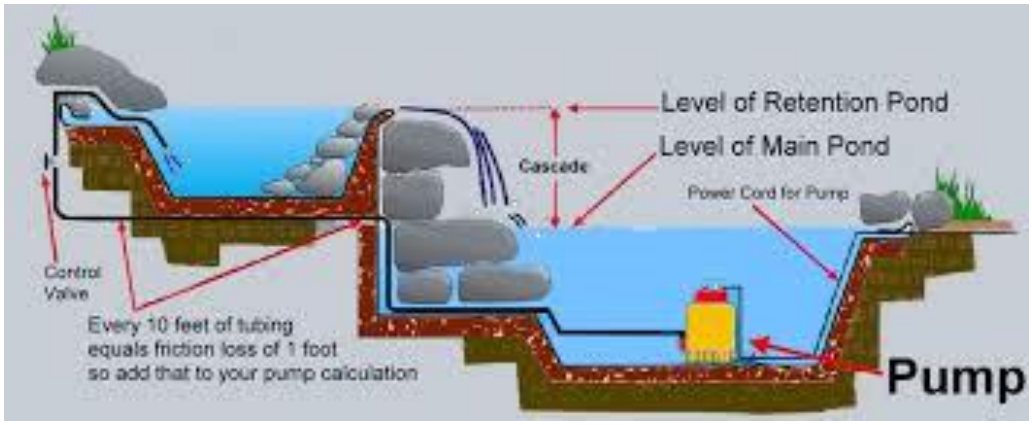
ระบบ Multimedia Filter เป็นเครื่องกรองทรงกระบอกแนวตั้งที่ภายในบรรจุด้วย สารกรองคาร์บอน (Carbon) ที่อยู่ชั้นบน และ กรวดคัดขนาด รองพื้นเป็นชั้นๆ ตั้งแต่ขนาดเล็ก ลงมาใหญ่ วัตถุประสงค์เพื่อกรองความขุ่น สารแขวนลอย สารอินทรีย์ กลิ่น และสีในน้ำ เมื่อกรองไปได้สักระยะหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำ) จะต้องทำการล้างกลับ (Back Washing) โดยให้น้ำสวนทางกับการกรองเพื่อพาสิ่งสกปรกที่ตกค้างบนผิวของสารกรอง หลังจากนั้นจึงจะทำงานได้อีกตามเดิม

## 2.3 ระบบเติมอากาศ (Solar Mixing)

ระบบเติมอากาศ (Solar Mixing) คือการเติมอากาศลงน้ำด้วยหลักการเติมอากาศแบบเวนจูรี่ (Venturi Aeration) โดยใช้เครื่องสูบน้ำฉีดผ่านหัวเวนจูรี่ (Venturi Nozzle) ที่มีรูปร่างเป็นคอคอด เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ทั้งนี้แหล่งพลังงานที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องสูบน้ำ คือ Solar Cell โดยติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดบนทุ่นลอยน้ำ

## 2.4 ระบบหมุนเวียนน้ำและการเติมออกซิเจนแบบน้ำตก

การเติมอากาศโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำและการเติมออกซิเจนแบบน้ำตก เป็นแนวทางการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำในสระน้ำแบบกึ่งธรรมชาติและผลักดันการไหลเวียนของน้ำ และหยุดการแบ่งเป็นชั้นของผืนน้ำอันเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกัน การเติมอากาศให้น้ำยังสามารถใช้เพื่อขจัดกลิ่นเหม็นของน้ำได้อีกด้วย นอกจากนี้การเติมอากาศจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาศัยออกซิเจนเพื่อยังชีพ ซึ่งช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำได้อีกด้วย




**ภาพที่ 2-5** ตัวอย่างแนวคิดระบบเติมอากาศแบบน้ำตกเพื่อหมุนเวียนน้ำและเติมออกซิเจน

# บทที่ 3
# การดำเนินงานตามแผนงาน

การดำเนินงานในโครงการดังกล่าวสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การปรับพื้นที่และดำเนินการติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำที่ปนเปื้อนด้วยระบบ Ozone/ Multimedia filter
2. การพัฒนาระบบเติมอากาศแบบหมุนเวียนน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนด้วยระบบน้ำตก และระบบน้ำพุเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ
3. การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนจำนวน 2 รูปแบบคือ แบบ Solar aeration pond และแบบ Wind-energy aeration pond ซึ่งเป็นรูปแบบประหยัดพลังงาน
4. การทดสอบเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
5. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในช่วงระหว่างการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

**3.1 การปรับพื้นที่และดำเนินการติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Ozone/ Multimedia filter**

ดำเนินการปรับพื้นที่และติดตั้งอาคารป้องกันแดดและฝนให้กับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น (Ozone System และระบบ Multimedia Filter) บริเวณสระน้ำหน้าสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

รายละเอียดการดำเนินงาน ติดตั้งอาคารเพื่อป้องกันแดดและฝนให้กับระบบ Ozone System และระบบ Multimedia Filter บริเวณสระน้ำหน้าสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (แสดงดังรูปที่ 3.1) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- อาคารวางงานระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ขนาด 2 x 3 เมตร ความสูงเฉลี่ย 2.5 เมตร
- โครงสร้างเหล็กกล่องขนาด 2x2 นิ้วและ 1x2 นิ้ว ทาสีกันสนิม และสีดำ
- ผนังด้านข้างประกอบด้วยไม้ระแนงลบมุมขนาด 7.5x300 เซนติเมตร ตีเว้นร่องขนาด 2.0 เซนติเมตร
- ประตูทางเข้าอาคารเป็นแบบเปิดสไลด์ด้านข้างจำนวน 2 บาน ไม้ระแนงลบมุมขนาด 7.5x300 เซนติเมตร ตีเว้นร่องขนาด 2.0 เซนติเมตร
- หลังคาเพิงมุงด้วยเมทัลชีท อลูซิงค์ เพื่อการป้องกันแดดและฝน
- พื้นปูนคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 20 เซนติเมตร ขนาด 2 x 3 เมตร

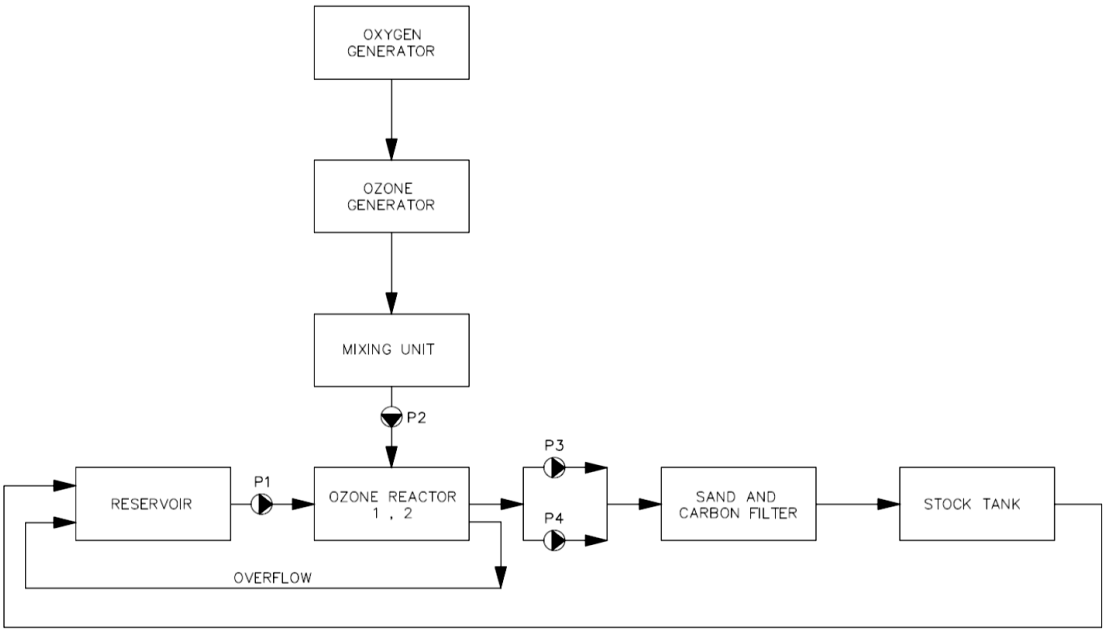
**ภาพที่ 3-1 อาคารเพื่อการป้องกันแดดและฝนให้กับ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น (Ozone System และระบบ Multimedia Filter) บริเวณสระน้ำหน้าสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ**

## 3.2 การติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Ozone/ Multimedia filter

ดำเนินการการติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Ozone/Multimedia filter ที่ออกแบบไว้ อุปกรณ์และแผงควบคุมระบบ Ozone และ Multimedia filter ในอาคารโรงเรือน โดยอุปกรณ์ประกอบไปด้วยชุดระบบเตรียมอากาศ ระบบผลิตโอโซน (Ozone generation) ระบบผสมน้ำที่สูบมาจากสระน้ำกับโอโซนที่ผลิตได้ ระบบทำความเย็น (chiller) ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ และชุดระบบถังกรอง Multimedia filter โดยอุปกรณ์จะถูกติดตั้งไว้ในโรงเรือนเพื่อป้องกันไม่ให้แผงควบคุมและระบบโอโซนได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ยังมีถังเก็บน้ำขนาด 2.5 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง และขนาด 1.5 ลบ.ม. จำนวน 1 ถังวางไว้ด้านนอกอาคารโรงเรือน

**ภาพที่ 3-2** การติดตั้งอุปกรณ์ระบบ Multimedia filter และ โอโซน

Flow Diagram ของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำขนาดไม่ต่ำกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ด้วย Multimedia Filter แสดงดังภาพที่ 3.3




**ภาพที่ 3-3 Flow Diagram ของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ**

### 3.2.1 รายละเอียดระบบ Multimedia Filter

ระบบ Multimedia Filter ขนาดไม่น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 3.4 มีหน้าที่แยกอนุภาคของแข็งที่ไม่ละลายซึ่งแขวนลอยออกจากส่วนที่เป็นน้ำ โดยให้น้ำที่มีส่วนผสมของทั้งของแข็งและน้ำไหลผ่านตัวแผ่นกรอง ซึ่งมีหน้าที่กักของแข็งที่มีขนาดใหญ่ไว้ และปล่อยให้ส่วนที่เป็นน้ำไหลผ่าน รายละเอียดอุปกรณ์ประกอบมีดังต่อไปนี้

| | | |
|---|---|---|
| ถังกรอง Fiber standard ขนาด 30 x 72 นิ้ว | 1 | ถัง |
| หัวขับเครื่องกรองดิจิตอลแบบอัตโนมัติ | 1 | ชุด |
| แกนไส้กรองUPVC/สแตนเนอร์ บน-ล่าง | 1 | ชุด |
| สาร Multimedia Antraci/Activated Carbon ID | 600 | ลิตร |
| ปั๊มน้ำ Grundfos CM10-3 ขนาด 10 $m^3/h$ | 1 | ชุด |
| ชุดควบคุมปั๊มอัตโนมัติสลับการทำงาน | 1 | ชุด |

**ภาพที่ 3-4 ส่วนประกอบของระบบ Multimedia Filter**

### 3.2.2 ระบบ EQ Pump และ Stock Tank 1-2

ระบบสูบน้ำ (EQ Pump) ทำหน้าที่สูบน้ำ จากบริเวณสระน้ำหน้าสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ เข้าสู่ Stock Tank 1-2 (แสดงดังภาพที่ 3.5) รายละเอียดอุปกรณ์ประกอบมีดังต่อไปนี้

**EQ Pump**

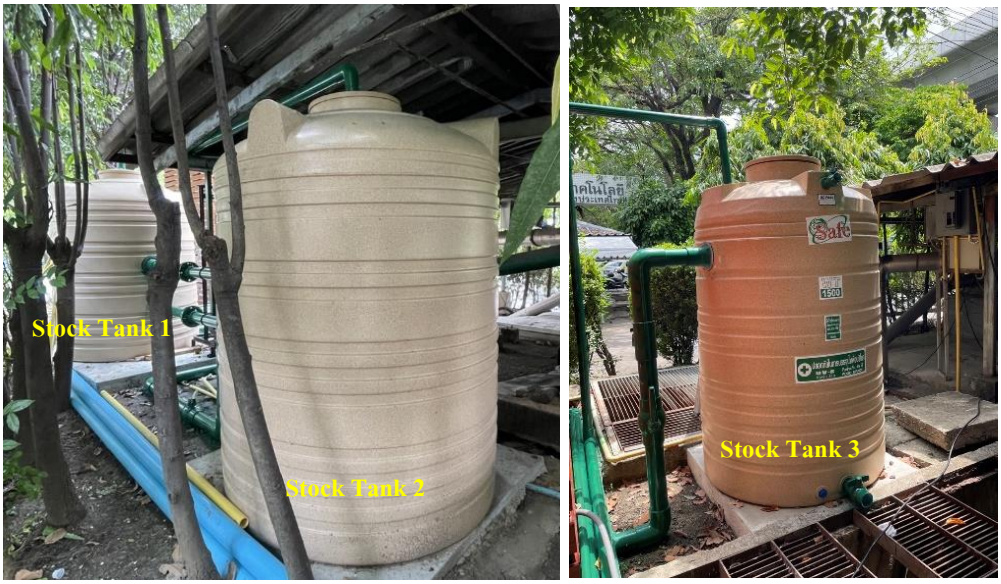
- ปั๊มน้ำหอยโข่ง EBARA รุ่น 3M32-200/3.0 2" x 1 1/4"
- 100-333 L/min. 24-42 m.
- 4 HP 2 P 3 Phase 380V. 50Hz.
- มาตรฐาน DIN 24255

**Stock Tank 1-2**

- ถังเก็บน้ำแกรนิต ขนาด 2,500 ลิตร

**Stock Tank 3**

- ถังเก็บน้ำแกรนิต ขนาด 1,500 ลิตร




**ภาพที่ 3-5 EQ Pump, Stock Tank 1-2 และ Stock Tank 3**

### 3.2.3 ระบบ Ozone System

ระบบ Ozone System แสดงดังภาพที่ 3.6 ทำหน้าที่ลดสี ลดกลิ่น ในน้ำด้วยการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโอโซน และสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำ รายละเอียดดังต่อไปนี้

Max. Capacity: 100 g/hr

| | |
|---|---|
| Ozone concentration: | 150 g/Nm$^3$ |
| Type of ozone cell cooling: | water |
| Number of ozone tube: | 1 (100 g/h/tube) |
| Size (WxHxD): | 80 x 150 x 50 cm. |
| Weight: | 100 kg. |
| Power: | 380 V, 50 Hz, 3P 4W, 1.0 kW |
| Water chiller: | 9,000 Btu/hr |
| Compressor: | 9,000 BTU, 220V 50 Hz |
| Water pump: | 0.5 m$^3$/h |
| Remark: | Compact brazed heat exchanger |
| | Air cooled condenser |
| | Dixell digital controller |

**ภาพที่ 3-6 ส่วนประกอบของระบบ Ozone System**

### 3.2.4 ระบบเติมโอโซนในน้ำ (Mixing Unit)

ระบบ Ozone System แสดงดังภาพที่ 3.7 ทำหน้าที่เติมออกซิเจนลงสระน้ำ ด้วยหลักการเติมอากาศแบบเวนจูรี่ (Venturi Aeration) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Venturi 1" PVDF, Double Ring Vortex (SS304), Nozzle

**ภาพที่ 3-7 ระบบเติมโอโซนแบบเวนจูรี่ (Venturi Aeration)**

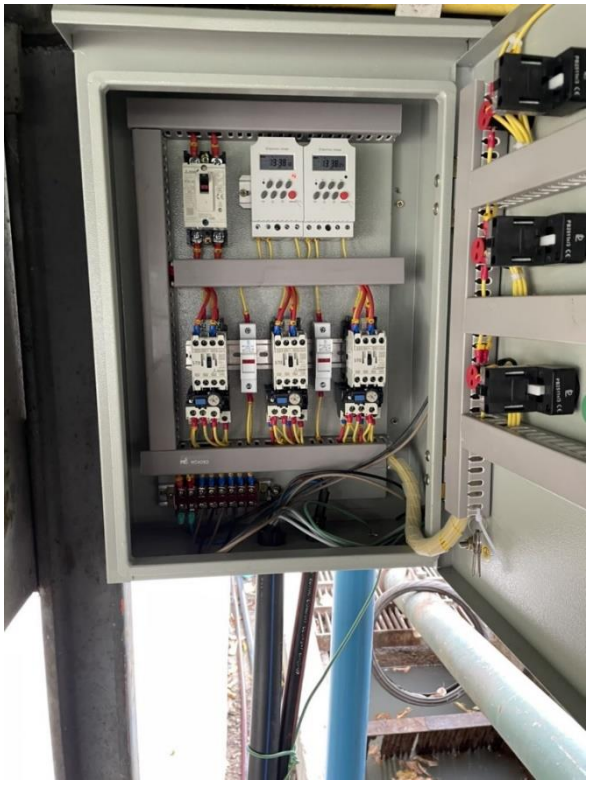
## 3.3 การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกและน้ำพุ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

3.3.1 การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำพุเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ประกอบด้วย

- ทุ่นลอยแบบสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร
- หัวน้ำพุทองเหลือง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว
- เครื่องสูบน้ำ 750 W, 220 V
- ตู้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

**ภาพที่ 3-8** ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำพุ

*การดำเนินงานช่วงก่อสร้างระบบน้ำพุ*



**ภาพที่ 3-9** การติดตั้งตู้ควบคุมระบบน้ำพุ น้ำตก อัตโนมัติ

3.3.2 การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

(สระน้ำ บริเวณหน้าอาคารสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ)

การเติมอากาศโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำและการเติมออกซิเจนแบบน้ำตก เป็นแนวทางการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำในสระน้ำแบบกึ่งธรรมชาติและผลักดันการไหลเวียนของน้ำ การเติมอากาศให้น้ำยังสามารถใช้เพื่อขจัดกลิ่นเหม็นของน้ำได้อีกด้วย นอกจากนี้การเติมอากาศจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาศัยออกซิเจนเพื่อยังชีพ ช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำได้อีกด้วย

**ภาพที่ 3-10** ระบบหมุนเวียนน้ำตกสำหรับการเติมออกซิเจนในน้ำ

*ช่วงก่อสร้างงานทำน้ำตกหินเทียม*

**ภาพที่ 3-11** ช่วงก่อสร้างระบบหมุนเวียนน้ำตก

**ภาพที่ 3-11** ช่วงก่อสร้างระบบหมุนเวียนน้ำตก (ต่อ)

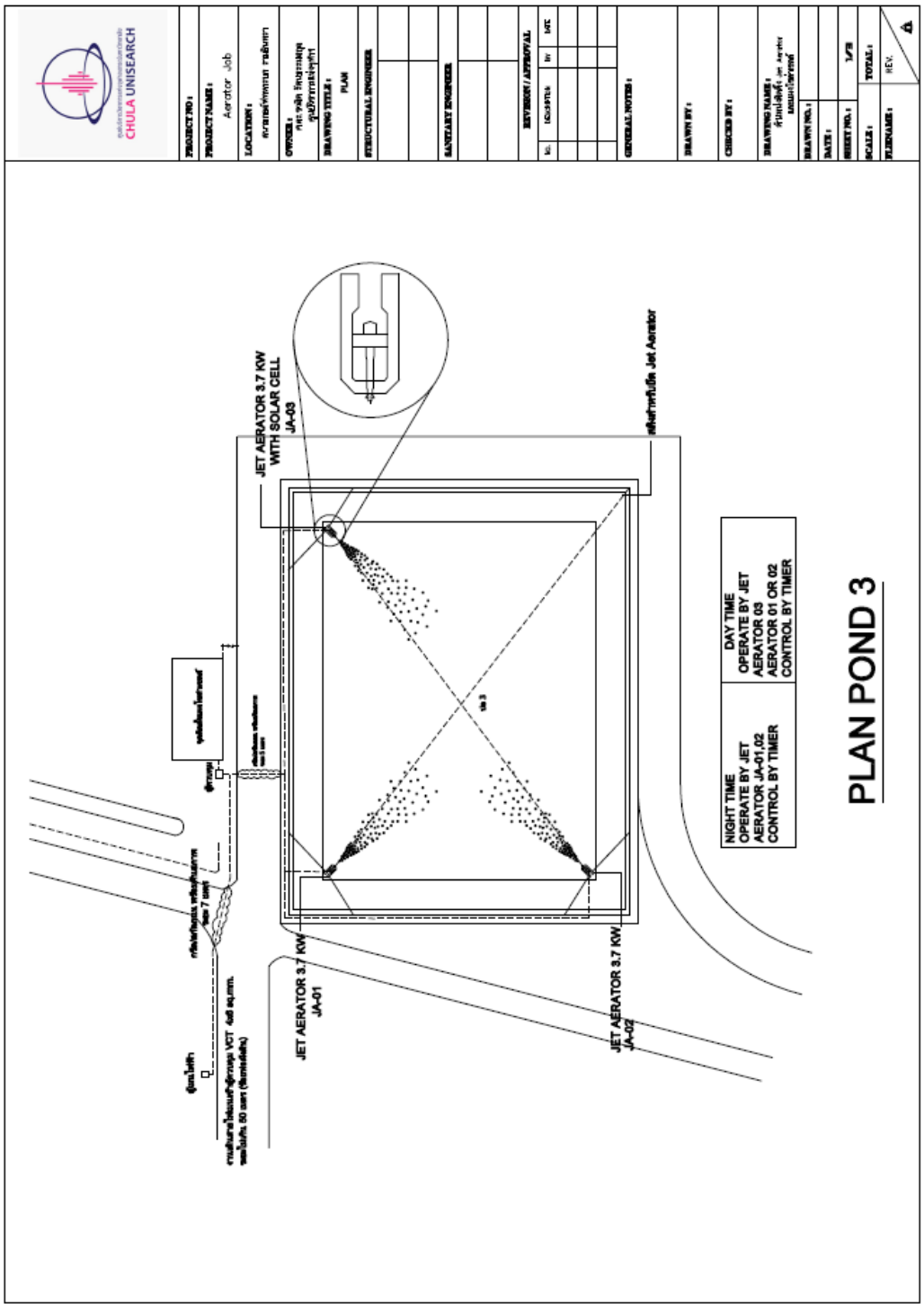
**ภาพที่ 3-12** การจัดสวนของพื้นที่ระบบหมุนเวียนน้ำตก

## 3.4 การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond และแบบ Wind-energy aeration pond ซึ่งเป็นรูปแบบประหยัดพลังงาน

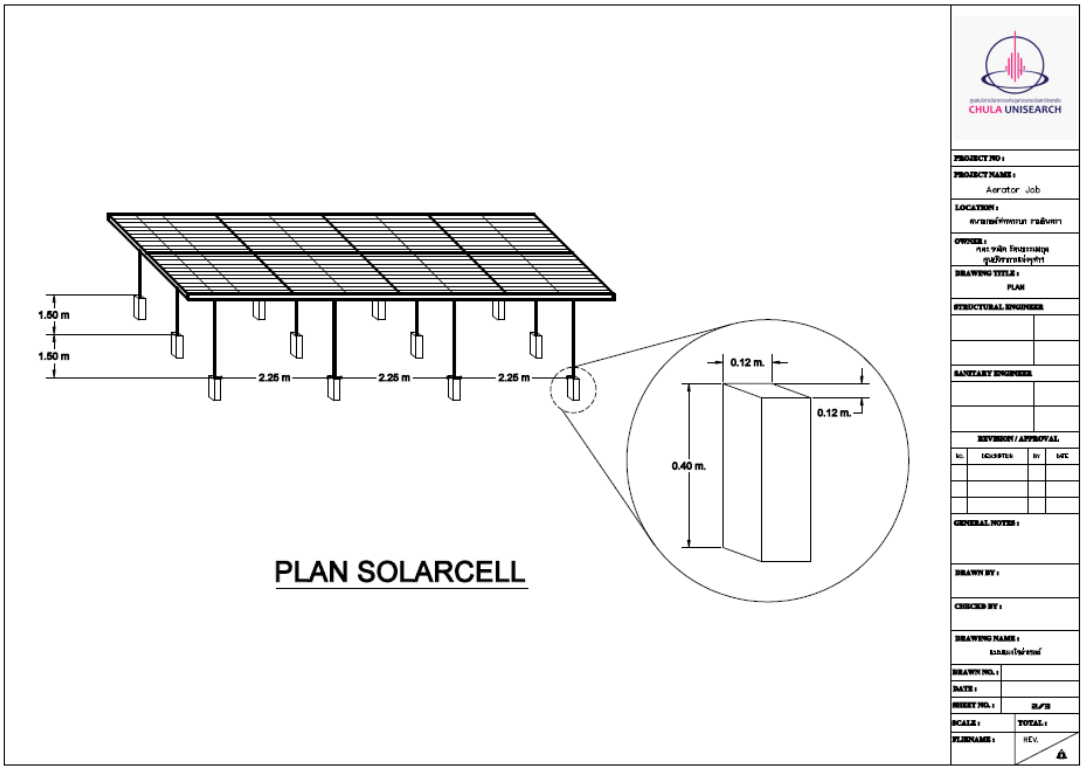
### 3.4.1 ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond

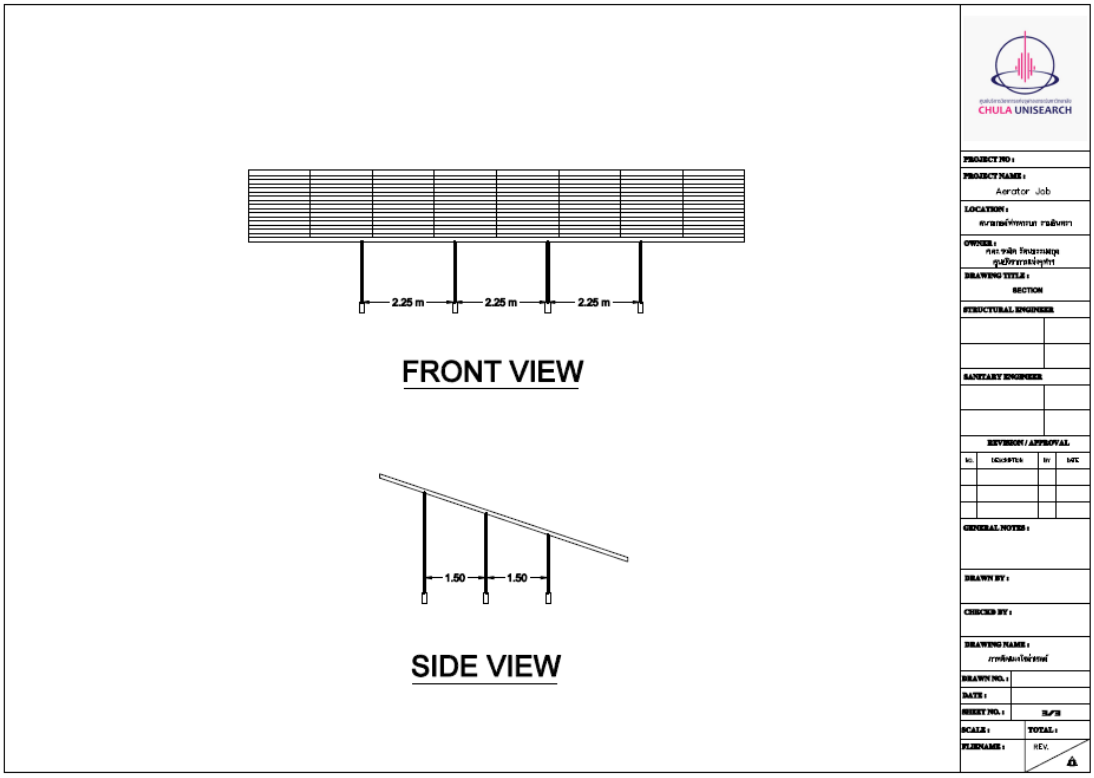
สำหรับรูปแบบเทคโนโลยีที่จะพัฒนานี้ เป็นรูปแบบของระบบบูรณาการ โดยใช้ระบบ Aerated Pond โดยการทำงานของ aerobic bacteria ในระบบบ่อที่มีการเติมอากาศ และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย Solar aeration pond system มีเป้าหมายเพื่อลดสี ความขุ่น แอมโมเนีย ซัลไฟด์ สารอินทรีย์ในน้ำ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย รวมทั้งลดการเติบโตของสาหร่ายในน้ำ

สำหรับระบบเติมอากาศในสระน้ำที่ใช้ทางเลือกการเติมอากาศแบบ jet aerator หรือ vortex aerator ที่ใช้ระบบโซล่าร์เซลล์เพื่อหมุนเวียนน้ำและเติมออกซิเจนสำหรับบ่อน้ำที่อยู่ภายในพื้นที่ศึกษา ข้อดีของระบบนี้คือสามารถลดกลิ่น สารอินทรีย์ ความขุ่นในน้ำ รวมทั้งเป็นการสร้างการหมุนเวียนน้ำและเติมออกซิเจนให้กับสระน้ำอีกด้วย ทั้งยังช่วยให้เกิดการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบใช้อากาศได้ดีขึ้น ทำให้คุณภาพน้ำมีศักยภาพในการนำใช้ประโยชน์สาธารณะได้




**ภาพที่ 3-13** ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond
(ติดตั้งที่ Pond 3 สระน้ำของสนามกอล์ฟ กองทัพบก)




**ภาพที่ 3-13** ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Solar aeration pond (ต่อ)
(ติดตั้งที่ Pond 3 สระน้ำของสนามกอล์ฟ กองทัพบก)

**รายละเอียดเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR)**

JET AERATOR เป็นเครื่องเติมอากาศชนิด HORIZONTAL ASPIRATING AERATOR โดยอาศัยการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งอยู่เหนือน้ำ มอเตอร์จะต่อกับแกนเพลา ทำหน้าที่ขับใบพัดซึ่งอยู่ใต้น้ำ เมื่อใบพัดหมุนจะทำการตีน้ำทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นในน้ำ อากาศภายนอกจะถูกดูดผ่านเข้ามาภายในแกนเพลา ทำให้เกิดฟองอากาศในน้ำจำนวนมาก จึงใช้สำหรับเป็นเครื่องกวนเติมอากาศ และเพิ่มการไหลของน้ำในบ่อ

**การติดตั้ง**

สามารถติดตั้งได้ง่าย และรวดเร็ว มีทั้งแบบ FLOATED TYPE และ FIXED TYPE สำหรับ FLOATED TYPE เพียงนำเครื่องลงน้ำแล้วยึดด้วยเชือก ลวดสลิง หรือหลักยึด เครื่องจะลอยอยู่ผิวน้ำ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ เวลาใช้งานเพียงเปิดสวิทช์เครื่องก็จะทำงานตามต้องการ

**ข้อมูลรายละเอียด**

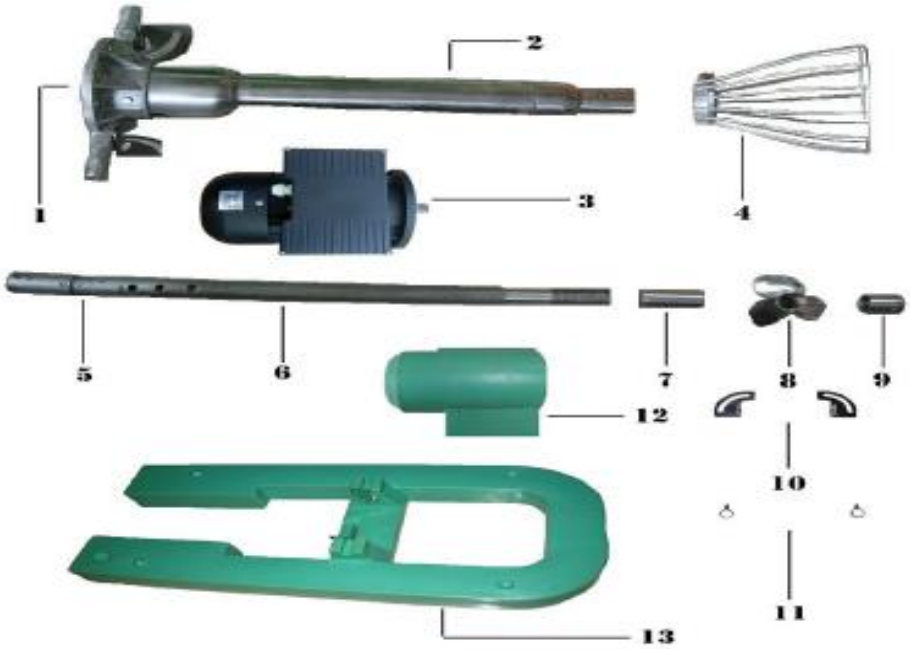
1. ใช้มอเตอร์ IEC STANDARD
2. มีขนาดมาตรฐานตั้งแต่ 1-30 แรงม้า
3. สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง (HEAVY DUTY)
4. ใช้กับบ่อน้ำเสียทุกประเภท บ่อเลี้ยงกุ้ง บ่อเลี้ยงปลา หมู่บ้าน สนามกอล์ฟ และ แหล่งน้ำต่าง ๆ
5. ใช้กับบ่อที่มีความลึกตั้งแต่ 1.5 เมตรขึ้นไป
6. ปริมาณออกซิเจนที่เติมได้ในน้ำเท่ากับ 1.2-1.5 Kg O2/ Hp-hour
7. ออกแบบและควบคุมงานสร้างโดยวิศวกรที่มีความชำนาญงานทางด้านนี้โดยเฉพาะ จึงทำให้มีความทนทาน ประหยัดไฟกว่า และยังให้ปริมาณออกซิเจนได้สูงกว่า

8. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เนื่องจากตัวเครื่องทำด้วยแสตนเลส

**ส่วนประกอบระบบ**

| | |
|---|---|
| 1. มอเตอร์ ขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 5.5 แรงม้า (Induction Motor) | ระบบ Totally Enclose Fan Cool 380V/3Phase/2900RPM/50Hz IP55,CLASS F |
| 2. แกนเพลา (Hollow Shaft) | ทำจากแสตนเลส 304 |
| 3. ข้อต่อแกนเพลา (Couping) | Hydraulic Hose |
| 4. เสื้อเครื่อง (Housing) | ทำจากแสตนเลส 304 มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้วัตถุแปลกปลอมต่างๆลอยเข้ามากระทบเพลา และมีแบริ่ง (Bearing) ซึ่งเป็นแบบ Replace Water Lubricated ติดอยู่ที่ปลาย |
| 5. แบริ่งรองรับเพลา (Bearing) | ทำจากยางสังเคราะห์ ทนต่อความร้อนและการเสียดสีได้สูงสามารถถอดเปลี่ยนได้ ไม่น้อยกว่า 8 หรือ 12 ร่อง |
| 6. ปลอก (Sleeve) | ทำจากสแตนเลส 304 |
| 7. ใบพัด (Propeller) | ทำจากสแตนเลส 304 สามารถถอดเปลี่ยนได้ |
| 8. หัวจ่าย (Diffuser) | ทำจากสแตนเลส 304 สามารถถอดเปลี่ยนได้ |
| 9. ตัวปรับองศา (Angle Adjuster) | ทำ*จากสแตนเลส* 304 สามารถถอดเปลี่ยนได้ |
| 10. แหวนยึดหลัก (Anchor Ring) | ทำจากสแตนเลส 304 สามารถถอดเปลี่ยนได้ |
| 11. ทุ่นลอย (Float) | ทำจากพลาสติก PE (Polyethylene) ภายในบรรจุด้วยโพลียูเรเทนโฟม (Polyurethane Foam) |
| 12. โบลท์ และ น๊อต (Bolt & Nut) | เป็นสแตนเลส (Stainless Steel) |

**รายการอุปกรณ์ของเครื่องเติมอากาศ**



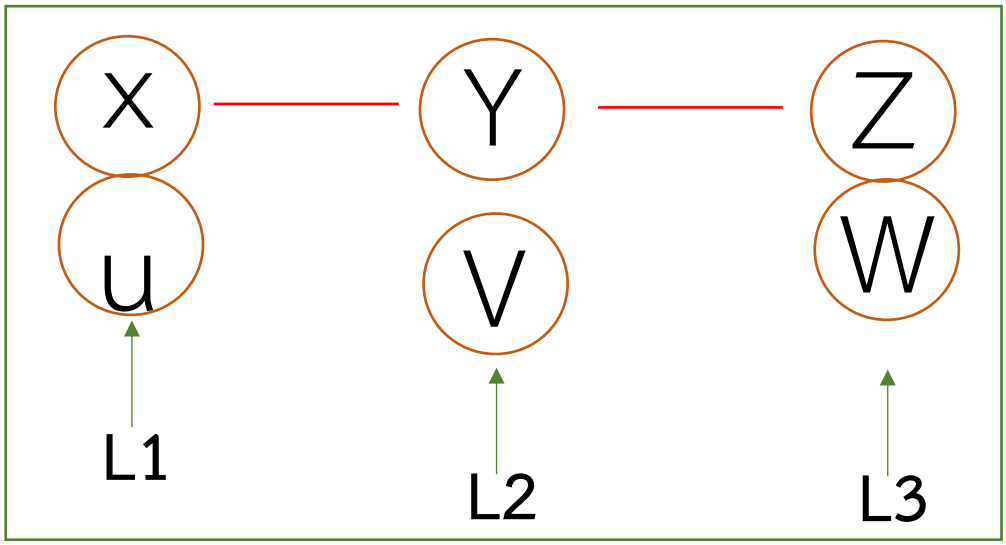

| **<u>รายการอุปกรณ์</u>** | 7. ปลอก STAINLESS STEEL |
|---|---|
| 1.หน้าแปลนเหล็กหล่อ | 8. ใบพัด |
| 2.เสื้อเครื่อง STAINLESS STEEL | 9. หัวปิดใบพัด |
| 3. มอเตอร์ | 10. หูปรับองศา |
| 4. ตะแกรง STAINLESS STEEL | 11. หูปักหลักยึดเสา |
| 5. ข้อต้อย่อย | 12. ฝาครอบมอเตอร์ |
| 6. เพลา STAINLESS STEEL | 13. ทุ่นตัวยู |

**วิธีการใช้งาน**

1) ไฟที่ใช้กับเครื่องควรเป็นไฟ 2 สาย 220 โวลท์ หรือไฟ 3 สาย 380 โวลท์
2) การต่อสายไฟ สำหรับไฟ 3 สาย

   สำหรับไฟ 3 สาย 380 โวลท์ ให้ต่อแบบ Y

รูปการต่อสายไฟเข้ามอเตอร์




3) การเดินสายไฟเข้าตัวเครื่อง และตู้ควบคุม ควรกระทำโดยช่างไฟฟ้าที่ชำนาญโดยเฉพาะ เพื่อใช้งานให้ถูกกับขนาดของมอเตอร์ อันเป็นการลดความสูญเสียเนื่องจากมอเตอร์ไหม้
4) การติดตั้งที่ง่ายที่สุดให้อยู่กับหลัก ความยาวของหลักขึ้นอยู่กับความลึกของบ่อ
5) การเปิดเครื่องไม่ควรเปิดเครื่องทำงานบนบกเนื่องจากบู๊ชต้องการหล่อลื่นด้วยน้ำ ถ้าไม่มีน้ำหล่อลื่นจะร้อนจัดจนมอเตอร์ไหม้ได้ในไม่กี่วินาที

หมายเหตุ : L1 , L2 , L3 เป็นแหล่งจ่ายไฟเข้ามอเตอร์

**เช็คการหมุน**

เมื่อเครื่องติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการและต่อไฟฟ้าแล้ว เครื่องพร้อมที่จะเช็คทิศทางการหมุน

1) ตรวจเช็คเครื่องทีละเครื่อง
2) เปิดเครื่องให้นานเกิน 3 นาที
3) สังเกตการณ์กระจายน้ำจะไม่กระเด็นเหนือผิวน้ำ จะเริ่มเกิดฟองบนผิวน้ำระยะห่าง ระหว่างจากแท่นประมาณ 1-2 เมตร

** ถ้าทิศทางการหมุนผิด เครื่องจะดูดน้ำขึ้นมาทางมอเตอร์ และสาดลงตัวเครื่อง ให้ทำการสลับสายไฟ**

**ทิศทางการหมุนที่ถูกต้อง คือหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อมองจากปลายใบพัด**

**การปรับตำแหน่งของใบพัด**

เครื่องสามารถปรับตำแหน่งได้ตามความลึกของน้ำ ขึ้นอยู่กับระดับน้ำ

- ❖ ระดับน้ำลึกไม่เดิน 1.3 เมตร ให้ปรับตำแหน่งเครื่องอยู่บนสุด
- ❖ ระดับน้ำอยู่ระหว่าง 1.3 - 1.8 เมตร ให้ปรับเครื่องอยู่ระหว่างกึ่งกลาง
- ❖ ระดับน้ำลึกเกิน 1.8 เมตร ให้ปรับเครื่องลงไปในตำแหน่งต่ำสุด

**วิธียึดเครื่อง**

วิธียึดเครื่องที่ง่ายที่สุดให้อยู่กับหลัก ความยาวของหลักขึ้นอยู่กับความลึกของบ่อ หลักยึดควรจะเป็นพลาสติกหรือเหล็กเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

1. ใช้ท่อพลาสติกหรือเหล็ก 2 อัน เสียบยึดกับตัวทุ่นไว้ให้พ้นจากน้ำประมาณ 2 ฟุต
2. ใช้เหล็กอันที่ 3 ปักลงในสลักให้ถึงพื้น
3. ต่อเครื่องเข้ากับสายไฟ

**ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา**

การสังเกตอาการของเครื่องจะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ก่อนเครื่องจะเสียหายมาก เนื่องจากเครื่องถูกออกแบบให้มีชิ้นส่วนน้อยง่ายแก่การประกอบ และใช้วัสดุที่มีคุณภาพ ทำให้การบำรุงรักษาน้อยกว่าเครื่องเติมอากาศแบบอื่น ๆ จึงขอแนะนำให้สังเกตการทำงานของตัวเครื่อง ดังนี้

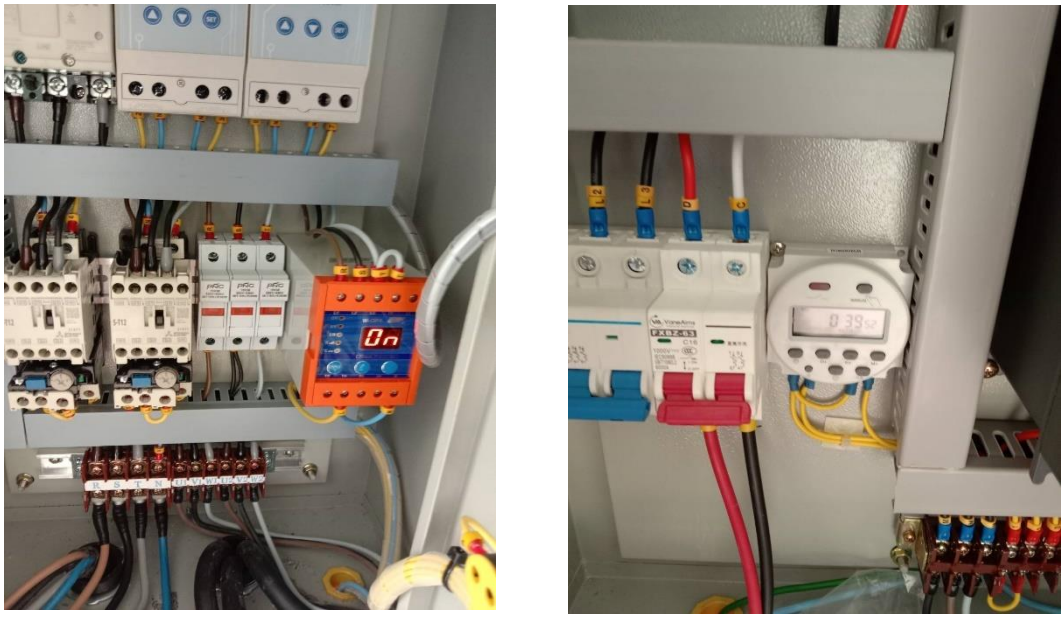
1. สังเกตการไหลของอากาศ การไหลของน้ำ เสียงการสั่นของเครื่อง
2. ตรวจเช็คโดยทั่วไปของเครื่องทุกๆ 3 เดือน
3. ควรกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจจะไปพันใบพัด เนื่องจากอาจส่งผลให้มอเตอร์ไหม้ได้
4. สายไฟต้องใช้ขนาดใหญ่และไม่ควรเดินสายไฟไกลเกิน 200 เมตร
5. ควรติดสวิทช์ป้องกันไฟตก เมื่อจ่ายไฟมาแรงเกิน สวิทช์จะตัดเองโดยอัตโนมัติ

**ตู้ควบคุมไฟฟ้า**

ตู้ควบคุมไฟฟ้า รับไฟฟ้าจากตู้เมนของสนามกอล์ฟเพื่อจ่ายไปยังตัว Jet Aerator จำนวน 2 ตัว โดยควบคุมการทำงานของตัว Jet Aerator ด้วย Timer 2 ตัว ซึ่งได้ตั้งเวลาการทำงานเของ Jet Aerator ตัวที่ 1 ทำงานตั้งแต่เวลา 0.00 น. – 16.00 น. และตัวที่ 2 ทำงานตั้งแต่เวลา 16.00 น. – 9.00 น.

**รายละเอียดตู้ควบคุมไฟฟ้า**

ตู้ควบคุมไฟฟ้า จะแยกการควบคุมทั้ง 2 ตัวออกจากกันสามารถควบคุมการทำงานของแต่ละตัวแยกกันได้ ตู้ควบคุมไฟฟ้ามีลักษณะดังนี้



**ภาพที่ 3-14 งานติดตั้งตู้ควบคุมเครื่องเติมอากาศระบบ Solar aeration pond**

สัญลักษณ์ต่างๆของตู้ควบคุม จะบ่งบอกถึงข้อมูลที่ต่างกันไปโดยมีรายละเอียดดังนี้

1.สัญญาณ R S และ T จะบ่งบอกถึงปริมาณไฟแต่ละเฟส หากไฟไม่ครบตู้ควบคุมจะไม่สามารถจ่ายไฟไปยัง ตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) ได้

2.สัญญาณไฟสีเขียวหากจุดดังกล่าวมีสัญญานไฟปรากฏขึ้นหมายความว่าในขณะนี้มอเตอร์ตัวดังกล่าว กำลังทำงานอยู่

3.สัญญาณไฟสีเหลือง หากจุดดังกล่าวมีสัญญานไฟปรากฏขึ้นหมายความว่าในขณะนี้มอเตอร์ตัวดังกล่าว มีการ Overload เบรกเกอร์จะตัดไฟทันที เพื่อป้องกันการเสียหายของตัวมอเตอร์

4.ปุ่มควบคุมการทำงาน ใช้การบิดในการสั่งการสามรถสั่งการทำงานได้ 3 แบบ คือ Auto Off และ Manual เมื่อบิดไปยังปุ่ม Auto จะเป็นการสั่งการให้ทำงานตามเวลาที่ Timer ได้ตั้งค่าไว้ เมื่อบิดไปยังปุ่ม Off จะเป็นการหยุดการทำงานของตัวดังกล่าว

**การตั้งเวลาของ Timer**

เนื่องจากในอนาคตทางสนามอาจมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำงานตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) Timer ที่ควบคุมการทำงานของตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) สามารถตั้งค่าได้สูงสุด 5 โปรแกรม (การตั้งค่าเปิดปิดนับเป็น 1 โปรแกรม) ตัว Timer ประกอบไปด้วย ปุ่ม 3 ปุ่ม ปุ่มลูกศรสำหรับปรับเวลา 2 ปุ่ม และปุ่ม Setting (ตั้งค่า) 1 ปุ่ม

**ขั้นตอนการตั้งเวลา**

1.เมื่อจะทำการตั้งเวลา เปิด-ปิดของตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) จำเป็นที่จะต้องตั้งเวลาของตัว Timer ให้ตรงกับเวลาจริงในขณะนั้นก่อน โดยกดปุ่ม SET ค้างไว้จนตัวเลขกระพริบ แล้วใช้ปุ่มลูกศรเลือกเวลาที่ถูกต้อง และกดปุ่ม SET อีกครั้งเพื่อยืนยันหลังจากนั้นหน้าจอจะแสดงดังนี้

2.เมื่อขึ้นสัญลักษณ์ดังกล่าวแล้ว ให้กดปุ่ม SET อีกครั้งเพื่อเลือกตั้งค่าเวลา โดยใช้ปุ่มลูกศรเป็นตัวเลือกเวลา เมื่อได้เวลาที่ต้องการให้กดปุ่ม SET อีกครั้งเป็นการยืนยันเวลา
3.เมื่อกดปุ่ม SET แล้วหน้าจอจะขึ้นแจ้งเตือนดังนี้

เมื่อขึ้นแจ้งเตือนดังกล่าวให้กดปุ่ม SET อีกครั้ง เป็นการตั้งค่าตัวเลือกเวลา ให้ใช้ลูกศรเลือกเวลาที่ต้องการให้ Jet Aerator หยุดการทำงาน หลังจากนั้นให้กดปุ่ม SET เพื่อยืนยันเวลาการหยุดทำงาน
4.หากต้องการตั้งเวลาเพิ่มเติม ให้ทำซ้ำในข้อที่ 2. ถึงข้อที่ 3. ใหม่อีกครั้ง Timer สามารถลองรับโปรแกรมได้ 5 โปรแกรม เมื่อตั้งเวลาครบทั้ง 5 โปรแกรม ให้กดปุ่ม SET หลังจากนั้น Timer จะโชว์เวลาปัจจุบันขึ้นมา การตั้งเวลาจึงเสร็จเรียบร้อย แต่ หากไม่ต้องการตั้งเวลาครบทั้ง 5 โปรแกรม ให้ตั้งเวลาในส่วนโปรแกรมที่ไม่ได้ใช้งานทั้งเปิดและปิด เป็น 0.00

**แผงโซล่าร์เซลล์**

แผงโซล่าร์เซลล์ 360 W/18 แผง ติดตั้งกับโครงแสตนเลส มีตู้ควบคุมจ่ายไฟไปยังตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) 1 ตัว ควบคุมการทำงานโดย Timer การทำงานของตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับตัว Timer และ แสงแดด หากมีแสงแดดน้อยแผงโซล่าร์เซลล์จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอส่งผลให้ ตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) หยุดการทำงาน ส่วนตัว Timer สำหรับเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) จะถูกตั้งเวลาให้ทำงานในช่วงเวลา 9.00 น. – 18.00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ยังอย่างต่อเนื่องสอดคล้องต่อการทำงานของตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) การทำความสะอาดแผงโซลาเซลล์สามารถใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดได้ แต่ไม่แนะนำให้ขัดทำความสะอาดแผง เนื่องจากอาจทำให้ตัวแผงได้รับความเสียหายได้

**ภาพที่ 3-14 งานติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์**

**ตู้ควบคุมแผงโซล่าร์เซลล์**

ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟและการเปลี่ยนไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยมีหลักการคือ เมื่อแผงโซล่าร์เซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าจะถูกจ่ายมายังตู้ควบคุมเป็นไฟกระแสตรง กระแสไฟจะถูก Inverter ที่อยู่ในตู้ควบคุม แปลงไฟกระแสตรงให้กลายเป็นกระแสสลับก่อนจ่ายไปยังตัวเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (JET AERATOR) ตามเวลาที่ Timer ได้ถูกตั้งเวลาไว้

ตู้ควบคุมของแผงโซล่าร์เซลล์จะมีความคล้ายคลึงของตู้ควบคุมไฟฟ้ามีจุดที่แตกต่างกันคือตู้ควบคุมของโซล่าร์เซลล์จะมีแอมป์มิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ และสัญญาณไฟสีฟ้าที่แสดงถึงการหยุดทำงานของแผงโซล่าร์เซลล์

**ข้อแนะนำ**

เนื่องจากพื้นที่โดยรอบแผงโซล่าร์เซลล์เป็นพื้นดินที่มีหญ้าปกคลุม ทางบริษัทฯ จึงขอแนะนำให้ทำการตัดหญ้าและตรวจสอบการทำงานของโซลาเซลล์ รวมถึงตัวมอเตอร์ของ Jet A

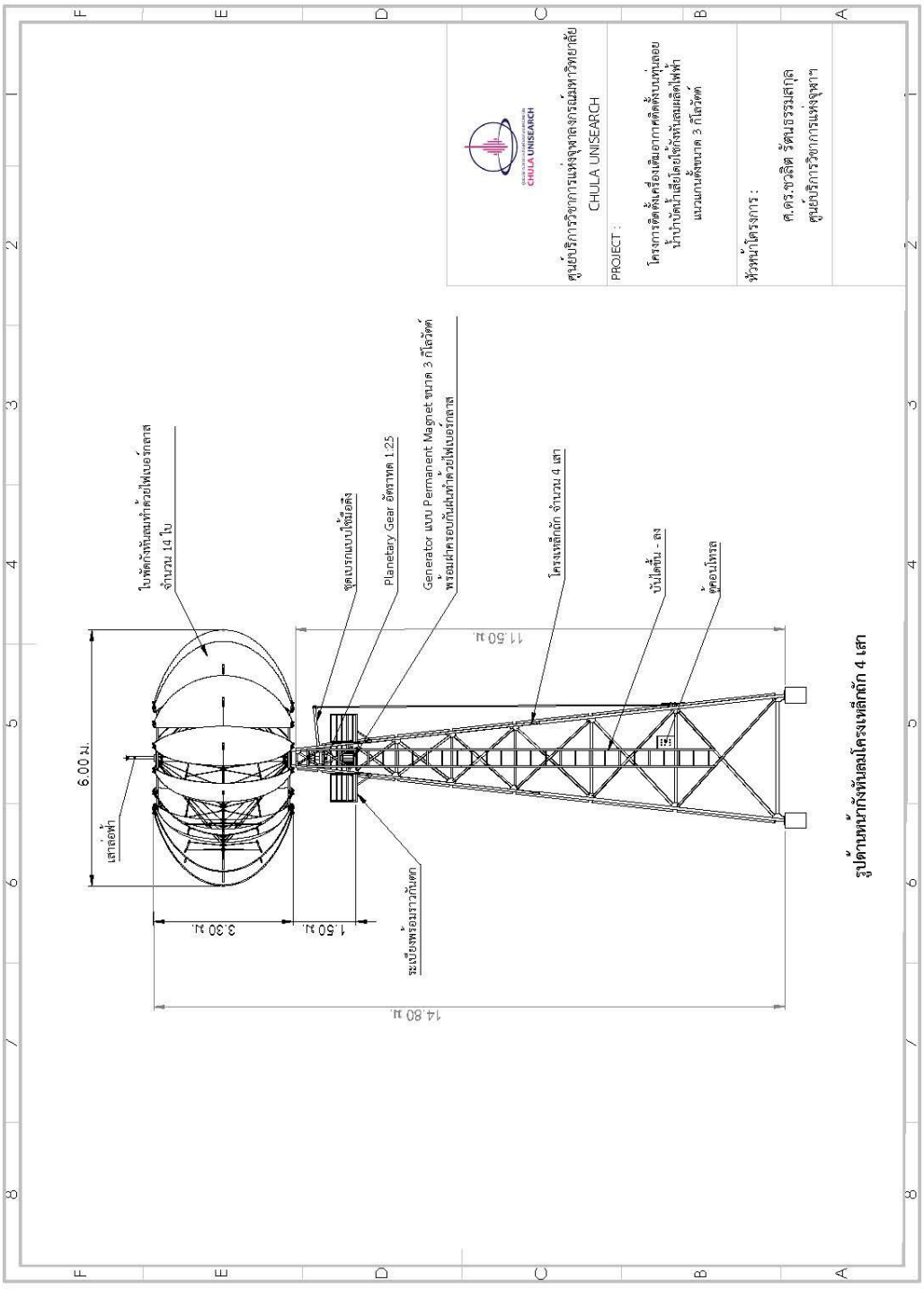
**การตั้งเวลาทำงานของระบบ Solar aeration pond system**

**ตารางการทำงานของเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ ควบคุมโดย Timer**

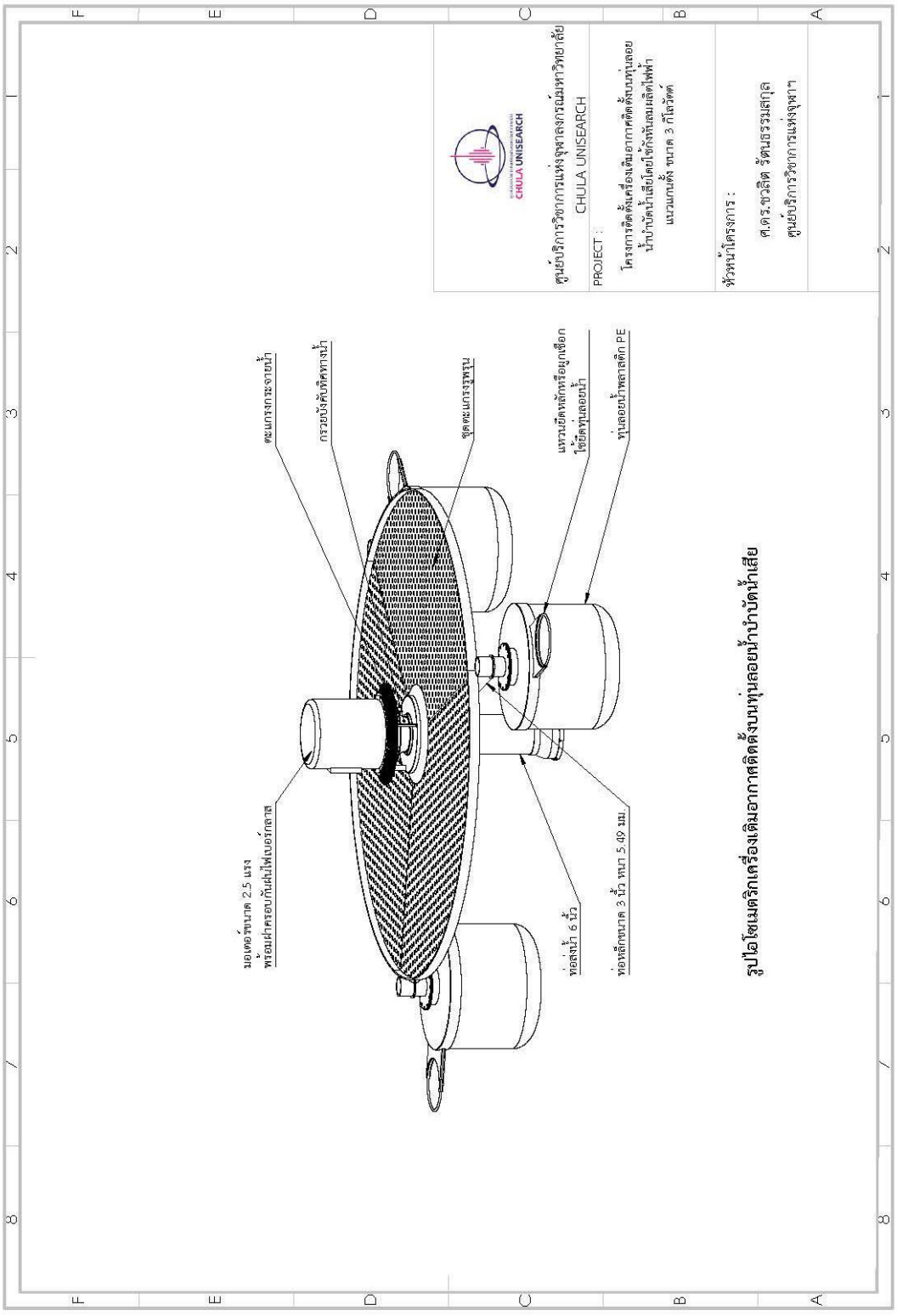
| | JA-01 (ซ้าย) CONTROL BY TIMER | | JA-02 (กลาง) CONTROL BY TIMER | | JA-03 (ขวา) CONTROL BY TIMER | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DAY TIME | 06.00-08.00 | 12.00-14.00 | 08.00-10.00 | 14.00-16.00 | 10.00-12.00 | 16.00-18.00 | SOLAR CELL |
| NIGTH TIME | 18.00-20.00 | 24.00-02.00 | 20.00-22.00 | 02.00-04.00 | 22.00-24.00 | 04.00-06.00 | ELECTRICAL |

### 3.4.2 ระบบบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อนแบบ Wind-energy aeration pond

สำหรับรูปแบบเทคโนโลยีที่จะพัฒนานี้ เป็นรูปแบบของระบบบูรณาการ โดยใช้ระบบ Aerated Pond โดยการทำงานของ aerobic bacteria ในระบบบ่อที่มีการเติมอากาศ และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย Wind-energy aeration pond system มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำ



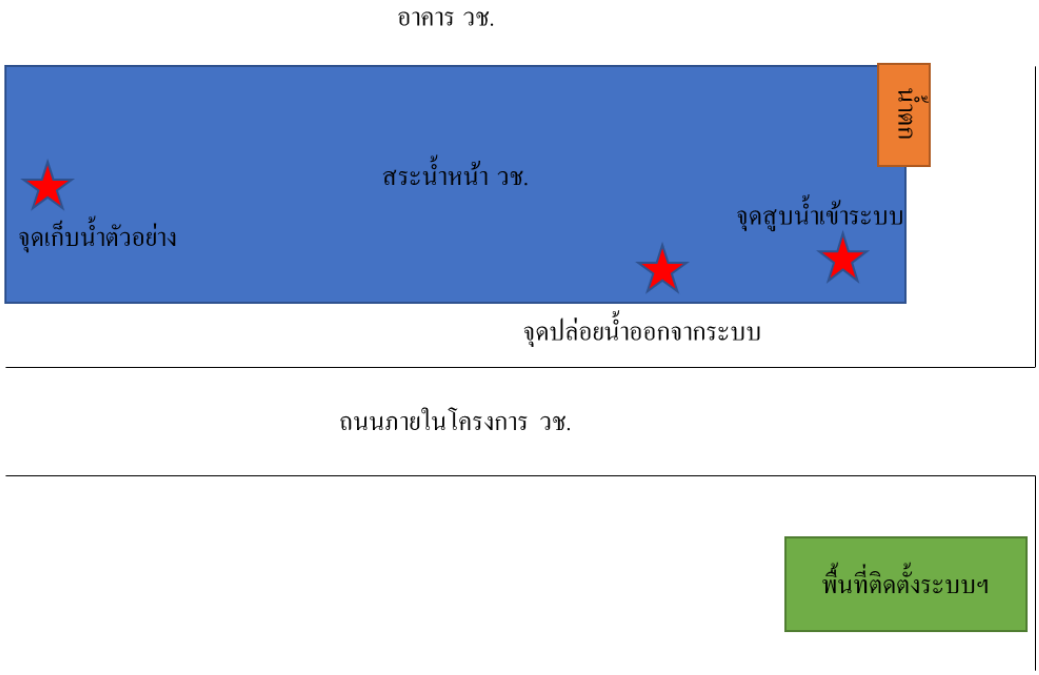

**ภาพที่ 3-15 รูปแบบระบบ Wind-energy aeration pond system**




**ภาพที่ 3-15 รูปแบบระบบ Wind-energy aeration pond system (ต่อ)**

### 3.4 การทดสอบเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

3.4.1 กำหนดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณสระน้ำ ภายในสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เป็น 3 จุด ได้แก่ จุดเก็บน้ำตัวอย่าง จุดสูบน้ำเข้าระบบ และจุดปล่อยน้ำอออกจากระบบ แสดงดังภาพที่




**ภาพที่ 3-16 กำหนดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณสระน้ำ ภายในสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)**

**ภาพที่ 3-17 เปรียบเทียบจุดปล่อยน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว**

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินการ และอภิปรายผล

## 4.1 การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อน ในระดับห้องปฏิบัติการ กรณีของสระน้ำของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

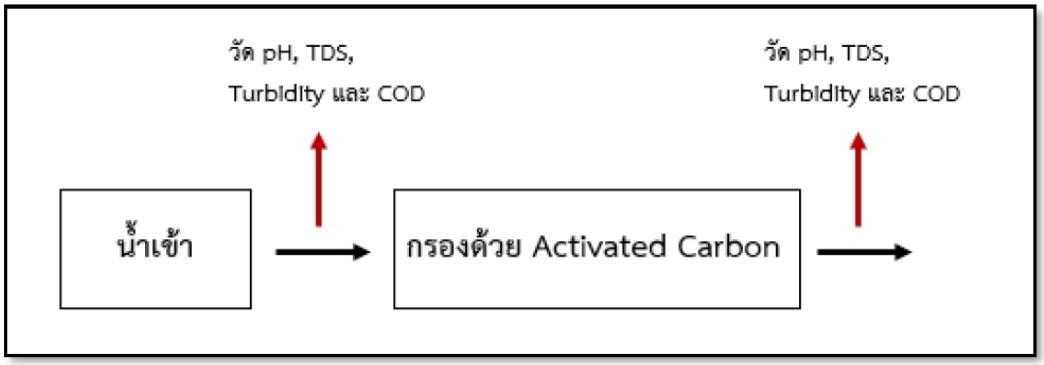
ในการศึกษาแนวทางบำบัดน้ำในสระน้ำที่ปนเปื้อน มีแนวทางการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)
2. การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบโอโซนร่วมกับระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

**ภาพที่ 4-1 การเก็บตัวอย่างน้ำมาวิจัยในห้องปฏิบัติการ**

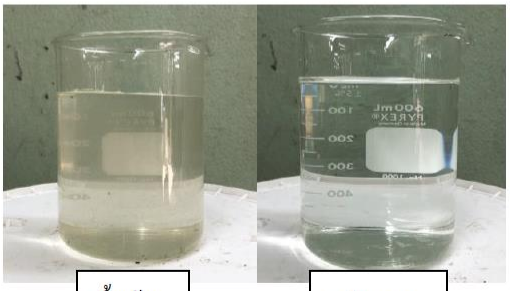
*4.1.1 การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)*

การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แสดงในผังไดอะแกรม




Flow Diagram

| | น้ำเข้า | หลังกรอง | ประสิทธิภาพในการกำจัด |
|---|---|---|---|
| pH | 8.18 | 7.94 | - |
| TDS (mg/L) | 109 | 110 | -0.9% |
| Turbidity (NTU) | 22.2 | 2.27 | 89.8% |
| COD (mg/L) | 34 | 24 | 29.4% |



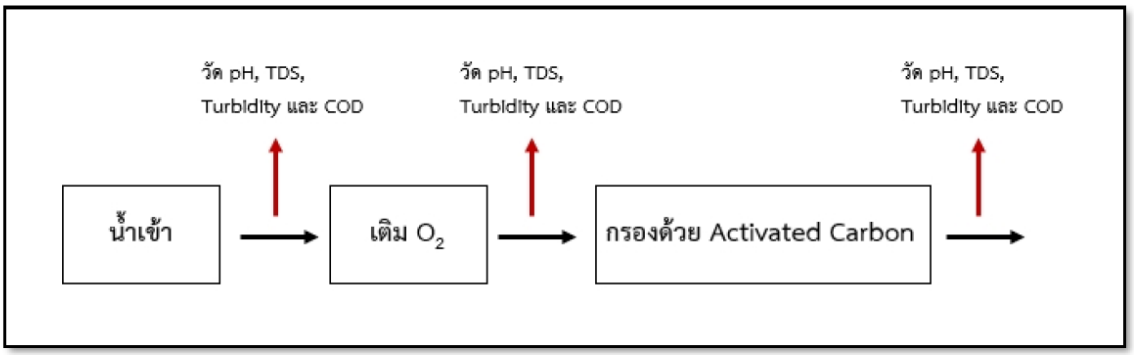
น้ำเข้า



หลังกรอง

*4.1.2 การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบโอโซนร่วมกับระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)*

การศึกษาทดสอบการบำบัดน้ำในสระน้ำด้วยแนวทางระบบโอโซนร่วมกับระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ดังแสดงในผังไดอะแกรม

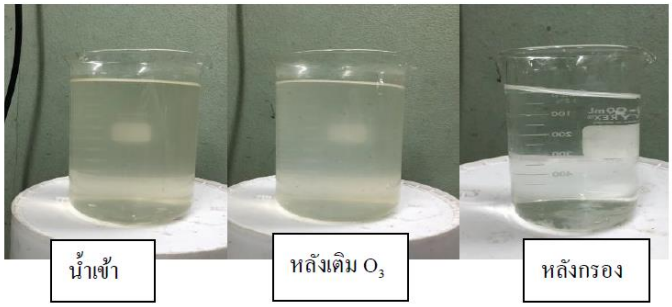



Flow Diagram

ในที่นี้พิจารณาเลือกใช้ Ozone dosage = 90 mL/min ร่วมกับระบบระบบกรองและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่เวลาสัมผัส 5 นาที

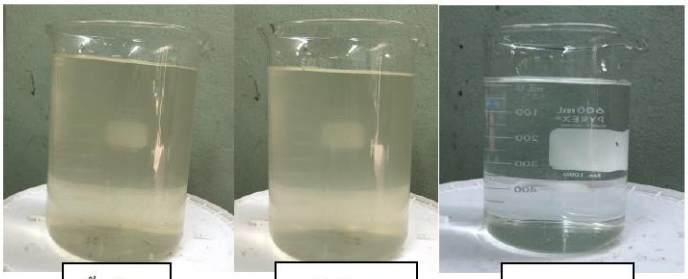
(1) การทดสอบครั้งที่ 1

| | น้ำเข้า | หลังเติม $O_3$ | หลังกรอง | ประสิทธิภาพในการกำจัด |
|---|---|---|---|---|
| pH | 7.58 | 8.06 | 7.76 | - |
| TDS (mg/L) | 108 | 112 | 126 | -16.7% |
| Turbidity (NTU) | 24.1 | 27.4 | 3.59 | 85.1% |
| COD (mg/L) | 12 | ไม่พบ | ไม่พบ | >99% |



(2) การทดสอบครั้งที่ 2

| | น้ำเข้า | หลังเติม $O_3$ | หลังกรอง | ประสิทธิภาพในการกำจัด |
|---|---|---|---|---|
| pH | 7.94 | 8.84 | 8.00 | - |
| TDS (mg/L) | 109 | 108 | 111 | -1.8% |
| Turbidity (NTU) | 28.1 | 25.0 | 4.39 | 84.4% |
| COD (mg/L) | ไม่พบ | 8 | ไม่พบ | - |



น้ำเข้า หลังเติม $O_2$ หลังกรอง

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ จะนำไปใช้คำนวณปริมาณโอโซนที่ต้องใช้ในภาคสนามต่อไป

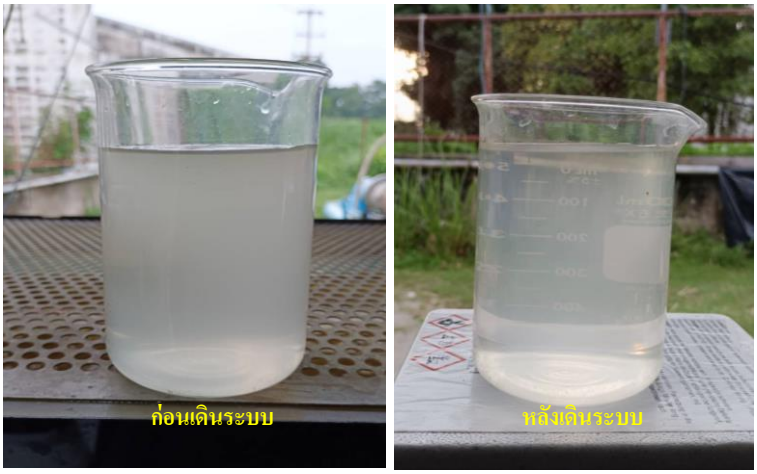
## 4.2 ผลการทดสอบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ที่สระน้ำของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณสระน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.2-4.5 และแสดงดังตารางที่ 4.1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่า ORP (Oxidation Reduction Potential) ก่อนเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เฉลี่ย 4.24 mg/L และ 118 mV ตามลำดับ และเมื่อเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแล้วพบว่ามีค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่า ORP (Oxidation Reduction Potential) เพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 5.81 mg/L และ 158 mV ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า ค่าความขุ่น (Turbidity) เริ่มต้นเฉลี่ย 75.2 NTU หลังจากเดินระบบจะลดลงเหลือ 44.8 NTU ดังนั้นประสิทธิภาพการลดความขุ่นของระบบเฉลี่ยประมาณ 40 %

ภาพที่ 4-2 ตรวจวัดค่า DO ตามจุดตรวจวัดที่กำหนด

ภาพที่ 4-3 เปรียบเทียบผลการตรวจวัดค่า ORP
ระหว่างก่อนและหลังการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบผลการตรวจวัดค่าความขุ่น
ระหว่างก่อนและหลังการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ




**ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบลักษณะน้ำ**
**ระหว่างก่อนและหลังการเดินระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ**

**ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำรอบสระน้ำ**

| จุดตรวจวัด | DO (mg/L) | | ORP (mV) | | Turbidity (NTU) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ก่อน (9/5/65) | หลัง (16/5/65) | ก่อน (9/5/65) | หลัง (16/5/65) | ก่อน (9/5/65) | หลัง (16/5/65) |
| จุดเก็บน้ำตัวอย่าง | 4.10 | 5.15 | 68 | 133 | 82.3 | 54.3 |
| จุดสูบน้ำเข้าระบบ | 3.90 | 5.58 | 162 | 169 | 73.7 | 42.2 |
| จุดปล่อยน้ำออกจากระบบ | 4.72 | 6.69 | 126 | 174 | 69.7 | 38.1 |
| **เฉลี่ย** | **4.24** | **5.81** | **118** | **158** | **75.2** | **44.8** |

## 4.3 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากห้องปฏิบัติการ

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อน – หลังผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเก็บน้ำตัวอย่างเริ่มต้นและเก็บน้ำตัวอย่างหลังผ่านระบบฯ เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2565 แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำจากน้ำที่ขุ่น ให้กลายเป็นน้ำใส และไม่มีกลิ่น โดยดูจากประสิทธิภาพการกำจัด COD, Oli and Grease, Color, Total Suspended Solid, Phosphate และ Turbidity เท่ากับ 53%, 100%, 43%, 51%, 44% และ 46% ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อน – หลังผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ**

| Parameter | Unit | มาตรฐานน้ำผิวดิน* | น้ำเข้า | น้ำออก | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Result | % Removed |
| Biochemical Oxygen Demand | mg/l | 1.5 | < 2.0 | < 2.0 | - |
| Chemical Oxygen Demand | mg/l | - | 19.0 | 9.0 | 53 % |
| pH | - | 5-9 | 7.8 | 7.9 | - |
| Oil and Grease | mg/l | - | 0.7 | ND | 100 % |
| Color | Pt.CO | ธ | 7.15 | 4.09 | 43 % |
| Total Suspended Solid | mg/L | - | 57.0 | 28.0 | 51 % |
| Phosphate | mg/l | - | 0.43 | 0.24 | 44 % |
| Turbidity | NTU | - | 64.4 | 35.0 | 46 % |

**หมายเหตุ:** 1. เก็บน้ำตัวอย่าง 30 เมษายน 2565

2. กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- การประมง
- การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

3. ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

4. แหล่งที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

## 4.4 ผลการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพน้ำในสระน้ำปนเปื้อนโดยระบบ Solar aeration pond ณ พื้นที่สนามกอล์ฟ กองทัพบก

ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตั้งระบบ Solar aeration ในสระน้ำ โดยมีเครื่องเติมอากาศแบบ Jet aerator ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 3 เครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 4-6

**ภาพที่ 4-6** การเดินระบบ Solar aeration

## ผลการทดสอบระบบที่ได้

สำหรับข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบ solar aeration system ด้านคุณภาพน้ำ แสดงดังตาราง

| Day | Water quality parameters | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH | DO (mg/L) | BOD (mg/L) | TSS (mg/L) | TKN (mgN/L) | Color (ADMI) | Coliform Bacteria (MPN/100 mL) |
| **Without solar aeration installation** | | | | | | | |
| 20 Jan. 2022 after Pond 2 | | 1.5 | 11.8 | | 9.0 | | |
| 20 Jan. 2022 At the middle of Pond 3 | | 3.5 | 10.8 | | 7.5 | | |
| 20 Jan. 2022 After Pond 3 | | 2.5 | 11.0 | | 5.0 | | |
| **After solar aeration installation** | | | | | | | |
| 9 May 2022 after Pond 2 (Before Solar aeration treatment) | 9.0 | 3.1 | 6.1 | 31.0 | < 0.28 | 23 | 2,200 |
| 9 May 2022 after Pond 3 (After Solar aeration treatment) | 7.9 | 6.0 | 4.4 | 29.0 | < 0.28 | 21 | 790 |

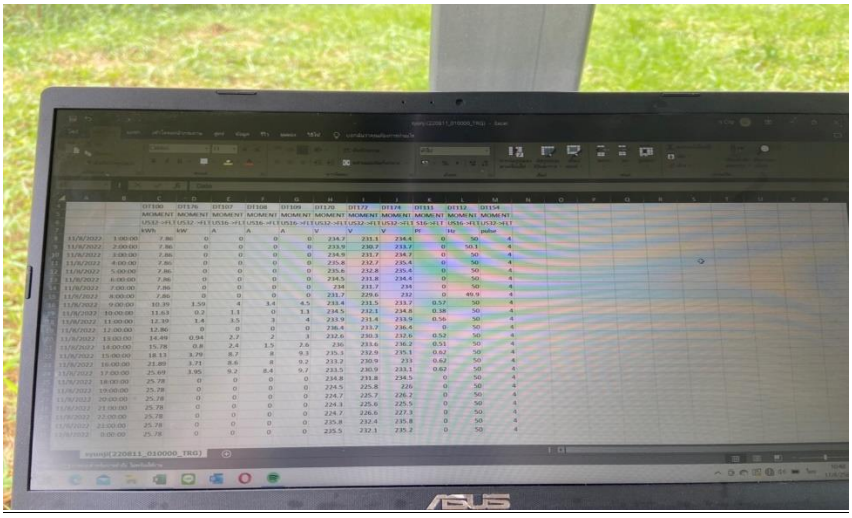
**การวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบเติมอากาศแบบ Solar Aeration System**

จากการเก็บข้อมูลโดยรวมพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง ในวันที่มีแสงแดด บางครั้งไม่มีการดึงไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ แสดงว่าโซล่าร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 0.00 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 0.00 บาท/วัน

จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่อง ที่ตั้งเวลาทำงานไว้ตั้งแต่ 8.00 น. – 18.00 น. เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมงต่อวัน ใน 1 สัปดาห์ ระบบเติมอากาศดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ทั้งหมด 39.67 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 158.68 บาท/สัปดาห์

สำหรับผลการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศของระบบเติมอากาศแบบ Solar Aeration System โดยระบบ data logger แสดงดังนี้

**อุปกรณ์ data logger สำหรับเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์พลังงาน**



## งานทดสอบการอ่านค่าและประมวลผล

วันที่ 10 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10/8/2022 | 1:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 2:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 3:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 4:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 5:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 6:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 7:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 8:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 9:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 10:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 11:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 12:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 13:00:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/8/2022 | 14:00:00 | 3.81 | 0.86 | 2.6 | 1.7 | 2.9 | 229.2 | 238.5 | 233.4 | 50 |
| 10/8/2022 | 15:00:00 | 4.64 | 1.92 | 4.8 | 4.1 | 5.2 | 229.1 | 238.1 | 233 | 50 |
| 10/8/2022 | 16:00:00 | 5.61 | 0.31 | 1.5 | 0 | 1.5 | 230.4 | 239.5 | 234.5 | 50 |
| 10/8/2022 | 17:00:00 | 7.79 | 3.22 | 7.5 | 6.7 | 8.1 | 230.2 | 239.1 | 233.7 | 50 |
| 10/8/2022 | 18:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 230.4 | 239.5 | 234.3 | 50 |
| 10/8/2022 | 19:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 219.3 | 230.6 | 224.1 | 50 |
| 10/8/2022 | 20:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220.3 | 230.9 | 224.7 | 50 |
| 10/8/2022 | 21:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220.6 | 231.7 | 225.9 | 50 |
| 10/8/2022 | 22:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220.6 | 231.6 | 226 | 50 |
| 10/8/2022 | 23:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 232.2 | 240.3 | 236.2 | 50 |
| 11/8/2022 | 0:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 229.4 | 237.6 | 232.9 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางมีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ ในช่วง 13.00 น. – 17.00 น. เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีฝนตกหรือเมฆครึ้ม ทำให้โซล่าร์เซลล์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นจึงใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 6.31 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 25.24 บาท/วัน

วันที่ 11 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | PF | Hz | pulse |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/8/2022 | 1:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.7 | 231.1 | 234.4 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 2:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.9 | 230.7 | 233.7 | 0 | 50.1 | 4 |
| 11/8/2022 | 3:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.9 | 231.7 | 234.7 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 4:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.8 | 232.7 | 235.4 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 5:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.6 | 232.8 | 235.4 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 6:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 231.8 | 234.4 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 7:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234 | 231.7 | 234 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 8:00:00 | 7.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 231.7 | 229.6 | 232 | 0 | 49.9 | 4 |
| 11/8/2022 | 9:00:00 | 10.39 | 1.59 | 4 | 3.4 | 4.5 | 233.4 | 231.5 | 233.7 | 0.57 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 10:00:00 | 11.63 | 0.2 | 1.1 | 0 | 1.1 | 234.5 | 232.1 | 234.8 | 0.38 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 11:00:00 | 12.39 | 1.4 | 3.5 | 3 | 4 | 233.9 | 231.4 | 233.9 | 0.56 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 12:00:00 | 12.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.4 | 233.7 | 236.4 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 13:00:00 | 14.49 | 0.94 | 2.7 | 2 | 3 | 232.6 | 230.3 | 232.6 | 0.52 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 14:00:00 | 15.78 | 0.8 | 2.4 | 1.5 | 2.6 | 236 | 233.6 | 236.2 | 0.51 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 15:00:00 | 18.13 | 3.79 | 8.7 | 8 | 9.3 | 235.3 | 232.9 | 235.1 | 0.62 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 16:00:00 | 21.89 | 3.71 | 8.6 | 8 | 9.2 | 233.2 | 230.9 | 233 | 0.62 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 17:00:00 | 25.69 | 3.95 | 9.2 | 8.4 | 9.7 | 233.5 | 230.9 | 233.1 | 0.62 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 18:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.8 | 231.8 | 234.5 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 19:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.5 | 225.8 | 226 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 20:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.7 | 225.7 | 226.2 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 21:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.3 | 225.6 | 225.5 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 22:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.7 | 226.6 | 227.3 | 0 | 50 | 4 |
| 11/8/2022 | 23:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.8 | 232.4 | 235.8 | 0 | 50 | 4 |
| 12/8/2022 | 0:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 232.1 | 235.2 | 0 | 50 | 4 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางมีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ ในช่วง 8.00 น. – 11.00 น. และช่วง 12.00 น.-17.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อาจเกิดจากการที่มีฝนตกหรือเมฆครึ้ม ทำให้โซล่าร์เซลล์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นจึงใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 16.38 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 65.52 บาท/วัน

วันที่ 12 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12/8/2022 | 1:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.1 | 232.2 | 234.9 | 50 |
| 12/8/2022 | 2:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.7 | 230.8 | 233.5 | 50 |
| 12/8/2022 | 3:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.8 | 231.8 | 234.6 | 50 |
| 12/8/2022 | 4:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 232.6 | 234.9 | 50 |
| 12/8/2022 | 5:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 232.5 | 234.8 | 50 |
| 12/8/2022 | 6:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.7 | 231.9 | 234.3 | 50 |
| 12/8/2022 | 7:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 233.3 | 235.4 | 49.9 |
| 12/8/2022 | 8:00:00 | 25.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 232.1 | 234.3 | 50 |
| 12/8/2022 | 9:00:00 | 28.18 | 2.01 | 5 | 4.3 | 5.6 | 233.3 | 231.1 | 233.2 | 50 |
| 12/8/2022 | 10:00:00 | 29.92 | 2.12 | 5.3 | 4.5 | 5.8 | 233.7 | 231.1 | 233.4 | 50 |
| 12/8/2022 | 11:00:00 | 31.49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234 | 231.4 | 233.7 | 49.9 |
| 12/8/2022 | 12:00:00 | 32.44 | 0.24 | 1.2 | 0.2 | 1.3 | 232.7 | 230.1 | 232.5 | 50 |
| 12/8/2022 | 13:00:00 | 34.44 | 1.94 | 5 | 4.1 | 5.5 | 231.8 | 229.4 | 231.5 | 49.9 |
| 12/8/2022 | 14:00:00 | 36.86 | 2.17 | 5.4 | 4.6 | 5.9 | 233.9 | 231.4 | 233.7 | 49.9 |
| 12/8/2022 | 15:00:00 | 39.23 | 2.81 | 6.8 | 6 | 7.3 | 234.1 | 231.3 | 233.4 | 50 |
| 12/8/2022 | 16:00:00 | 41.81 | 2.7 | 6.6 | 5.9 | 7.1 | 231.9 | 229.1 | 231.4 | 50 |
| 12/8/2022 | 17:00:00 | 44.51 | 2.99 | 7.2 | 6.4 | 7.7 | 232.3 | 229.7 | 231.8 | 50 |
| 12/8/2022 | 18:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 231.5 | 234.3 | 50 |
| 12/8/2022 | 19:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.9 | 226 | 226.1 | 50 |
| 12/8/2022 | 20:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.7 | 225.6 | 225.7 | 50 |
| 12/8/2022 | 21:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 230.4 | 228 | 230.1 | 50 |
| 12/8/2022 | 22:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 231.3 | 229 | 231.3 | 50 |
| 12/8/2022 | 23:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 230.8 | 233.9 | 49.9 |
| 13/8/2022 | 0:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.9 | 233.6 | 236.7 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางมีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ ในช่วง 8.00 น. – 10.00 น. และช่วง 11.00 น.-17.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง อาจเกิดจากการที่มีฝนตกหรือเมฆครึ้ม ทำให้โซล่าร์เซลล์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นจึงใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 16.98 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 67.92 บาท/วัน

วันที่ 13 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13/8/2022 | 1:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.5 | 233.1 | 236 | 50.1 |
| 13/8/2022 | 2:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235 | 231.8 | 234.7 | 50 |
| 13/8/2022 | 3:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.6 | 230.6 | 233.5 | 50.1 |
| 13/8/2022 | 4:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 231.5 | 234 | 50 |
| 13/8/2022 | 5:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.2 | 231.2 | 233.5 | 50 |
| 13/8/2022 | 6:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.9 | 231.1 | 233.4 | 50 |
| 13/8/2022 | 7:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 232 | 234.2 | 50 |
| 13/8/2022 | 8:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 233 | 235.5 | 50 |
| 13/8/2022 | 9:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.1 | 232.1 | 234.2 | 50 |
| 13/8/2022 | 10:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 229 | 238.3 | 233 | 50 |
| 13/8/2022 | 11:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237 | 234.1 | 236.9 | 50.1 |
| 13/8/2022 | 12:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.8 | 233.1 | 235.3 | 50.1 |
| 13/8/2022 | 13:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.7 | 233.6 | 236.3 | 50.1 |
| 13/8/2022 | 14:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234 | 231.5 | 234 | 50 |
| 13/8/2022 | 15:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 232.8 | 235.7 | 50 |
| 13/8/2022 | 16:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.7 | 233.2 | 235.1 | 50 |
| 13/8/2022 | 17:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.4 | 231.8 | 234.4 | 50 |
| 13/8/2022 | 18:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 232.6 | 235.4 | 50 |
| 13/8/2022 | 19:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224.5 | 225 | 225.7 | 50 |
| 13/8/2022 | 20:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 224 | 224.3 | 225.3 | 50 |
| 13/8/2022 | 21:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 230.3 | 227.6 | 230.2 | 50 |
| 13/8/2022 | 22:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.7 | 231.5 | 235.4 | 50 |
| 13/8/2022 | 23:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.1 | 230 | 233.9 | 50 |
| 14/8/2022 | 0:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.3 | 232.8 | 235.9 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางไม่มีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ อาจเกิดจากการที่มีแดด ทำให้โซล่าร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 0.00 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 0.00 บาท/วัน

วันที่ 14 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14/8/2022 | 1:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.3 | 230.2 | 233.1 | 50 |
| 14/8/2022 | 2:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237.4 | 234.2 | 236.8 | 50 |
| 14/8/2022 | 3:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 231.3 | 234 | 50 |
| 14/8/2022 | 4:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 232.6 | 235.2 | 50 |
| 14/8/2022 | 5:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233 | 230 | 232.3 | 50 |
| 14/8/2022 | 6:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.3 | 230.7 | 232.9 | 50 |
| 14/8/2022 | 7:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.7 | 231 | 233.5 | 50 |
| 14/8/2022 | 8:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.5 | 233.3 | 235.8 | 50 |
| 14/8/2022 | 9:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.5 | 230.9 | 233.6 | 50 |
| 14/8/2022 | 10:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.8 | 231.1 | 233.9 | 50 |
| 14/8/2022 | 11:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 232.8 | 230.3 | 233 | 50 |
| 14/8/2022 | 12:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.1 | 232.3 | 234.9 | 50 |
| 14/8/2022 | 13:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 232.3 | 235.3 | 50 |
| 14/8/2022 | 14:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.8 | 232 | 234.8 | 50 |
| 14/8/2022 | 15:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.6 | 231.6 | 234.5 | 50 |
| 14/8/2022 | 16:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.9 | 232 | 234.7 | 50 |
| 14/8/2022 | 17:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 232.2 | 235 | 50 |
| 14/8/2022 | 18:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 231 | 234 | 50 |
| 14/8/2022 | 19:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 229.8 | 233.4 | 50.1 |
| 14/8/2022 | 20:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235 | 230.3 | 234.6 | 50 |
| 14/8/2022 | 21:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.8 | 229.9 | 234.3 | 50 |
| 14/8/2022 | 22:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.7 | 231.1 | 235.4 | 50 |
| 14/8/2022 | 23:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237.4 | 233.3 | 237.4 | 50 |
| 15/8/2022 | 0:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 230.8 | 234.5 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางไม่มีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ อาจเกิดจากการที่มีแดด ทำให้โซล่าร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 0.00 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 0.00 บาท/วัน

วันที่ 15 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15/8/2022 | 1:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237.4 | 233.7 | 237.1 | 50.1 |
| 15/8/2022 | 2:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.4 | 229.8 | 233.2 | 50 |
| 15/8/2022 | 3:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.6 | 231.4 | 234.4 | 50 |
| 15/8/2022 | 4:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.1 | 232.9 | 236.1 | 50 |
| 15/8/2022 | 5:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.3 | 230.2 | 232.9 | 49.9 |
| 15/8/2022 | 6:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.9 | 231.8 | 234.5 | 50 |
| 15/8/2022 | 7:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.4 | 231.9 | 234.3 | 50.1 |
| 15/8/2022 | 8:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.9 | 233.8 | 236 | 50 |
| 15/8/2022 | 9:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.5 | 231 | 233.6 | 49.9 |
| 15/8/2022 | 10:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.3 | 234.1 | 236.6 | 50 |
| 15/8/2022 | 11:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.4 | 232.8 | 235.7 | 50 |
| 15/8/2022 | 12:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.8 | 233 | 236 | 50 |
| 15/8/2022 | 13:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 231.4 | 234.3 | 49.9 |
| 15/8/2022 | 14:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.1 | 230.2 | 233 | 50 |
| 15/8/2022 | 15:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.3 | 233.4 | 236.6 | 50 |
| 15/8/2022 | 16:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.7 | 232.8 | 236 | 50 |
| 15/8/2022 | 17:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.1 | 233.1 | 236.1 | 50 |
| 15/8/2022 | 18:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237.2 | 233.7 | 236.7 | 49.9 |
| 15/8/2022 | 19:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235 | 231.5 | 234.4 | 50 |
| 15/8/2022 | 20:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.7 | 231.9 | 235 | 50 |
| 15/8/2022 | 21:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.5 | 229.6 | 233.2 | 50 |
| 15/8/2022 | 22:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.3 | 230.5 | 233.7 | 50 |
| 15/8/2022 | 23:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 232.2 | 235.5 | 50 |
| 16/8/2022 | 0:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 232.8 | 229.8 | 232.5 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางไม่มีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ อาจเกิดจากการที่มีแดด ทำให้โซล่าร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 0.00 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 0.00 บาท/วัน

วันที่ 16 สิงหาคม 2565

| Date | Time | kWh | kW | A | A | A | V | V | V | Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16/8/2022 | 1:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 232 | 235 | 50 |
| 16/8/2022 | 2:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.8 | 231 | 233.5 | 50 |
| 16/8/2022 | 3:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 232.6 | 234.8 | 50 |
| 16/8/2022 | 4:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.6 | 232 | 234.3 | 49.9 |
| 16/8/2022 | 5:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.5 | 231.7 | 234.3 | 50 |
| 16/8/2022 | 6:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 232.8 | 229.9 | 232.2 | 50 |
| 16/8/2022 | 7:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.7 | 232.3 | 234.7 | 50 |
| 16/8/2022 | 8:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 233 | 235.5 | 50 |
| 16/8/2022 | 9:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 233.2 | 235.6 | 50 |
| 16/8/2022 | 10:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.7 | 231.2 | 234 | 50 |
| 16/8/2022 | 11:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 232.7 | 235.4 | 50 |
| 16/8/2022 | 12:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 237.1 | 234.6 | 237.1 | 50 |
| 16/8/2022 | 13:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 233.8 | 231.4 | 234.1 | 50 |
| 16/8/2022 | 14:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.2 | 233.8 | 236.3 | 50 |
| 16/8/2022 | 15:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.9 | 234.7 | 237.3 | 50 |
| 16/8/2022 | 16:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 232.6 | 230.4 | 232.9 | 50 |
| 16/8/2022 | 17:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.8 | 232.3 | 235 | 50 |
| 16/8/2022 | 18:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234 | 231 | 233.8 | 50 |
| 16/8/2022 | 19:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.4 | 231 | 233.7 | 50 |
| 16/8/2022 | 20:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.9 | 231 | 234.4 | 50 |
| 16/8/2022 | 21:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 234.7 | 230.9 | 234.7 | 50 |
| 16/8/2022 | 22:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236.7 | 232.8 | 236.4 | 50 |
| 16/8/2022 | 23:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.2 | 232 | 235.1 | 50 |
| 17/8/2022 | 0:00:00 | 44.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 235.3 | 232.3 | 235 | 50 |

จากการเก็บข้อมูลพบว่า โดยปกติแล้วโซล่าร์เซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 3.7 กิโลวัตต์/ชั่วโมง แต่ในตารางไม่มีการดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ อาจเกิดจากการที่มีแดด ทำให้โซล่าร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ ดังนั้นใช้ไฟฟ้าพื้นฐานทั้งหมด 0.00 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 0.00 บาท/วัน

จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่อง ที่ตั้งเวลาทำงานไว้ตั้งแต่ 8.00 น. – 18.00 น. เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมงต่อวัน ใน 1 สัปดาห์ ระบบเติมอากาศดึงไฟฟ้าพื้นฐานมาใช้ทั้งหมด 39.67 กิโลวัตต์ ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.00 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงินทั้งหมด 158.68 บาท/สัปดาห์

# บทที่ 5
# สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาระบบบำบัดคุณภาพน้ำสำหรับสระน้ำ โดยมีสระน้ำหน้าอาคารของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และสระน้ำที่รับน้ำดิบมาจากคลองบางบัวที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นพื้นที่กรณีศึกษา เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริง และพัฒนาองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมการปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับสระน้ำ เพื่อพัฒนาแนวทางการเดินระบบ การควบคุมดูแลระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริงที่พัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีการดำเนินการปรับพื้นที่ ปรับภูมิทัศน์ และติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระน้ำด้วยระบบ Ozone/Multimedia filter ติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำด้วยน้ำตกและน้ำพุ รวมทั้งศึกษาการพัฒนาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบ solar aeration system และแบบ wind-energy aeration system เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

ในการทดสอบเดินระบบมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำของสระน้ำในห้องปฏิบัติการพบว่าระบบ Ozone/Multimedia filter สามารถเพิ่มออกซิเจนละลาย (DO) ได้สูงถึง 2 mg/L สามารถกำจัด BOD, Ammonia, Phosphate, และ Coliform Bacteria ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้น้ำในสระมีค่าออกซิเจนละลายที่ผ่านมาตรฐานน้ำผิวดิน ประเภทที่ 2

ในส่วนของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบ solar aeration system และแบบ wind-energy aeration system ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในสระน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD, ค่า TKN ไนโตรเจน และค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ทำให้คุณภาพน้ำในสระน้ำดีขึ้น และยังช่วยประหยัดพลังงานในการเดินระบบอีกด้วย

โครงการนี้ได้บรรลุเป้าหมายในการพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริง และพัฒนาแนวทางการเดินระบบ การควบคุมดูแลระบบบำบัดคุณภาพน้ำขนาดใช้งานจริงนี้ที่พัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้การวิจัยและนวัตกรรมระบบบำบัดน้ำเสีย

# เอกสารอ้างอิง

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร. (2561). *การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยกระบวนการร่วมโอโซนเนชันและอัลตราฟิลเตรชัน*(รายงานผลการวิจัย). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Langlais, Bruno, Reckhow, David A., Brink, and Deboerah R., Ozone in Water Treatment : Applieation and Engineering, Chelsea : Lewis., 1991.