





## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยเหินแดง

**Phosphorus Removal in Wastewater from Washing**

**by *Azolla micophylla***

พรทวี กองร้อย

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2557

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแหนแดง

**Phosphorus Removal in Wastewater from Washing**

**by *Azolla micophylla***

พรทวิ กองร้อย

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2557

รายงานการวิจัย การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยเหนง

พรทวิ กองร้อย ปี พ.ศ. 2557

( ก )

ชื่องานวิจัย      การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแหนแดง

Phosphorus Removal in Wastewater from Washing by *Azolla micophylla*

ผู้วิจัย              พรทวิ กองร้อย

สาขาวิชา          วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2557

## บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างและศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยวิธีใช้แหนแดง (*Azolla micophylla*) ดูดซึม จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงซักฟอกผสมร่วมกับน้ำ ผลการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสจากชุดทดลองจำนวน 4 ชุด โดยแบ่งเป็นการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้น 100% 75% 50% และ 25% ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 6-35% และการทดลองที่มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% และที่ระยะเวลาการบำบัดน้ำเสียสัปดาห์ที่ 2 (ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 35) แต่ที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำหรือไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการใช้แหนแดงดูดซึมจะสามารถบำบัดในช่วง 1-2 สัปดาห์ เนื่องจากแหนแดงจะมีการเจริญเติบโตเต็มที่ที่สามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ดี อย่างไรก็ตาม หากกักเก็บน้ำเสียไว้ในระยะมากเกินไป อาจเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในน้ำน้ำเสียได้ ดังนั้น เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุดและการนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจริง ความคำนึงถึงปริมาณแหนแดง ระยะเวลาในการบำบัด และความเข้มข้นของน้ำเสีย ส่วนแหนแดงภายหลังที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว สามารถนำไปเป็นปุ๋ยพืชสดแทนปุ๋ยเคมีได้เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดินต่อไป

คำสำคัญ : แหนแดง, ฟอสฟอรัส, การซักล้าง

## Abstract

This research study on the efficiency of phosphorus removal in wastewater from washing. Also study the concentration and detention time for the removal of phosphorus in wastewater from washing by use of *Azolla micophylla* absorbed from synthetic wastewater using detergent mixed with water. The study of phosphorus removal from the experiment were divided into 4 sets by dilute wastewater concentrations at 100%, 75%, 50% and 25% respectively. The study result showed that phosphorus removal efficiency in the range of 6-35%. The concentration of wastewater at 100% and 2 week for detention time showed that high of phosphorus removal efficiency (Phosphorus removal 35 percent). Although, at other concentrations relatively low efficiency of phosphorus removal or no phosphorus removal efficiency by use of *Azolla micophylla*. The efficiency of phosphorus uptake by use of *Azolla micophylla* can be treated in 1 to 2 weeks due to the fully growth of *Azolla micophylla* then can be better absorption of nutrients. However, if long detention time of wastewater may increase the nutrients in the wastewater. So greater removal of phosphorus and applied to real wastewater need to consider amount of *Azolla micophylla*, Detention time and concentrations of wastewater. After used *Azolla micophylla* to absorbed phosphorus can be used as organic fertilizer instead of chemical fertilizers to adjust nutrients in soil.

Keywords: *Azolla micophylla*, phosphorus, washing

( ก )

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกๆ ท่าน เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

พรทวี กองร้อย

5 ตุลาคม 2557

## สารบัญ

### หน้า

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                           | ก  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                        | ข  |
| กิตติกรรมประกาศ.....                           | ค  |
| สารบัญ.....                                    | ง  |
| สารบัญตาราง.....                               | ช  |
| สารบัญรูป.....                                 | ซ  |
| บทที่ 1    บทนำ.....                           | 1  |
| 1.1    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....     | 1  |
| 1.2    วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....            | 2  |
| 1.3    ขอบเขตการวิจัย.....                     | 2  |
| 1.4    ประโยชน์ของการวิจัย.....                | 2  |
| 1.5    นิยามศัพท์เฉพาะ.....                    | 3  |
| บทที่ 2    เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4  |
| 2.1    ฟอสฟอรัส (Phosphorus).....              | 4  |
| 2.2    น้ำเสีย.....                            | 9  |
| 2.3    แหนแดง.....                             | 14 |
| 2.4    งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....              | 16 |
| บทที่ 3    วิธีดำเนินการวิจัย.....             | 19 |
| 3.1    เครื่องมือในการวิจัย.....               | 19 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                 | หน้า |
|-------------------------------------------------|------|
| 3.2 แผนการวิจัย.....                            | 20   |
| 3.3 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ.....           | 22   |
| 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....                     | 24   |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง.....                         | 25   |
| 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส.....            | 25   |
| 4.2 ระยะเวลาในการกำจัดฟอสฟอรัส.....             | 28   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....                     | 29   |
| 5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส.....            | 29   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....                             | 30   |
| บรรณานุกรม.....                                 | 31   |
| ภาคผนวก.....                                    | 34   |
| ภาคผนวก ก รูปภาพการศึกษาวิจัย.....              | 34   |
| ภาคผนวก ข การบูรณาการเข้ากับการเรียนการสอน..... | 38   |
| ประวัติคณะผู้วิจัย.....                         | 49   |

( จ )

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                | หน้า |
|----------|------------------------------------------------|------|
| 2-1      | การจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็นประเภทต่าง ๆ.....       | 5    |
| 4.1      | ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 1..... | 26   |
| 4.2      | ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2..... | 26   |
| 4.3      | ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 3..... | 27   |

( ช )

## สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า                                                |
|--------|-----------------------------------------------------|
| 2-1    | การเปรียบเทียบห่วงโซ่อาหารของความสมดุลและไม่สมดุล   |
|        | ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน.....8                        |
| 2-2    | แหล่งน้ำที่มีความขุ่นน้อย.....9                     |
| 2-3    | แหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูง .....9                     |
| 2-4    | ลักษณะของเหินแดง.....15                             |
| 4.1    | กราฟแสดงความเข้มข้นของฟอสเฟตและระยะเวลากำจัด.....27 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กิจกรรมชักล้างทำความสะอาด เช่น การซักผ้า ล้างถ้วยจาน ล้างพื้น ล้างรถยนต์หรือพาหนะ เป็นต้นเกิดขึ้นเป็นประจำในการดำรงชีวิตของมนุษย์ การชักล้างทำความสะอาดข้างต้นจำเป็นต้องใช้สารซักล้างหรือผงซักฟอกที่มีส่วนประกอบของฟอสฟอรัสในรูปเกลือฟอสเฟต ( $\text{phosphate}$  ;  $\text{PO}_4^{3-}$ ) เพื่อกำจัดคราบไขมันสิ่งสกปรกออกมาจากพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาด ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงมีการปนเปื้อนฟอสฟอรัส หากปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้นได้ ทั้งนี้แหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสละลายอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้พืชน้ำ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เกิดขึ้นอย่างหนาแน่น สูญเสีย ภาวะสมดุลของระบบนิเวศในน้ำ ที่เรียกว่า "ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication ; Algae bloom)" การที่พืชน้ำเกิดหนาแน่นบนผิวน้ำจะกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปได้ น้ำและทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง ทำให้สิ่งมีชีวิตได้น้ำจึงไม่ดำรงชีวิตอยู่ได้และตายในที่สุด เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียและกลิ่นเหม็นเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา

การกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย โดยทั่วไปสามารถอาศัยหลักการตกตะกอนทางเคมี หรือการดูดซับ และกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก ซึ่งวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการควบคุมดูแลและปฏิบัติงาน รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง นอกจากนี้อาจก่อให้เกิดมลพิษหรือของเสียที่ต้องนำไปกำจัดรวมด้วย เมื่อพิจารณาจากข้อจำกัดดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติและนำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้กำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย โดยอาศัยพืชน้ำในท้องถิ่นที่มีความสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แหนแดง (*Azolla micophylla*) เนื่องจากแหนแดงเป็นพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยเฉพาะในแหล่งน้ำนิ่งหรือท่วมขัง ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่แหนแดงต้องการใช้ในการเจริญเติบโต จึงประยุกต์นำมาใช้เป็นพืชดูดซึมฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียจากการชักล้างได้ นอกจากนี้ พบว่า แหนแดงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเสียจากการชักล้างโดยใช้แหนแดง เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมใน

การกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีการใช้พืชดูดซึม ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ ยังสามารถใช้แหนแดงที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัสแล้วไปใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวร่วมด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดงดูดซึม

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดงดูดซึม

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดลองเป็นต้นแบบในการศึกษา โดยทำการทดลองแบบทีละเท (Batch) เพื่อพัฒนาประยุกต์นำไปใช้จริงต่อไป

1.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจะใช้น้ำเสียตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมโดยใช้ผงซักฟอกผสมร่วมกับน้ำ

1.3.3 การเพาะเลี้ยงและเพิ่มปริมาณแหนแดง โดยแหนแดงที่ได้จากเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยง และนำมาขยายพันธุ์ที่อ่างเลี้ยงแหนแดงประมาณ 15 วัน คัดเอาเฉพาะแหนแดงที่สมบูรณ์และโตเต็มที่ เหมาะสมต่อการนำไปทดลอง

## 1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

ผลที่ได้รับเมื่อเสร็จสิ้นงานวิจัยนี้ คือ การได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้แหนแดงในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีดูดซึม อันจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้จริงในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการชักล้าง ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาผลกระทบด้านคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะอย่างมีประสิทธิภาพ และนำไปปฏิบัติงานด้านการจัดการน้ำเสียได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ยังสามารถเผยแพร่องค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ชุมชน โดยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งยังเป็นตัวอย่างอันดีให้แก่ชุมชนในการที่จะสร้างสำนึกที่ดี และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะส่งผลดีให้กับสิ่งแวดล้อมของประเทศในอนาคต

### 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

แห่นางแมว เป็นพิธีร่นน้ำเล็ก ๆ ชนิดหนึ่ง เจริญเติบโตและลอยอยู่บนผิวน้ำในเขตร้อน และเขตอบอุ่น โดยจะดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกันกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศให้มาเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุลำดับที่ 15 สัญลักษณ์ P เป็นอโลหะ ลักษณะเป็นของแข็ง มีหลายอัญรูป อัญรูปที่สำคัญ คือ ฟอสฟอรัสขาว (บางทีก็เรียกว่า ฟอสฟอรัสเหลือง) ลักษณะอ่อนคล้ายขี้ผึ้ง หลอมละลายที่  $44^{\circ}\text{C}$ . ติดไฟง่าย เมื่อกระทบอากาศจะให้แสงเรืองเป็นพิษอย่างแรง ฟอสฟอรัสแดง ลักษณะเป็นผงสีแดงแกมม่วง เมื่อกระทบอากาศไม่ให้เกิดแสงเรือง ติดไฟยาก ไม่เป็นพิษเหมือน ฟอสฟอรัสขาว ฟอสฟอรัสในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้แก่ สารประเภท Polyphosphates และ Orthophosphates โดยทั่วไปการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียโดยหลักการดูดซับ ตกตะกอนทางเคมี และกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก แต่อาจมีปัญหาเกิดการอุดตันตัวของปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณชั้นดินบางบริเวณได้ รวมถึงก่อให้เกิดตะกอนที่ต้องนำไปกำจัด

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้

การชักล้าง หมายถึง กิจกรรมในการกำจัดสิ่งสกปรกและชำระล้างไขมันออกจากวัสดุต่างๆ เช่น เช่น การชักผ้า ล้างถ้วยจาน ล้างพื้น ล้างรถยนต์หรือพาหนะ โดยใช้สารทำความสะอาด เช่น สารซักฟอกซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ชนิดหนึ่งใช้สำหรับการชักล้าง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

##### 2.2.1 สารประกอบของฟอสฟอรัส (Phosphorus Compounds)

ฟอสฟอรัสในสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปของแข็งหรือสารแขวนลอย และสารละลาย ดังแสดงในตารางที่ 2-1 โดยฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียมีลักษณะที่ต่างกัน (กรรณิการ์, 2525) และ (อุบลวรรณ, 2536) ดังนี้

2.1.1.1 ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมากคือ

- 1) Trisodium Phosphate ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )
- 2) Disodium Phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
- 3) Monosodium Phosphate ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )
- 4) Diammonium Phosphate ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ )

2.1.1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด เมื่อแตกตัวจะให้ออโรฟอสเฟตออกมา ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมากคือ

- 1) Sodium Hexametaphosphate ( $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ )
- 2) Sodium Triphosphate ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ )
- 3) Tetrasodium Pyrophosphate ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ )

สารประกอบเหล่านี้เป็น Dehydrated Phosphate ดังนั้นจะถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำกลับไปเป็นพวกออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ตามเดิม อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าพีเอชที่ต่ำ การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้าถ้าอยู่ในน้ำสะอาด 4-50 วัน แต่จะเกิดได้เร็วในน้ำเสียประมาณ 20 ชั่วโมง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548)

2.1.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) ซึ่งได้จากกระบวนการทางชีวภาพ สารฟอสฟอรัสเหล่านี้พบได้ในสารละลาย สารแขวนลอยหรืออินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าสลายหรือเป็นองค์ประกอบในร่างกายสิ่งมีชีวิต ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมาก คือ

- 1) Nucleic Acid
- 2) Phospholipids
- 3) Sugar Phosphate

ตารางที่ 2-1 การจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็นประเภทต่าง ๆ (อุบลวรรณ, 2536)

| สารประกอบฟอสฟอรัส                                | สูตรทางเคมี                                                                               |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ในรูปของแข็ง</b>                              |                                                                                           |
| <u>Sediment Rock Mineral Phase</u>               |                                                                                           |
| Hydroxyapatite                                   | $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$                                              |
| Carbonate Fluorapatite                           | $(\text{Ca}, \text{H}_2\text{O})_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{F}, \text{OH})_2$ |
| Variscite, Strengite                             | $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}, \text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$        |
| Crandallite                                      | $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{H})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                       |
| Wavellite                                        | $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2$                                                 |
| <u>Mixed phase, Solid Solution</u>               |                                                                                           |
| Clay-Phosphate (e.g., Kaolinite)                 | $[\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot (\text{PO}_4)]$                     |
| Metal Hydroxophosphate                           | $[\text{Me}(\text{OH})_x(\text{PO}_4)_{3-x/3}]$                                           |
| Clay-Organophosphate                             | $[\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot \text{ROP}]$                        |
| <u>Suspended or Insoluble Organic Phosphorus</u> |                                                                                           |
| Bacterial Cell Material                          | Phospholipid                                                                              |
| Plant Debris                                     | Phosphoprotein, Nucleic Acid                                                              |
|                                                  | Polysaccharide Phosphate                                                                  |

ตารางที่ 2-1 การจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็นประเภทต่าง ๆ (อุบลวรรณ, 2536) (ต่อ)

| สารประกอบฟอสฟอรัส                     | สูตรทางเคมี                                                                                                                |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ในรูปสารละลาย                         |                                                                                                                            |
| <u>Orthophosphate</u>                 | $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{CaHPO}_4$                                 |
| <u>Inorganic Condensed Phosphates</u> |                                                                                                                            |
| Pyrophosphate                         | $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ , $\text{P}_2\text{O}_4^{4-}$ , $\text{CaP}_2\text{O}_7^{2-}$ , $\text{MnP}_2\text{O}_7^{2-}$ |
| TriPolyphosphate                      | $\text{HP}_3\text{O}_{10}^{4-}$ , $\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$ , $\text{CaP}_3\text{O}_{10}^{2-}$                        |
| Trimeta Phosphate                     | $\text{HP}_3\text{O}_9^{2-}$ , $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$ , $\text{CaP}_3\text{O}_9^-$                                    |
| <u>Organic Orthophosphates</u>        |                                                                                                                            |
| Sugar Phosphate                       | Glucosel-Phosphate, Adenosine                                                                                              |
| Inositol Phosphates                   | monophosphate                                                                                                              |
| Phospholipids                         | Inositol Mono and Hexaphosphate                                                                                            |
| Phosphoproteins                       | Glycerophosphate, Phosphatidic Acids                                                                                       |
|                                       | Phosphocreatine                                                                                                            |

### 2.1.2 ผลกระทบฟอสฟอรัสต่อแหล่งน้ำ

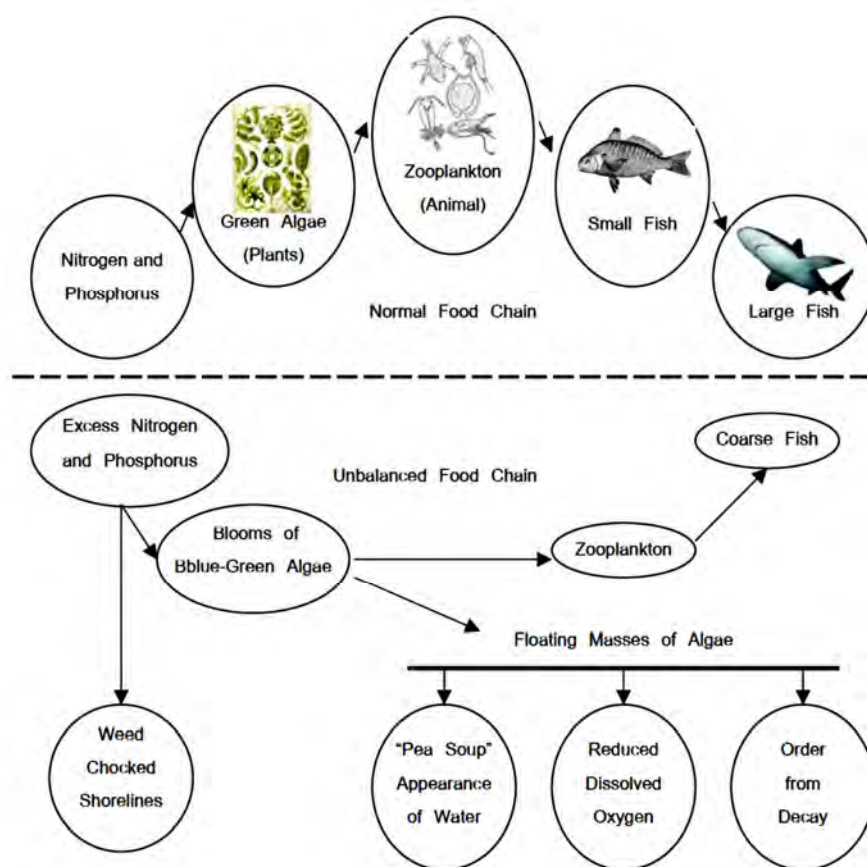
ฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth Limiting Nutrient ของพืชน้ำ และเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่ส่งผลให้สาหร่ายเซลล์เดียว เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสาหร่ายสีเขียว ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่ยังมีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงไปในน้ำเป็นจำนวนมาก อาจกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว แหล่งน้ำมีสีเขียวขุ่น ส่งผลให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ขาดออกซิเจนในเวลาที่ไม่มีแสงแดด ออกซิเจนในน้ำลดลงไม่ถึงผิวน้ำ ทำให้สัตว์น้ำขาดอากาศหายใจ ซึ่งเป็นการเพิ่มความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดมากขึ้นแล้ว ยังอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคสารพิษที่มีอยู่ในสาหร่ายบางชนิด (Callery, Forster and Stafford, 1977)

จากภาพที่ 2-1 พบว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับห่วงโซ่อาหาร คือ สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, อนินทรีย์ไนโตรเจน, ออโรฟอสเฟต และแร่ธาตุต่าง ๆ (Trace Element) ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ สาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์น้ำขนาดเล็ก และสัตว์น้ำขนาดเล็กเป็น

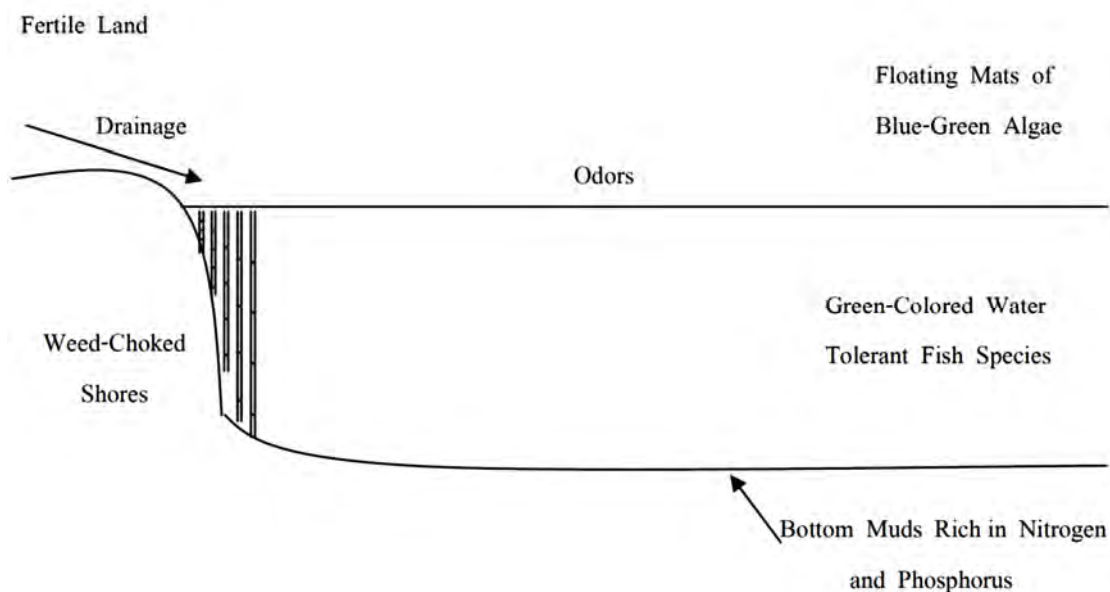
อาหารของสัตว์น้ำขนาดใหญ่ เป็นการถ่ายทอดธาตุอาหารเป็นห่วงโซ่อาหาร โดยการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารและความสมดุลในห่วงโซ่อาหาร จะถูกควบคุมโดยปริมาณธาตุอาหารที่มีในแหล่งน้ำ แต่เมื่อปริมาณอาหารในแหล่งน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารและห่วงโซ่อาหาร สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสัตว์น้ำขนาดเล็กจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้แหล่งน้ำขุ่น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Pea Soup” และจะมีมวลสาหร่ายถูกพัดพามาสะสมที่บริเวณชายหาด เกิดการย่อยสลายและจะเกิดกลิ่นเหม็น นอกจากนี้สาหร่ายบางส่วนที่เกิดการย่อยสลายในน้ำจะจมตัวลงใต้แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลาย ลดน้อยลง ส่งผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ (Hammer, 1996 ; จารูวรรณ, 2538)

จากภาพที่ 2-2 พบว่า แหล่งน้ำที่มีค่าความขุ่นน้อย จะมีผลต่ออัตราการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น เมื่อได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสีย การชะล้างปุ๋ยจากพื้นดิน และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เพียงพอ ทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตปิดกั้นผิวหน้าของน้ำ สัตว์น้ำที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มจำนวนมากขึ้น

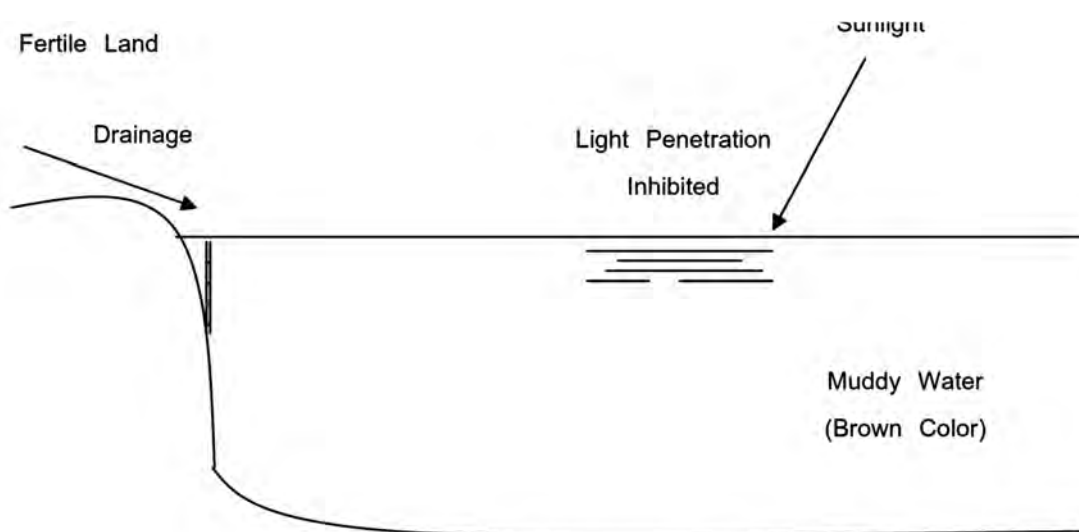
จากภาพที่ 2-3 พบว่า แหล่งน้ำที่มีค่าความขุ่นสูง จะมีผลต่ออัตราการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นเมื่อความขุ่นจะปิดกั้นแสงอาทิตย์ที่จะส่องผ่านมายังพืชน้ำ จึงเกิดอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นน้อยลงปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น คือ ปริมาณธาตุอาหารในรูปของฟอสเฟต สารอินทรีย์ในโตรเจน คาร์บอน แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และเวลากักเก็บน้ำ (จารูวรรณ, 2538) โดยปริมาณของฟอสเฟตจะมาจากหินฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่ อูจจาระสัตว์และซากพืชที่ย่อยสลาย สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มของปริมาณชีวภาพในแหล่งน้ำ ขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง



รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบห่วงโซ่อาหารของความสมดุลและไม่สมดุลปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Mark, 1977)



ภาพที่ 2-2 แหล่งน้ำที่มีความขุ่นน้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)



รูปที่ 2-3 แหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

## 2.2 น้ำเสีย

หมายถึง ของเหลวหรือน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณสูงมาก ทั้งในรูปแขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งความสกปรกหรือความไม่น่าใช้จึงมีมากกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ นำรังเกียจ เป็นมลพิษทางทัศนภาพ ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม และไม่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป

2.4.1 แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (Source Wastewater) ที่สำคัญสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท ดังนี้

#### 2.4.1.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตในการประกอบอาชีพของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย ร้านค้า ตลาด โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน และสำนักงาน ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) เป็น ส่วนประกอบสำคัญ

#### 2.4.1.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นน้ำเสียไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง บางโรงงานนั้นอาจมีวัสดุเหลือจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภทปะปนไปกับน้ำเสีย ทั้งหมดนี้เป็นเหตุให้แม่น้ำ ลำคลองเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็น มีสารพิษปะปนอยู่ กลายเป็นมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ส่วนใหญ่น้ำเสียจะเจือปน ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น สารอินทรีย์เคมี สารเคมี หรือโลหะหนัก ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังนี้

- 1) การทำความสะอาดเครื่องมือ, เครื่องจักร และพื้นที่ในโรงงานอุตสาหกรรม
- 2) จากกระบวนการผลิตสารเคมีที่เป็นอันตรายเจือปนอยู่ เช่น สารปรอท ตะกั่ว แคดเมียม แมงกานีส โครเมียม ฯลฯ สารพิษเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และทำให้เกิดการสะสมสารพิษในห่วงโซ่อาหารได้
- 3) จากอุตสาหกรรมผลิตอาหาร จะมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูงเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็นอับ อันเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำ และบางครั้งการปนเปื้อนจากความร้อนในกระบวนการ ทำให้แหล่งน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ลดลง ส่งผลให้พืชน้ำ และสัตว์น้ำ เสี่ยงต่อการติดเชื้อจากหนองพยาธิและสารเคมีได้ง่ายขึ้น ผลกระทบต่อไป คือ ปริมาณและคุณภาพของพืชน้ำและสัตว์น้ำลดจำนวนลง
- 4) น้ำมันจากการอุตสาหกรรมและการเดินเรือ ถ้ามีการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แพร่กระจาย ปกคลุมผิวน้ำทำให้การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำลดลง ส่งผลต่อการดำรงชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ

5) น้ำที่ปนเปื้อนจากอินทรีย์สารในกระบวนการอุตสาหกรรมโรงงานสามารถก่อให้เกิดผลกระทบและเกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ คือ ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถใช้อุปโภคบริโภค เป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนังและอันตรายต่ออวัยวะภายในลำคอเป็นอันตรายต่อระบบประสาทตับและไต เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ของพืชและสัตว์ลดลง

#### 2.4.1.3 น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างในทางการเกษตร เช่น น้ำเสียจากการเพาะปลูกจะมีไนโตรเจนฟอสฟอรัส โบแตสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูง ส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

#### 2.4.2 การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment)

วิธีการกำจัด ลด หรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมด (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524 ; Metcalf and Eddy, 1991 ; เอกฉัฐ, 2541) หรือทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ อีกสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารที่ละลาย ของแข็ง ที่ตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ สารแขวนลอยในน้ำเสียหรือเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ลอยอยู่บนผิวของน้ำเสียเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียต้อง ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ หลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนย่อยก็มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

##### 2.4.2.1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Wastewater Treatment)

การใช้หลักการทางกายภาพ อย่างเช่น แรงโน้มถ่วง แรงเหวี่ยง แรงหนีศูนย์กลาง เป็นต้นเพื่อเป็นการกำจัดหรือขจัดเอาสิ่งสกปรกออกจากน้ำเสีย โดยเฉพาะสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำจึงนับเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่ถูกนำมาใช้ก่อนที่น้ำเสียจะถูกนำไปบำบัดขั้นต่อไป จนกว่าจะมีคุณภาพดีพอที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพมีหลายวิธี ดังนี้

- 1) การกรองด้วยตะแกรง (Screening)
- 2) การทำให้ลอย (Flotation)
- 3) การตัดย่อย (Comminution)

- 4) รางคัดกรวดทราย (Grit Chamber)
- 5) การปรับสภาพการไหล (Flow Equalization)
- 6) การตกตะกอน (Sedimentation)

การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพนี้จะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อน ที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แล้วยังมี การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพอื่น ๆ ที่มีการใช้อีก เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียกับน้ำ หรือน้ำเสียกับอากาศหรือแม้กระทั่งการใส่สิ่งปรกในน้ำเสีย

#### 2.4.2.2 การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Wastewater Treatment)

การบำบัดน้ำเสียทางเคมีเป็นวิธีการแยกสารต่าง ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูงดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี คือ ปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมกับความต้องการ สร้างตะกอนเล็ก ๆ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (Coagulation and Flocculation) มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสียเป็นมลสารที่ไม่ละลายในน้ำซึ่งเรียกว่า Precipitation การฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมและปรับสภาพของตะกอนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการย่อยตะกอนและการแยกน้ำออกจากตะกอน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Coagulation และ Flocculation เป็นการกำจัดของแข็งแขวนลอยปิไอดี สารอินทรีย์ สารอาหาร สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย สามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็ก เบาและพวกที่ไม่ตกตะกอน รวมถึงพวกที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal Particles)

#### 2.4.2.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment)

เป็นการอาศัยสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์หรือพืชในการบำบัดหรือลดมลพิษในน้ำเสียซึ่งส่วนใหญ่จะย่อยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่ายรา และ โรติเฟอร์ ฯลฯ ให้เป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ และได้จุลทรีย์เพิ่ม ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ มีหลายวิธี ดังนี้

- 1) ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge : AS)
- 2) ระบบโปรกรอง (Trickling Filter)
- 3) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon : AL)
- 4) ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter : AF)
- 5) ระบบบ่อฝัง (Stabilization Pond )
- 6) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor : RBC)
- 7) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD)
- 8) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

#### 2.4.2.4 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี (Physical-Chemical Wastewater Treatment)

การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มี การปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือสาร อนินทรีย์ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี มีหลายวิธี ดังนี้

- 1) การดูดซึมโดยสารคาร์บอน (Carbon Adsorption)
- 2) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)
- 3) Reverse Osmosis

ในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้แก่ สารประเภท Polyphosphates และ Orthophosphates โดยทั่วไปการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียโดยหลักการดูดซับ ตกตะกอน ทางเคมี และกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก แต่อาจมีปัญหาเกิดการอึดตัวของปริมาณ ฟอสฟอรัสบริเวณชั้นดินบางบริเวณได้ รวมถึงก่อให้เกิดตะกอนที่ต้องนำไปกำจัด นอกจากนี้ สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำยังสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นฟอสเฟตได้ตามสมการที่ 1, 2 และ 3 ซึ่ง ฟอสเฟตนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ฟอสเฟตก็อาจเกิดการอึดตัวจากการใช้ของพืชน้ำ ได้เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟอสฟอรัสแสดงดังสมการด้านล่าง (Kadlec and Knight, 1996)

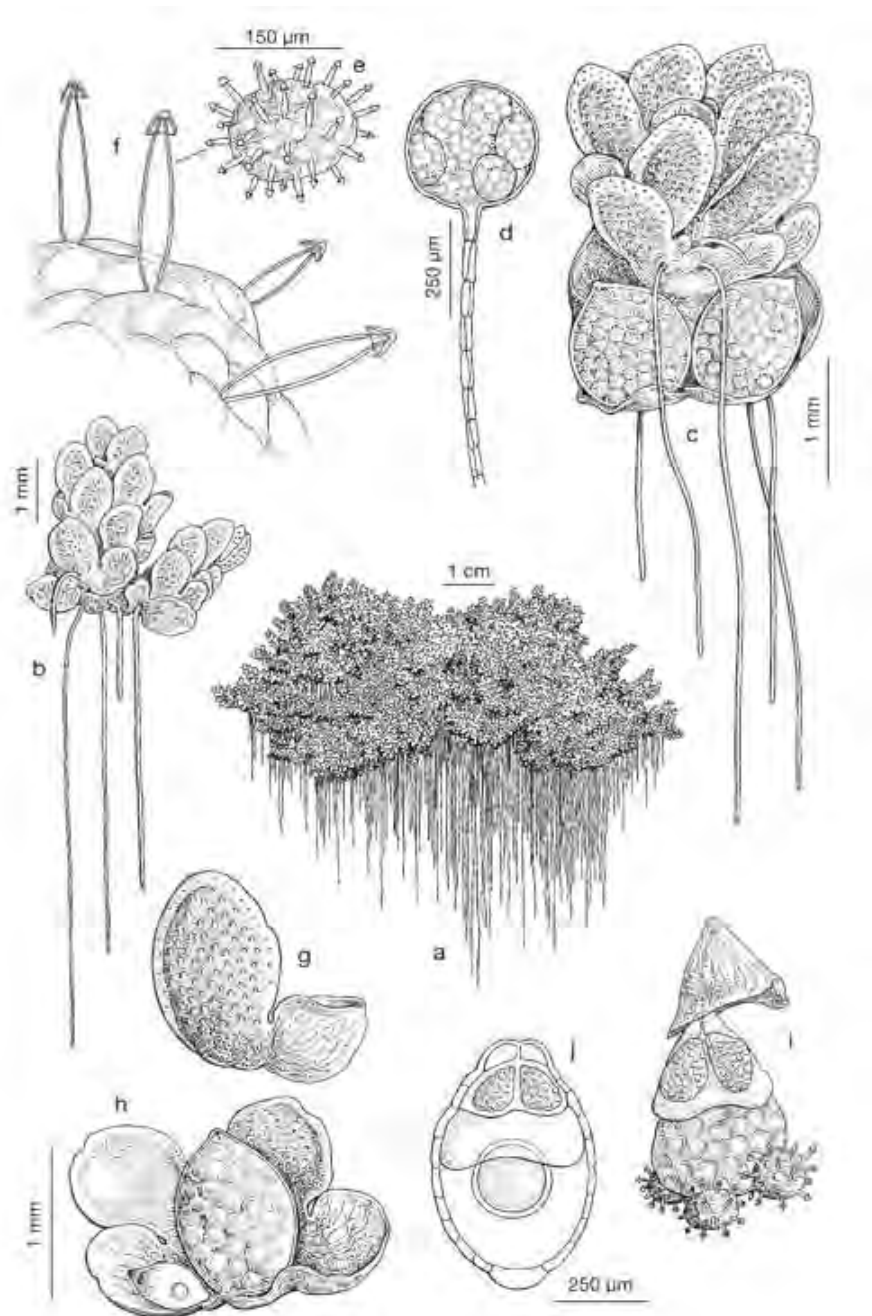


### 2.3 แหนแดง

เป็นเฟิร์นน้ำเล็ก ๆ ชนิดหนึ่ง เจริญเติบโตและลอยอยู่บนผิวน้ำในเขตร้อน และเขตอบอุ่น โดยจะดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกันกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศให้มาเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ในอดีตแหนแดงถูกใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยง เช่น สุกร และเป็ด เนื่องจากแหนแดงมีโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มาก และมีกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ในปริมาณที่สูงพอเพียงต่อการเจริญเติบโตของปลา จึงเหมาะที่จะเลี้ยงปลาในนาที่มีแหนแดงอยู่ด้วย

ลักษณะทางชีววิทยา แหนแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Azolla spp* เป็นพืชลอยบนผิวน้ำ ลักษณะทั่วไปของแหนแดงประกอบด้วยส่วนต่างๆ (ภาพที่ 2-4) คือ ลำต้น (Rhizome) ราก (Root) และใบ (Lobe) มีกิ่งแยกจากลำต้น ใบเกิดตามกิ่งเรียงสลับกันไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ใบบน (Dorsal lobe หรือ Upper lobe) และใบล่าง (Lower lobe หรือ Ventral lobe) มีขนาดใกล้เคียงกัน รากของแหนแดงจะห้อยลงไปในน้ำตามแนวดิ่งและอาจจะฝังลงไปในดินโคลนได้ ใบบนมีโพรงใบและมีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Anabaena azollae) อาศัยอยู่ในลักษณะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiosis) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนให้เป็นการประกอบในรูปของแอมโมเนียมให้แหนแดงใช้ประโยชน์ได้ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตได้เร็ว และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงในเวลา 3-5 วัน แหนแดงสามารถเพิ่มจำนวนได้ถึง 2 เท่า (นิตยา, 2551; Khan, 1988)

แหนแดงมีคุณสมบัติเป็นทั้งปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพ เนื่องจากในโพรงใบของแหนแดงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) ชื่อ *Anabana azollae* อาศัยอยู่ โดยดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับแหนแดงแบบพึ่งพาอาศัยกัน สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ (symbiotic nitrogen fixing microorganisms) จากความสัมพันธ์นี้ทำให้แหนแดงกลายเป็นปุ๋ยพืชสดที่สำคัญ และมีศักยภาพสูง



รูปที่ 2-4 ลักษณะของเหินแดง (Khan, 1988)

ในประเทศที่ด้อยพัฒนาและกำลังพัฒนา เพื่อใช้ร่วมกับการปลูกข้าวทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในโตรเจน นอกจากนี้ยังสามารถลดการเจริญเติบโตของวัชพืชในนาข้าวได้เป็นอย่างดี แหนแดงที่ใช้ในนามีหลายชนิด เช่น *Azolla filiculoides* *A. pinnata* *A. cristata* *A. rubra* *A. nilotica* และ *A. microphylla*

การลำเลียงสารอาหารของพืช ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ที่พืชสามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตเนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นน้ำที่พืชดูดเข้าไปใช้จึงไม่ใช่ น้ำบริสุทธิ์ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในดินย่อมต้องละลายแร่ธาตุต่าง ๆ ปะปนเข้าไปด้วย การที่แร่ธาตุต่าง ๆ จะผ่านเข้าไปในเซลล์ได้จะต้องผ่านจากผนังเซลล์เข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Selective permeable membrane) การลำเลียงแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายเป็นไอออน แล้วเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ ไม่สามารถผ่านได้โดยอิสระ การลำเลียงแร่ธาตุจึงมีความซับซ้อนมากกว่าการลำเลียงน้ำที่เกิดโดยวิธี ออสโมซิส (osmosis) สำหรับการลำเลียงสารอาหารของพืช เกิดโดยวิธีการดังนี้

1. การลำเลียงแบบไม่ใช้พลังงาน (Passive transport) เป็นการลำเลียงสารอาหารหรือแร่ธาตุจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า โดยไม่ต้องใช้พลังงาน ซึ่งอาศัยหลักของการแพร่ (Diffusion) จนกว่าความเข้มข้นของสาร สองบริเวณนี้เท่ากัน

2. การลำเลียงแบบใช้พลังงาน (Active transport) เป็นการลำเลียงสารหรือแร่ธาตุ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า หรือเจือจางกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่า โดยเป็นการลำเลียงที่ต่อต้านกับความเข้มข้นของสาร ดังนั้นวิธีนี้จึงต้องอาศัยพลังงานจาก ATP ช่วย ซึ่งเป็นวิธีที่รากและลำต้นจะมีโอกาสสะสมแร่ธาตุต่าง ๆ ไว้ได้ ทำให้พืชดูดแร่ธาตุจากภายนอกเข้ามาได้ทั้ง ๆ ที่ความเข้มข้นของแร่ธาตุชนิดนั้นภายในเซลล์มีมากกว่าภายนอกเซลล์แล้วก็ตาม ทำให้พืชสามารถลำเลียงแร่ธาตุที่ต้องการได้ เมื่อแร่ธาตุผ่านเข้าสู่รากแล้ว จะถูกลำเลียงต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชทางไซเลมพร้อม ๆ กับการลำเลียงน้ำ

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Forni et al. (2001) ศึกษาปริมาณการลดลงของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียที่ใช้ แหนแดงในการบำบัด พบว่า แหนแดงกำจัดไนโตรเจนในรูปของ  $\text{NO}_3^-$  ในน้ำเสียจากชุมชน การเกษตร และเหมืองแร่ ได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ส่วนฟอสฟอรัสในรูป  $\text{PO}_4^{3-}$  มีปริมาณน้อย

มากในน้ำเสียชุมชนและการเกษตร และน้ำเสียจากเหมืองแร่ก็มีปริมาณลดลง สำหรับความสามารถในการเจริญเติบโตในน้ำเสียของแหนแดง พบว่า ที่ความหนาแน่นของแหนแดงร้อยละ 70 ของผิวน้ำในบ่อบำบัด แหนแดงสามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้ดีกว่าน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ

Culley และ Epps (1973) ทำการทดลองโดยนำพืชน้ำประเภทแหนมาใช้ในการบำบัด พบว่าสามารถกำจัดสารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้เดือนละ 184.9 และ 59.4 kg/ha ตามลำดับ

Boyt (1997) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดมาขั้นตอนหนึ่งแล้วโดยใช้พืชน้ำประเภทแหน ผลปรากฏว่า สามารถลดธาตุฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 98.1 และทำการประเมินการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีใช้พืชน้ำในบึงธรรมชาติเป็นการบำบัดในขั้นตอนที่ 3 จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึงปีละประมาณ 2 ล้านบาท

Arora และ Saxena (2005) ได้ทดลองใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*) ในการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้วในขั้นแรกในเมือง New Delhi ประเทศอินเดีย ผลการทดลองพบว่าระดับฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง 1-2 ppm และปริมาณโลหะหนัก Cd Pb Ni Zn Fe Mn มีระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่อนุญาตให้มีได้ และพบว่า แหนแดงสามารถเจริญเติบโตได้ดีถึง 2 เท่าในช่วงเดือนตุลาคมและธันวาคม หลังจากนั้นสามารถนำแหนแดงมาใช้เป็นปุ๋ยในนาข้าว และสามารถหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยแหนแดงกลับมาใช้ทดแทนน้ำชลประทานได้ด้วย

เพ็ญจา และคณะ (2540) รายงานการศึกษากำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหารโดยใช้แหนแดง เพื่อหาแนวทางการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางธรรมชาติ ซึ่งทดลองปรับความเข้มข้นของน้ำทิ้งเป็นร้อยละ 100 50 25 มีวิธีการทดสอบ 4 วิธีคือ วิธีที่ 1 การฟอกตัวตามธรรมชาติ วิธีที่ 2 การเติมอากาศในน้ำทิ้ง วิธีที่ 3 การใช้แหนแดง และวิธีที่ 4 การเติมอากาศร่วมกับการใช้แหนแดง ผลปรากฏว่าหลังจากการดำเนินการทดลองได้ 20 วัน วิธีที่ 4 สามารถลดค่าบีโอดี ซีโอดี ฟอสฟอรัส และสารอินทรีย์ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาใช้สาหร่ายหนามกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ทำการทดลองในระบบน้ำนิ่งที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำการวิเคราะห์หาไนโตรเจน ไนเตรท แอมโมเนียรวม ไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำ ไนโตรเจนรวม ฟอสเฟตและฟอสฟอรัสรวม พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด 92.1%, 57.8%, 97.8%, 90.5%, 78.0% และ 92.2% ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่า สาหร่ายหนามสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม สำหรับการนำไป

ประยุกต์ใช้ลดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาต่อไป

อรุณวรรณ บุญก่อสร้าง (2555) ได้เปรียบเทียบหาความสามารถของสาหร่ายชนิดต่างๆ ในเรื่องการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดขั้นที่สองของโรงกำจัดน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน เพื่อนำไปใช้กับระบบ Fixed Bed ต่อไป เปรียบเทียบความสามารถของสาหร่ายชนิดต่างๆ ซึ่งมี *Uronema sp.80*, *Ulothrix sp.81*, *Chlorella sp. K3* และ *Spirulina sp. SP1* ในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดขั้นที่สองแล้ว จากน้ำทิ้งของแหล่งชุมชน โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบเบ็ดเสร็จในห้องทดลอง ผลการทดลองพบว่า ภายหลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ 5 วัน *Ulothrix sp.81*, *Uronema sp.80* และ *Chlorella sp.K3* มีค่าเฉลี่ยของอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสได้ 0.78 0.94 และ 1.08 g/gm dry weight cell/ day ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตตะกอน 0.75, 0.95 และ 0.90 mg/liter/day per unit dry weight cell ตามลำดับ สำหรับ *Spirulina sp. SP1* พบว่าไม่มีการเจริญเติบโตตลอดการทดลอง

ณัฐลิมา โพธิ์จันทร์ และคณะ (2554). ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศ ถึงแม้จะมีก๊าซมีเทนที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ แต่ยังคงต้องบำบัดน้ำที่ออกมาจากระบบต่อด้วยระบบเดิมอากาศ ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือ ไม่สามารถบำบัดสารอาหารจำพวกไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะไม่มีปริมาณคาร์บอนเหลืออยู่เพียงพอต่อกระบวนการ Denitrification ซึ่งการบำบัดดังกล่าวมีวิธีที่ยุ่งยากและต้นทุนในการบำบัดค่อนข้างสูง หากไม่ต้องการ ใช้วิธีที่ยุ่งยากและต้นทุนต่ำจึงมีการนำเอาวิธีบำบัดทางชีวภาพมาใช้แทน ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการบำบัด น้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้เหินแดง โดยเลือกศึกษาที่ฟาร์มสุกรขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีปริมาณ น้ำเสียประมาณวันละ 103,250 ลิตร ผลการศึกษาพบว่า การใช้เหินแดงในการบำบัดน้ำเสียมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งผลการใช้เหินแดงในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร สามารถลดค่าความสกปรกในรูป BOD, TKN,  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  ได้ประมาณ 6-98 % ในช่วงเวลา 3 สัปดาห์ และปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในเหินแดงมีปริมาณมากกว่าเหินแดงก่อนการบำบัด สามารถนำไปเป็นปุ๋ยพืชสดทดแทน ปุ๋ยเคมีและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แกดิน นำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทดลองและวิจัยในการใช้กระบวนการและสารทดสอบหลากหลายชนิดในการบำบัดน้ำเสียปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่น้ำเสียที่เกิดจากการซักล้างซึ่งส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสและฟอสเฟตปนเปื้อนอันเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้นได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กระบวนการดูดซึมโดยແໜແດງ ในการบำบัดน้ำเสียในครั้งนี้

#### 3.1 เครื่องมือในการวิจัย

##### 3.1.1 อุปกรณ์สำคัญใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.1.1.3 เครื่องแก้ว

3.1.1.4 ตู้อบ

3.1.1.5 ตู้ดูดไอสารเคมี

##### 3.1.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2.1 น้ำตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์

3.1.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.1.1.3 ฟีนอล์ฟทาลีน

3.1.1.4 เอซิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 %

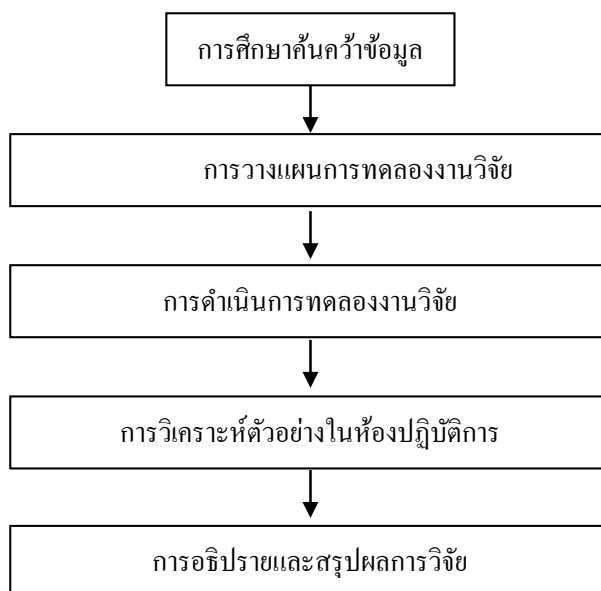
3.1.1.5 น้ำกลั่น

3.1.1.6 กรดกำมะถัน ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

- 3.1.1.7 แอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
  - 3.1.1.8 แอนติโมนีโปตัสเซียมทาทเรท ( $\text{K}(\text{SbO}) \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ )
  - 3.1.1.9 แอสคอร์บิกแอซิด
  - 3.1.1.10 โปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
  - 3.1.1.11 โคโลฟอร์ม
- 3.1.3 แหนแดง (*Azolla microphylla*)

### 3.2 แผนการวิจัย

การศึกษากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยแหนแดง ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยมีรูปแบบแผนการวิจัยดังแผนภูมิข้างล่างนี้



แนวทางการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยด้วยเหวี่ยง เริ่มจาก ค้นหาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อวางแผนและสร้างแบบทดลองต้นแบบเพื่อประยุกต์ปฏิบัติจริง จากนั้นจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบทดลอง โดยวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่างแต่ละชุดแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ และนำค่าดังกล่าวมาอธิบายและสรุปผลการวิจัย

### 3.2.1 การเพาะเลี้ยงและเพิ่มปริมาณเหวี่ยง

3.2.1.1 เตรียมบ่อซีเมนต์ โดยการล้างทำความสะอาดและเติมน้ำประปาให้มีระดับความลึกของน้ำประมาณ 25 เซนติเมตร พักน้ำไว้ประมาณ 1 สัปดาห์

3.2.1.1 นำเหวี่ยง ที่ได้จากการเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงเหวี่ยง เติมน้ำลงในบ่อเพื่อขยายปริมาณสำหรับใช้เป็นเชื้อพันธุ์ในการทดลอง โดยใช้ปริมาณเหวี่ยงเริ่มต้น 2 กิโลกรัม ซึ่งเหวี่ยงจะกระจายคลุมพื้นผิวน้ำบางๆ และเจริญเต็มพื้นที่ได้ใน 3-6 วัน คัดเลือกเหวี่ยงที่เจริญเติบโตสมบูรณ์เพื่อนำไปทำการทดลองต่อไป

### 3.2.2 การเตรียมชุดทดลองการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดลองเป็นต้นแบบในการศึกษา โดยทำการทดลองแบบทีละเท (Batch) และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษา เพื่อพัฒนาประยุกต์นำไปใช้จริงต่อไป

3.2.2.1 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตามความอัตราส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการชักล้างจริง โดยใช้สารชักล้างผงซักฟอกผสมร่วมกับน้ำในอัตราส่วนผงซักฟอกชนิดน้ำ 35 มิลลิลิตร ต่อ น้ำ 75 ลิตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต สำหรับน้ำประปาที่ใช้ได้มาจากอาคารปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

3.2.2.2 เตรียมและเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 75 50 และ 25 ตามลำดับ ในโหลแก้วปริมาตร 5 ลิตร ดังนี้

1) ความเข้มข้นร้อยละ 100 หมายถึง น้ำเสียที่ไม่มีการเจือจางน้ำประปาแต่อย่างใด

2) ความเข้มข้นร้อยละ 75 หมายถึง น้ำเสียจากข้อที่ 1 เจือจางกับน้ำประปา ในอัตราส่วน 75 : 25

3) ความเข้มข้นร้อยละ 50 หมายถึง เสียจากข้อที่ 1 เจือจางกับน้ำประปา ในอัตราส่วน 50 : 50

4) ความเข้มข้นร้อยละ 25 หมายถึง เสียจากข้อที่ 1 เจือจางกับน้ำประปา ในอัตราส่วน 25 : 75

3.2.2.3 นำແແດງ ປຣິມານ 5 ກຣັມ (ເຟືອນຈາ ແລະ ຄຸນະ, 2538) ໃສ່ລຸ່ງໃນ ໂທລແກ້ວທີ່ ບຣຣຈຸນ້ຳເສີຍສັງເກຣະຫ້ໃນລະດັບຄວາມເຂັ້ມຂົ້ນຕ່າງໆ ທຳການທດລຸ່ງທັງຫມົດ 3 ສັ້າ

3.2.2.4 ເກັບຕົວຢ່າງນ້ຳເສີຍເພື່ອນຳໄປວິເກຣະຫ້ໃນຫ້ອງປຸກປັດການ ໃນວັນທີ່ 0, 5, 10 ແລະ 15 ຫລັງຈາກເລີ່ມການທດລຸ່ງ

### 3.3 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการในการตรวจวัดฟอสเฟต ใช้วิธี Ascorbic Acid Method ตาม คำแนะนำของ National Environmental Method Index (2002) Standard Methods: 4500-P E: Phosphorus by Ascorbic Acid รูปที่ 3.3 ดังนี้

#### 3.3.1 วิธีการวิเคราะห์ฟอสเฟต

3.3.1.1 ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน บีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร

3.3.1.2 หยดฟีนอลฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้หยด 5 N.  $H_2SO_4$  ลง ไปทีละหยดจนกระทั่งสีแดงหายไป

3.3.1.3 เติมน้ำยารวมใส่ลงในแต่ละบีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 8 มิลลิลิตร

3.3.1.4 เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

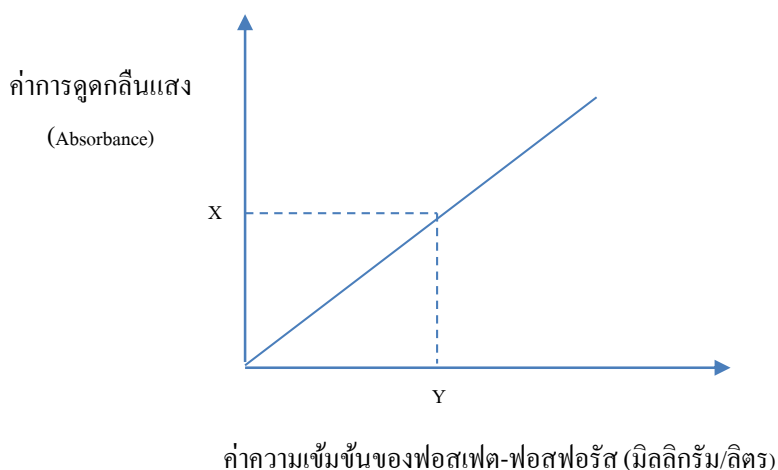
3.3.1.5 นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

### 3.3.1.6 จดค่า absorbance เพื่อนำไปตัดกับกราฟมาตรฐาน

#### 3.4.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟตดังนี้ เตรียมอนุกรมของสารละลายฟอสเฟตมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟตความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร 0, 2, 6, 10, 12, 16, 20 และ 24 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดที่กำหนดตามลำดับ เขย่าให้เข้ากันจะได้ สารละลายฟอสเฟตจะมีความเข้มข้น 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เช่นเดียวกับตัวอย่าง พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

#### 3.4.3 การคำนวณหาปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสกับกราฟมาตรฐาน ดังนี้



เมื่อ  $Y =$  ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

$X =$  ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร)

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการคำนวณและการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลโดยวิธี ANOVA 1 ตัวประกอบ (One-Way Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้เหินแดงดูดซึมและศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้เหินแดงดูดซึม ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสเมื่อละลายน้ำจะอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต ดังนั้น การศึกษานี้จะวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) มีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

##### 4.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 1

การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส แบ่งชุดทดลองออกเป็น 4 ชุด โดยการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 75 50 และ 25 ตามลำดับ ในโหลแก้วปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) เริ่มต้นที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $1.3 \pm 0.05$ ,  $1.12 \pm 0.12$ ,  $0.97 \pm 0.06$  และ  $0.81 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อใช้เหินแดงกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียผ่านไป 1 สัปดาห์ ที่ที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $1.11 \pm 0.04$ ,  $0.79 \pm 0.05$ ,  $1.03 \pm 0.04$  และ  $0.76 \pm 0.02$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการกำจัด พบว่ามีค่าร้อยละ 15, 29, -6 และ 6 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1)

##### 4.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2

การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส แบ่งชุดทดลองออกเป็น 4 ชุด โดยการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 75 50 และ 25 ตามลำดับ ในโหลแก้วปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) เริ่มต้นที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $1.3 \pm 0.05$ ,  $1.12 \pm 0.12$ ,  $0.97 \pm 0.06$  และ  $0.81 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อใช้เหินแดงกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียผ่านไป 2 สัปดาห์ ที่ที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50

และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $0.84 \pm 0.06$ ,  $0.98 \pm 0.15$ ,  $0.99 \pm 0.05$  และ  $0.86 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการกำจัด พบว่ามีค่าร้อยละ 35, 13, -2 และ -6 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 1

| ชุดทดลอง | ความเข้มข้น $\text{PO}_4^{3-}$ (มิลลิกรัม/ลิตร) |                   | ประสิทธิภาพการกำจัด (%) |
|----------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|          | เริ่มต้น                                        | สัปดาห์ที่ 1      |                         |
| 100%     | $1.3 \pm 0.05$                                  | $1.11 \pm 0.04^*$ | 15                      |
| 75%      | $1.12 \pm 0.12$                                 | $0.79 \pm 0.05^*$ | 29                      |
| 50%      | $0.97 \pm 0.06$                                 | $1.03 \pm 0.04$   | -6                      |
| 25%      | $0.81 \pm 0.04$                                 | $0.76 \pm 0.02$   | 6                       |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 2

| ชุดทดลอง | ความเข้มข้น $\text{PO}_4^{3-}$ (มิลลิกรัม/ลิตร) |                   | ประสิทธิภาพการกำจัด (%) |
|----------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
|          | เริ่มต้น                                        | สัปดาห์ที่ 1      |                         |
| 100%     | $1.3 \pm 0.05$                                  | $0.84 \pm 0.06^*$ | 35                      |
| 75%      | $1.12 \pm 0.12$                                 | $0.98 \pm 0.15$   | 13                      |
| 50%      | $0.97 \pm 0.06$                                 | $0.99 \pm 0.05$   | -2                      |
| 25%      | $0.81 \pm 0.04$                                 | $0.86 \pm 0.08$   | -6                      |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 3

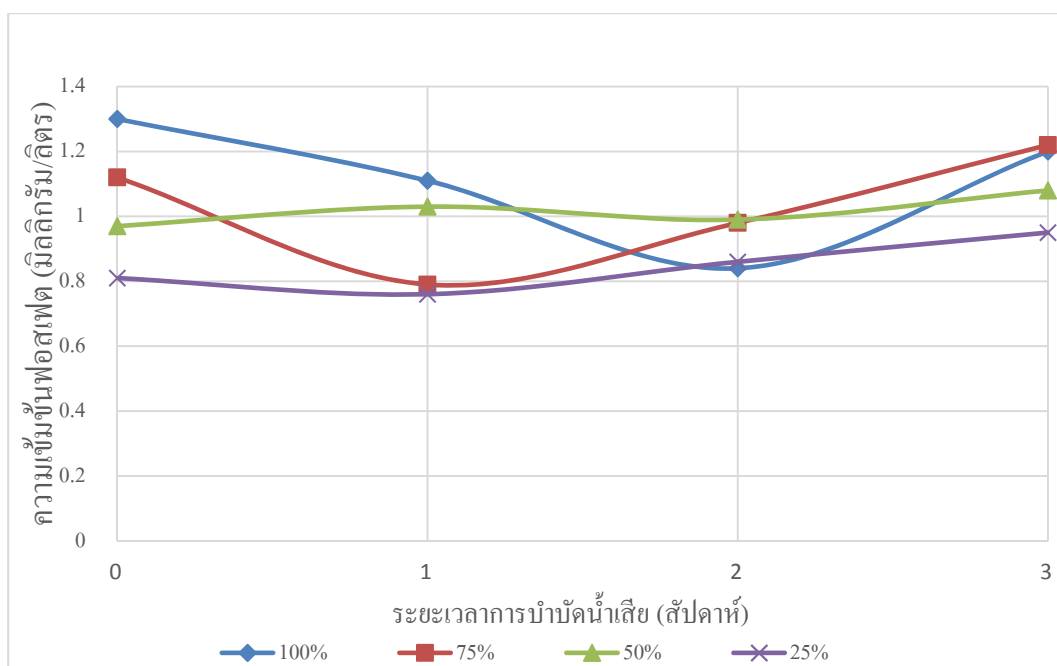
การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส แบ่งชุดทดลองออกเป็น 4 ชุด โดยการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 75 50 และ 25 ตามลำดับ ในโหลแก้วปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) เริ่มต้นที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $1.3 \pm 0.05$ ,  $1.12 \pm 0.12$ ,  $0.97 \pm 0.06$  และ  $0.81 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อ

ใช้แผนแก่งกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียผ่านไป 3 สัปดาห์ ที่ที่ความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 มีค่า  $\text{PO}_4^{3-}$  เท่ากับ  $1.20 \pm 0.06$ ,  $1.22 \pm 0.15$ ,  $1.08 \pm 0.05$  และ  $0.95 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการกำจัด พบว่ามีค่าร้อยละ 8, -9, -11 และ -17 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในสัปดาห์ที่ 3

| ชุดทดลอง | ความเข้มข้น $\text{PO}_4^{3-}$ (มิลลิกรัม/ลิตร) |                 | ประสิทธิภาพการกำจัด (%) |
|----------|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|
|          | เริ่มต้น                                        | สัปดาห์ที่ 1    |                         |
| 100%     | $1.3 \pm 0.05$                                  | $1.20 \pm 0.06$ | 8                       |
| 75%      | $1.12 \pm 0.12$                                 | $1.22 \pm 0.15$ | -9                      |
| 50%      | $0.97 \pm 0.06$                                 | $1.08 \pm 0.05$ | -11                     |
| 25%      | $0.81 \pm 0.04$                                 | $0.95 \pm 0.08$ | -17                     |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นของฟอสเฟตและระยะเวลากำจัด

#### 4.2 ระยะเวลาในการกำจัดฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4.1 แสดงระยะเวลาในการกำจัดฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตในน้ำเสียจากการชักล้าง โดยวิธีใช้ آهنแดงดูดซึม ในช่วงระยะเวลา 1 ถึง 3 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของฟอสเฟตในช่วง 1 ถึง 2 สัปดาห์ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นที่ 50 % ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยระดับความเข้มข้นที่ 100% มีค่าความเข้มข้นฟอสเฟตลดลงมากที่สุด เมื่อบำบัดน้ำเสียผ่านไป 3 สัปดาห์ พบว่า ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นว่าที่ระยะเวลาการบำบัดน้ำเสีย 1 ถึง 2 สัปดาห์ آهنแดงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตได้ดี

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดงดูดซึมและศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดงดูดซึม สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

#### 5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดงดูดซึม

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างและศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดยวิธีใช้แหนแดง (*Azolla micophylla*) ดูดซึม จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงซักฟอกผสมร่วมกับน้ำ ผลการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสจากชุดทดลองจำนวน 4 ชุด โดยแบ่งเป็นการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามระดับความเข้มข้น 100% 75% 50% และ 25% ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 6-35% และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% ระยะเวลาการบำบัดน้ำเสียที่สัปดาห์ที่ 2 เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด (ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 35) แต่ที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำหรือไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการใช้แหนแดงดูดซึมจะสามารถบำบัดในช่วง 1-2 สัปดาห์ เนื่องจากแหนแดงจะมีการเจริญเติบโตเต็มที่ทำให้สามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ดี (Khan, 1988) อย่างไรก็ตาม หากกักเก็บน้ำเสียไว้ในระยะมากเกินไป อาจเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในน้ำน้ำเสียได้ และจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำได้ (ธงชัย, 2545) ดังนั้น เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุดและการนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจริง ความคำนึงถึงปริมาณแหนแดง ระยะเวลาในการบำบัด และความเข้มข้นของน้ำเสีย ส่วนแหนแดงภายหลังที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว สามารถนำไปเป็นปุ๋ยพืชสดแทนปุ๋ยเคมีได้เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดินต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้แผนแดงในการกำจัดฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียวค่อนข้างมีข้อจำกัดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เช่น สภาพแวดล้อม วงจรชีวิต การเพาะเลี้ยง และระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย เป็นต้น ดังนั้น ควรมีการนำไปประยุกต์นำแผนแดงไปบำบัดร่วมกับวิธีอื่น เช่น ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

5.2.2 งานวิจัยในอนาคตควรทำการศึกษาวิธีการจัดการแผนแดงภายหลังผ่านการใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว ด้วยวิธีที่เหมาะสมและเพิ่มมูลค่ามากที่สุด

## บรรณานุกรม

กรรณิการ์ สิริสิงห์. เคมิของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ประยูรวงศ์จักรพิมพ์, 2525.

กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2535. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กองประสานการจัดการมลพิษ, 2535.

จารุวรรณ เกษมทรัพย์. การกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงานบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545

นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ. “สัมมนาวิชาการด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจำปี 2548” ณ โรงแรมเซอร์มิเทจ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 26-29 พฤษภาคม 2548, 2548

นิตยา นักระมาค มิลน์. “เพิ่มมูลค่าขยะอินทรีย์ กรณีศึกษาทดสอบใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร สวฟ. ในแปลงเพาะปลูกจริง”. ปทุมธานี. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2551

เพ็ญจา จิตจำรูญโชคชัย, ศรีศักดิ์ สีหะเนิน และนิรุทธ์ เจริญโมรา. “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร โดย ใช้ แห น แด ง ( *Azolla microphylla*).” ใน การ ประชุม วิชาการ ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 . กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540

มันสิน ดันทุเวสน์. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ฟอสฟอรัส. [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ. 2548. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.kmutt.ac.th/ev/inimage/phosphorus.pdf> [1 เมษายน 2557]

อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำนึ่งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแอร์เรเตทลาถุน โดยกระบวนการตกตะกอนเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

อรุณวรรณ บุญก่อสร้าง. ความสามารถของสาหร่ายชนิดต่างๆ ในการกำจัดไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555

ณัฐสิมา โพธิ์จันทร์ และคณะ . การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้แหนแดง. การเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554

Arora, A. and S. Saxena. **Cultivation of Azolla microphylla biomass on secondary-treated Delhi municipal effluents**. Biomass and Bioenergy. 29: 60-64, 2005

Callery, A.G., et al. **Treatment of Industrial Effluent**. London : Hodder and Stoughton, 1977.

Hammer, M.J. **Water and Wastewater Technology**. Englewood Cliffs : Prentice-Hall., 1986.

Mark, J.H. **Water and Wastewater Technology**. New York : John Wiley & Sons, 1977.

Khan M.M. "Characteristic of Azolla." Azolla Agronomy. IRRI, Philippines (1998)

Forni C., J. Chen, L. Tancioni and C.M. Grilli. "Evaluation of the fern Azolla for growth, Nitrogen of the phosphorus removal from wastewater". **Elsevier Science**. 6(35): 1592-1598., 2001

Culley , D.D., Jr., and Epps, E.A. "Use of Duckweed for Waste Treatment and Animal Feed." **J.WPCF**. 45 (1973): 337-347

Boyt, F.L. et al. "Remove of Nutrients from treated Municipal Wastewater by Wetland Vegetation.

"**J.WPCF**, : 789-799, 1977

Robert H. Kadlec, Robert L. **Knight** **Treatment Wetlands**. Florida: CRC Press , 1996

ภาคผนวก ก

รูปภาพการศึกษาวิจัย



รูปที่ 1 การเพาะเลี้ยงเห็ดแดงเพื่อใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 ชุดการทดลองการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ฟอสเฟตในห้องปฏิบัติการ

**ภาคผนวก ข**  
**การบูรณาการกับการเรียนการสอน**

**รายวิชา SCES201 มลพิษสิ่งแวดล้อม Environmental Pollution**

|                                                                                   |                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----|
|  | รายละเอียดของรายวิชา (มคอ.3)                          |    |
|                                                                                   | คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ | 39 |
|                                                                                   | -                                                     |    |

### หมวดที่ 1 ข้อมูลโดยทั่วไป

|                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. รหัสและชื่อรายวิชา                                                 |
| SCES201 มลพิษสิ่งแวดล้อม<br>Environmental Pollution                   |
| 2. จำนวนหน่วยกิต                                                      |
| 3(3-0-6)                                                              |
| 3. หลักสูตรและประเภทของรายวิชา                                        |
| หมวดวิชาเอกบังคับ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม                          |
| 4. อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาและอาจารย์ผู้สอน                         |
| อาจารย์พรทวี กองร้อย                                                  |
| 5. ภาคการศึกษา/ชั้นปีที่เรียน                                         |
| ภาคการศึกษาที่ 1/2557 ชั้นปีที่ 2                                     |
| 6. รายวิชาที่ต้องเรียนมาก่อน (Pre-requisites) (ถ้ามี)                 |
| ไม่มี                                                                 |
| 7. รายวิชาที่ต้องเรียนพร้อมกัน (Co-requisites) (ถ้ามี)                |
| ไม่มี                                                                 |
| 8. สถานที่เรียน                                                       |
| มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์                                            |
| 9. วันที่จัดทำรายละเอียดของรายวิชา หรือวันที่มีการปรับปรุงครั้งล่าสุด |
| วันที่ 30 กรกฎาคม 2557                                                |

### หมวดที่ จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. จุดมุ่งหมายของรายวิชา                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>(1) เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความหมาย ขอบเขต ชนิด คุณสมบัติ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของระบบสิ่งแวดล้อม อันส่งผลต่อปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม</p> <p>(2) เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์สถานการณ์ ผลกระทบ และประเมินสถานการณ์ด้านมลพิษสิ่งแวดล้อม</p> <p>(3) เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในระบบและกระบวนการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม</p> <p>(4) เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม และวางแผนทางการควบคุมป้องกันปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ</p> <p>(5) เพื่อบูรณการงานวิจัยและงานบริการวิชาการเข้ากับการเรียนการสอน</p> |
| 2. วัตถุประสงค์ในการพัฒนาปรับปรุงรายวิชา/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบสิ่งแวดล้อม การคงศักยภาพสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลง</p> <p>โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบสิ่งแวดล้อม อันเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม และสามารถ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

ประเมิน

ความรุนแรงของปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น เพื่อหาแนวทางการแก้ไข ควบคุมและป้องกันปัญหาที่เกิดจากมลพิษ

40

สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นประเด็นที่มีความสำคัญในยุคปัจจุบัน เพื่อสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม

และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

### หมวดที่ 3 ลักษณะและการดำเนินการ

#### 1. คำอธิบายของรายวิชา

ศึกษาความหมายของมลพิษ ชนิดของมลพิษ สาเหตุของการเกิดมลพิษ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและระบบนิเวศ นโยบายในการป้องกันและแก้ไข

Study the definition, types and causes of pollutions, impact on health and ecosystems, policies to solve and protect.

#### 2. จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อภาคการศึกษา

| หน่วยกิต  | ชั่วโมงต่อภาคการศึกษา |         |                |          |
|-----------|-----------------------|---------|----------------|----------|
|           | ทฤษฎี                 | ปฏิบัติ | ศึกษาด้วยตนเอง | สอนเสริม |
| 3 (36-0-) | 3x 15 = 45            | -       | 6 x 15 = 90    | -        |

#### 3. จำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ที่อาจารย์ให้คำปรึกษาและแนะนำทางวิชาการแก่นักศึกษาเป็นรายบุคคล

-อาจารย์จัดเวลาให้คำปรึกษาเป็นรายบุคคล 1 กลุ่มตามความต้องการ/ ชั่วโมงต่อสัปดาห์

##### ตารางการให้คำปรึกษาและแนะนำทางวิชาการแก่นักศึกษาเป็นรายบุคคล

| วันเวลา-<br>ให้คำปรึกษา                     | สถานที่  | หมายเลขโทรศัพท์    | E-mail              | รวมจำนวนชั่วโมง<br>ต่อสัปดาห์ที่ให้<br>คำปรึกษา |
|---------------------------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| อพรทวิ กองร้อย.<br>ทุกวันพุธ<br>14.00-15.00 | ห้องสาขา | ต่อ 717100-0561405 | p.kongroy@gmail.com | 1                                               |

### หมวดที่ 4 การพัฒนาผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

| 1. ทักษะด้านคุณธรรม จริยธรรม                                              |                                                                                              |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 ผลการเรียนรู้                                                         | วิธีการสอน/กลยุทธ์ 1.2                                                                       | วิธีการประเมินผล/กลยุทธ์ 1.3                                                        |
| 1. [o] มีความซื่อสัตย์ สุจริต                                             | .1 สอดแทรกเนื้อหาด้านคุณธรรม จริยธรรม ปลุกฝังเกี่ยวกับความซื่อสัตย์ต่อตนเองและผู้อื่น        | 1. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติในชั้นเรียน                                 |
| 2. [●] มีระเบียบวินัย                                                     | .2 ให้ความสำคัญในวินัย เช่น การตรงต่อเวลา การแต่งกาย การมีวินัยในห้องเรียน การส่งงานตามกำหนด | .2 ขานชื่อหรือเซ็นชื่อการเข้าชั้นเรียน สังเกตพฤติกรรม การแต่งกาย การส่งงาน และวินัย |
| 3. [●] มีจิตสำนึก และตระหนักในการปฏิบัติตามจรรยาบรรณทางวิชาการ และวิชาชีพ | .3 ปลุกฝังจิตสำนึก สอดแทรกธรรมะ ปฏิบัติตามจรรยาบรรณทางวิชาการ                                | .3 สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติ                                            |
| 4. [●] เคารพสิทธิ และความคิดเห็นของผู้อื่น                                | .4 สอดแทรกเรื่องการประพัตินที่เหมาะสม เช่น ไม่ส่งเสียงดัง ไม่                                | .4 สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติ                                            |

|                                                                                                                                                           |                                                                    |                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                           | รับประทานอาหารในห้องเรียน                                          |                                                         |
| 5. [o] มีจิตสาธารณะ                                                                                                                                       | 5. สอดแทรกเรื่องการช่วยเหลือ<br>เกื้อกูลต่อกิจกรรมของส่วนรวม       | 5. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการ<br>ปฏิบัติ<br>41      |
| <b>2. ความรู้</b>                                                                                                                                         |                                                                    |                                                         |
| 2.1 ผลการเรียนรู้                                                                                                                                         | วิธีการสอน/กลยุทธ์ 2.2                                             | วิธีการประเมินผล/กลยุทธ์ 2.3                            |
| 1. [●] มีความรู้ในหลักการ และทฤษฎีทางด้าน<br>วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม                                                                                       | .1จัดการเรียนการสอนโดยเน้นผู้เรียน<br>เป็นสำคัญ                    | .1ประเมินจากแบบทดสอบด้านทฤษฎี                           |
| 2. [●] มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์<br>สิ่งแวดล้อมที่จะนำมาอธิบายหลักการและทฤษฎีใน<br>ศาสตร์เฉพาะ                                                   | .2ฝึกการแก้ไขปัญหาจากการสร้าง<br>สถานการณ์จำลอง                    | .2ประเมินผลจากการดำเนินงานและการ<br>แก้ไขปัญหา          |
| 3. [●] สามารถติดตามความก้าวหน้าทางวิชาการ<br>โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม                                                                  | .3มอบหมายงานที่ส่งเสริมการติดตาม<br>ความก้าวหน้าทางวิชาการ         | .3ประเมินผลจากการดำเนินงาน                              |
| 4. [●] มีความรอบรู้ในศาสตร์ต่าง ที่จะนำไปใช้ใน<br>ชีวิตประจำวัน                                                                                           | .4ฝึกการแก้ไขปัญหาจากการสร้าง<br>สถานการณ์จำลอง                    | .4ประเมินผลจากการดำเนินงานและการ<br>แก้ไขปัญหา          |
| <b>3. ทักษะทางปัญญา</b>                                                                                                                                   |                                                                    |                                                         |
| 3.1 ผลการเรียนรู้                                                                                                                                         | วิธีการสอน/กลยุทธ์ 3.2                                             | วิธีการประเมินผล/กลยุทธ์ 3.3                            |
| 1. [●] สามารถคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ และมีเหตุ<br>มีผลตามหลักการทางวิทยาศาสตร์                                                                          | .1ส่งเสริมการเรียนรู้จากการแก้ไข<br>ปัญหา                          | .1ประเมินผลจากการดำเนินงาน                              |
| 2. [●] นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ไป<br>ประยุกต์กับสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและ<br>เหมาะสม                                                   | 2. ส่งเสริมการเรียนรู้จากการแก้ไข<br>ปัญหา                         | .2ประเมินผลจากการดำเนินงาน                              |
| 3. [●] มีความใฝ่รู้ สามารถวิเคราะห์ และสังเคราะห์<br>ความรู้ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่หลากหลายได้อย่าง<br>ถูกต้อง และสร้างสรรค์เพื่อนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม | .3ส่งเสริมการเรียนรู้จากการแก้ไข<br>ปัญหา                          | 3. ประเมินผลจากการดำเนินงาน                             |
| <b>4. ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และความรับผิดชอบ</b>                                                                                                  |                                                                    |                                                         |
| 4.1 ผลการเรียนรู้                                                                                                                                         | วิธีการสอน/กลยุทธ์ 4.2                                             | วิธีการประเมินผล/กลยุทธ์ 4.3                            |
| 1. [●] มีภาวะผู้นำ โดยสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น ใน<br>ฐานะผู้นำ และสมาชิกที่ดี                                                                            | .1กำหนดการทำงานเป็นกลุ่ม โดย<br>หมุนเวียนการเป็นผู้นำ              | .1ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของ<br>นักศึกษาในชั้นเรียน |
| 2. [o] มีความรับผิดชอบ ต่อสังคม และองค์กร                                                                                                                 | .2ปลูกฝังให้มีการรับผิดชอบต่อหน้าที่<br>ที่ได้รับมอบหมายในงานกลุ่ม | .2ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของ<br>นักศึกษาในชั้นเรียน |
| 3. [o] สามารถปรับตัวเข้ากับสถานการณ์ และ<br>วัฒนธรรมขององค์กรที่ไปปฏิบัติงาน                                                                              | 3. ฝึกการยอมรับความคิดเห็น การมี<br>ส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่ม    | .3ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมการ<br>ระดมความคิด         |
| <b>5. ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ</b>                                                                               |                                                                    |                                                         |
| 5.1 ผลการเรียนรู้                                                                                                                                         | วิธีการสอน/กลยุทธ์ 5.2                                             | วิธีการประเมินผล/กลยุทธ์ 5.3                            |
| 1. [●] สามารถประยุกต์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ เพื่อ<br>การวิเคราะห์ ประมวลผล การแก้ปัญหา และนำเสนอ<br>ข้อมูลได้อย่างเหมาะสม                                   | .1ส่งเสริมให้มีการตัดสินใจบนพื้น<br>ฐานข้อมูลและข้อมูลเชิงตัวเลข   | .1ประเมินจากผลการดำเนินงานและการ<br>นำเสนอ              |
| 2. [o] มีทักษะในการสื่อสารภาษาไทยได้อย่างมี<br>ประสิทธิภาพ รวมทั้งการเลือกใช้รูปแบบการสื่อสาร<br>ได้อย่างเหมาะสม                                          | .2ส่งเสริมให้จัดทำรายงานและ<br>นำเสนอรายงาน                        | .2ประเมินจากผลการดำเนินงานและการ<br>นำเสนอ              |

|                                                                                                               |                                                                        |                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 3. [๐]มีทักษะและความรู้ภาษาอังกฤษ หรือ ภาษาต่างประเทศอื่น เพื่อการค้นคว้า ได้อย่างเหมาะสม และจำเป็น           | 3. มอบหมายงานให้อ่านบทความภาษาอังกฤษ                                   | .3ประเมินจากผลการดำเนินงานและการนำเสนอ<br><br>42 |
| 4. [๐] สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ในการสืบค้น และเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับสถานการณ์ | .4มอบหมายงานให้ค้นคว้าองค์ความรู้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ นำมาเขียนในรายงาน | .4ประเมินจากผลการดำเนินงานและการนำเสนอ           |

## หมวดที่ แผนการสอนและการประเมินผล 5

### .1แผนการสอน(ท.=ทฤษฎี ,ป.=ปฏิบัติ)

| ลำดับที่ | หัวข้อ/รายละเอียด                                                                                                                               | ชั่วโมงสอนต่อลำดับที่ |    | กิจกรรมการสอน                                                                                         | สื่อที่ใช้ในการสอน                                                     | ผู้สอน          |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|          |                                                                                                                                                 | ท.                    | ป. |                                                                                                       |                                                                        |                 |
| 1        | บทนำ<br>ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม อันส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม                                                   | 3                     | 0  | - บรรยาย<br>- อภิปรายกลุ่ม<br>- ตอบคำถามจากกรณีตัวอย่าง<br>ศึกษาค้นคว้าและนำเสนอผลการศึกษา            | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการบรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวิ กองร้อย |
| 2        | บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมลพิษสิ่งแวดล้อม<br>ศักยภาพสิ่งแวดล้อม และภาวะการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ           | 3                     | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็นรายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม                                                | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการบรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวิ กองร้อย |
| 3        | บทที่ 2 ดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม<br>ดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อม และการกำหนดค่ามาตรฐานสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ                                  | 3                     | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็นรายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม                                                | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการบรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวิ กองร้อย |
| 4        | บทที่ 3 มลพิษทางน้ำและผลกระทบ<br>- คุณภาพน้ำตามที่กฎหมายกำหนด<br>และดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ<br>- ลักษณะของมลพิษทางน้ำ<br>- งานวิจัยด้านมลพิษทางน้ำ | 3                     | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็นรายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม<br>- นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางน้ำ | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการบรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวิ กองร้อย |

| ลำดับ<br>ที่ | หัวข้อ/รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ชั่วโมงสอน<br>ต่อสัปดาห์ |    | กิจกรรม<br>การสอน                                                                          | สื่อที่ใช้<br>ในการสอน                                                     | ผู้สอน<br>43       |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ท.                       | ป. |                                                                                            |                                                                            |                    |
|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                          |    | - กรณีศึกษา<br>งานวิจัยการ<br>กำจัด<br>ฟอสฟอรัสใน<br>น้ำเสียจากการ<br>ซักล้างโดยแทน<br>แดง |                                                                            |                    |
| 5            | บทที่ 4 มลพิษทางอากาศ และ ผลกระทบ<br>- คุณภาพอากาศตามที่กฎหมายกำหนด และดัชนีชี้<br>วัดคุณภาพอากาศ<br>- ลักษณะของมลพิษทางอากาศ<br>- สาเหตุของการเกิดมลพิษทางอากาศ<br>- ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ<br>- แนวทางในการควบคุมมลพิษทาง<br>อากาศ                                                                                                                                                                                                         | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม                                 | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |
| 6            | บทที่ 5 มลพิษทางดิน และผลกระทบ<br>- คุณภาพดินตามที่กฎหมายกำหนด<br>และดัชนีชี้วัดคุณภาพดิน<br>- ลักษณะของมลพิษทางดิน<br>- สาเหตุของการเกิดมลพิษทางดิน<br>- ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางดิน<br>- แนวทางในการควบคุมมลพิษทางดิน                                                                                                                                                                                                                             | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม                                 | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |
| 7            | บทที่ 6 การกำจัดขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล และของ<br>เสียอันตราย<br>4.1 ชนิดและประเภทของขยะมูลฝอย<br>4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง และ<br>องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน<br>4.3 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อ<br>สิ่งแวดล้อม<br>4.4 แนวทางแก้ไขปัญหามลพิษมูลฝอย<br>4.5 การคัดแยกประเภทขยะ<br>4.6 หลักเกณฑ์การเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม<br>สำหรับกำจัดขยะมูลฝอย<br>4.7 เทคโนโลยีในการคัดแยก และกำจัด<br>ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล<br>4.8 ตัวอย่างการกำจัดขยะมูลฝอย และ | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม                                 | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |

| ลำดับ<br>ที่ | หัวข้อ/รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ชั่วโมงสอน<br>ต่อสัปดาห์ |    | กิจกรรม<br>การสอน                                          | สื่อที่ใช้<br>ในการสอน                                                    | ผู้สอน<br>44       |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ท.                       | ป. |                                                            |                                                                           |                    |
|              | การใช้ประโยชน์จากขยะ<br>4.9 ข้อเปรียบเทียบวิธีการกำจัดขยะมูล<br>ฝอย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                          |    |                                                            |                                                                           |                    |
| 8-10         | บทที่ 7 การควบคุมมลพิษทางเสียงและ<br>แรงสั่นสะเทือน<br>5.1 ภาวะมลพิษทางเสียงและ<br>แรงสั่นสะเทือน<br>5.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทาง<br>เสียงและแรงสั่นสะเทือน<br>5.3 ระดับเสียงและแรงสั่นสะเทือนจาก<br>กิจกรรมต่างๆ<br>5.4 มาตรฐานคุณภาพเสียงและ<br>แรงสั่นสะเทือน<br>5.5 ผลกระทบจากมลพิษทางเสียงและ<br>แรงสั่นสะเทือน<br>5.6 วิธีในการควบคุมมลพิษทางเสียงและ<br>แรงสั่นสะเทือน<br>5.7 เทคโนโลยีทางการควบคุมมลพิษ<br>ทางเสียงและแรงสั่นสะเทือน | 6                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม | -Power point<br>คลิบวีดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |
| 11           | บทที่ 8 เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด<br>6.1 หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่<br>สะอาด<br>6.2 ความหมายของเทคโนโลยีการผลิตที่<br>สะอาด<br>6.3 วิธีการเทคโนโลยีสะอาด<br>6.4 ประโยชน์ของเทคโนโลยีสะอาด<br>6.5 ขั้นตอนการทำเทคโนโลยีการผลิตที่<br>สะอาด<br>6.6 การประเมินความเป็นไปได้ของการ<br>เลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม<br>6.7 ปัจจัยของความสำเร็จในการทำ<br>เทคโนโลยีสะอาด<br>6.8 ปัญหาและอุปสรรคของการท า<br>เทคโนโลยีสะอาด                            | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม | -Power point<br>คลิบวีดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |
| 12           | บทที่ 9<br>การวิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อม<br>สาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้น และ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล                   | -Power point<br>คลิบวีดีโอ-                                               | อ.พรทวี<br>กองร้อย |

| สัปดาห์<br>ที่ | หัวข้อ/รายละเอียด                                                                                                                                                             | ชั่วโมงสอน<br>ต่อสัปดาห์ |    | กิจกรรม<br>การสอน                                          | สื่อที่ใช้<br>ในการสอน                                                     | ผู้สอน<br>45       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                |                                                                                                                                                                               | ท.                       | ป. |                                                            |                                                                            |                    |
|                | หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้เครื่องมือการควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้น พร้อมวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหา และการจัดทำแผนการควบคุมระบบสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ         |                          |    | - อภิปรายกลุ่ม                                             | เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ-                                 |                    |
| 13-14          | บทที่ 10<br>การจัดทำแผนการดำเนินงาน<br>มาตรการ และแนวทางในการป้องกัน<br>แก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม<br><br>บทสรุป<br>- การนำเสนอรายงาน<br>สรุปเนื้อหา เพื่อประมวลความรู้ที่ได้ | 6                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |
| 15             | - อภิปรายปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและ<br>การควบคุมจากสถานการณ์ปัจจุบัน<br>พร้อมทั้งสร้างแผนการควบคุมมลพิษ<br>สิ่งแวดล้อมจากสถานการณ์สมมติ                                         | 3                        | 0  | - บรรยาย<br>- ฝึกปฏิบัติเป็น<br>รายบุคคล<br>- อภิปรายกลุ่ม | -Power point<br>คลิป์วิดีโอ-<br>เอกสาร-<br>ประกอบการ<br>บรรยาย<br>หนังสือ- | อ.พรทวี<br>กองร้อย |

.2

## แผนการประเมินผลการเรียนรู้

| กิจกรรม<br>ที่ | การเรียนรู้<br>ด้าน | ผลการเรียนรู้                                                                                                                                                                                                | วิธีการประเมิน                                                                                                  | สัปดาห์<br>ที่<br>ประเมิน | สัดส่วนของ<br>การประเมิน |
|----------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1              | คุณธรรม<br>จริยธรรม | 1. [o] มีความซื่อสัตย์ สุจริต<br>2. [●] มีระเบียบวินัย<br>3. [●] มีจิตสำนึก และตระหนักในการปฏิบัติตาม<br>จรรยาบรรณทางวิชาการ และวิชาชีพ<br>4. [●] เคารพสิทธิ และความคิดเห็นของผู้อื่น<br>5. [o] มีจิตสาธารณะ | สังเกตพฤติกรรมการ-<br>ปฏิบัติ<br>การตรงต่อเวลา-<br>-การส่งงาน<br>การขานชื่อหรือเซ็นชื่อ-<br>การเข้าร่วมกิจกรรม- | 1-15                      | 10%                      |
| 2              | ความรู้             | 1. [●] มีความรู้ในหลักการ และทฤษฎีทางด้าน                                                                                                                                                                    | -การทำแบบทดสอบ                                                                                                  | -                         | 70%                      |

| กิจกรรม<br>ที่ | การเรียนรู้                                                   | ผลการเรียนรู้                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | วิธีการประเมิน                                                                                                                    | สัปดาห์<br>ที่<br>ประเมิน | สัดส่วนของ<br>การประเมิน |
|----------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                |                                                               | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม<br>2. [●] มีความรู้พื้นฐานทางเคมีที่จะนำมาอธิบาย<br>หลักการและทฤษฎีในศาสตร์เฉพาะ<br>3. [●] สามารถติดตามความก้าวหน้าทางวิชาการ<br>โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม<br>4. [●] มีความรอบรู้ในศาสตร์ต่างที่จะนำไปใช้ใน<br>ชีวิตประจำวัน                                                                                                                                                                                                                       | ด้านทฤษฎี<br>การสอบกลางภาค -<br>การสอบปลายภาค -<br>- การทำปฏิบัติการ<br>ผลจากการดำเนินงาน -<br>และการแก้ไขปัญหา<br>รายงานสรุปผล - | 5,10,15<br>- 2-14         | 46                       |
| 3              | ทักษะทางปัญญา                                                 | 1. [●] สามารถคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ และมีเหตุ<br>มีผลตามหลักการทางวิทยาศาสตร์<br>2. [●] นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมไป<br>ประยุกต์กับสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง และ<br>เหมาะสม<br>3. [●] มีความใฝ่รู้ สามารถวิเคราะห์ และสังเคราะห์<br>ความรู้ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่หลากหลายได้อย่าง<br>ถูกต้อง และสร้างสรรค์เพื่อนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม                                                                                                                                    | ประเมินผลจากการ<br>ดำเนินงาน<br>- การทำปฏิบัติการ<br>ผลจากการดำเนินงาน -<br>และการแก้ไขปัญหา<br>รายงานสรุปผล -                    | 14-2                      | 10%                      |
| 4              | ทักษะ<br>ความสัมพันธ์<br>ระหว่างบุคคลและ<br>ความรับผิดชอบ     | 1. [●] มีภาวะผู้นำ โดยสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น ใน<br>ฐานะผู้นำ และสมาชิกที่ดี<br>2. [●] มีความรับผิดชอบ ต่อสังคม และองค์กร<br>3. [●] สามารถปรับตัวเข้ากับสถานการณ์ และ<br>วัฒนธรรมขององค์กรที่ไปปฏิบัติงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                 | - ประเมินจากการสังเกต<br>พฤติกรรมของนักศึกษา<br>ในชั้นเรียน และการ<br>ระดมความคิด<br>การทำงานร่วมกับคน -<br>อื่น                  | 15-1                      | 5%                       |
| 5              | ทักษะการ<br>วิเคราะห์เชิง<br>ตัวเลข การสื่อสาร<br>และสารสนเทศ | 1. [●] สามารถประยุกต์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ เชิง<br>ตัวเลข เพื่อการวิเคราะห์ ประมวลผล การแก้ปัญหา<br>และนำเสนอข้อมูลได้อย่างเหมาะสม<br>2. [●] มีทักษะในการสื่อสารภาษาไทยได้อย่างมี<br>ประสิทธิภาพ รวมทั้งการเลือกใช้รูปแบบการสื่อสารได้<br>อย่างเหมาะสม<br>3. [●] มีทักษะและความรู้ภาษาอังกฤษ หรือ<br>ภาษาต่างประเทศอื่น เพื่อการค้นคว้า ได้อย่างเหมาะสม<br>และจำเป็น<br>4. [●] สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ในการสืบค้น<br>และเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ<br>เหมาะสมกับสถานการณ์ | ประเมินจากผลการ -<br>ดำเนินงานและการ<br>นำเสนอ<br>- รายงานสรุปผล                                                                  | 15-1                      | 5%                       |

## หมวดที่ 6 ทักษะการประกอบการเรียนการสอน

### 1. ตำราและเอกสารหลัก

เกษม จันทรแก้ว. 2544. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p>กรุงเทพฯ.</p> <p>เกรียงศักดิ์ อุทุมสินโรจน์. 2543. <b>การจัดการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม</b>. มหาวิทยาลัยรังสิต: กรุงเทพฯ.</p> <p>เกษม จันทร์แก้ว. 2541. <b>เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม</b>. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.</p> <p>ไชยยุทธ ชีวะยะ. 2542. <b>มลพิษสิ่งแวดล้อม</b>. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสงขลา: สงขลา.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 47 |
| <p><b>.2เอกสารและข้อมูลสำคัญ</b></p> <p><b>แหล่งเรียนรู้</b></p> <p>.1สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
| <p><b>.3เอกสารและข้อมูลแนะนำ</b></p> <p>พัฒนา มุลพุกษ์. 2546. <b>อนามัยสิ่งแวดล้อม</b>. ชิกม่า ดีไซน์ กราฟฟิค จำกัด: กรุงเทพฯ.</p> <p>พิมล เรือนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวานิช. 2539. <b>เคมีสภาวะแวดล้อม</b>. โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์. พิมพ์ครั้งที่ 2: กรุงเทพฯ.</p> <p>สุธีลา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสสิต วงศ์สวรรค์. 2548. <b>มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย)</b>. รวมสาส์น จำกัด: กรุงเทพฯ.</p> <p>และ Web Site ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาสาระการเรียนรู้ อาทิ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <a href="http://www.onep.go.th">www.onep.go.th</a></li> <li>- <a href="http://www.mnre.go.th">www.mnre.go.th</a></li> <li>- <a href="http://www.tei.or.th">www.tei.or.th</a></li> </ul> <p>- ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ ตำราระบบบำบัดมลพิษทางเสียง ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม</p> <p>- หนังสือภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี ของ ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์</p> |    |

## หมวดที่ 7 การประเมินและปรับปรุงการดำเนินการของรายวิชา

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1. กลยุทธ์การประเมินประสิทธิผลของรายวิชาโดยนักศึกษา</b></p> <p>แบบประเมินประสิทธิภาพการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ผ่าน website คณะ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>2. กลยุทธ์การประเมินการสอน</b></p> <p>แบบประเมินประสิทธิภาพการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ผ่าน website คณะ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p><b>3. การปรับปรุงการสอน</b></p> <p>จากการประเมินการสอนในข้อ 2 นำข้อที่ควรปรับปรุงมาสู่การจัดกิจกรรมการประชุมหารือ ในกลุ่มผู้สอน</p>                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>4. การทวนสอบมาตรฐานผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาในรายวิชา</b></p> <p>ในระหว่างกระบวนการสอนรายวิชา มีการแต่งตั้งคณะกรรมการผู้รับผิดชอบหลักสูตร ดำเนินการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษา ดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- การประเมินโดยนักศึกษา ตามผลการเรียนรู้</li> <li>- การสอบโดยอาจารย์ผู้สอน (สอบย่อย สอบกลางภาค และสอบปลายภาค)</li> <li>- วิเคราะห์เกณฑ์การประเมิน ตาม มคอ 3/มคอ 5</li> </ul> |

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับ มหาวิทยาลัยไต้หวัน เมือง  
ไต้หวัน ประเทศไต้หวัน

การเผยแพร่งานวิจัย:

ชื่อผลงานวิจัย Metals Accumulation in the Constructed  
Wetlands at Metal Processing Industries and Chia-Nan  
University of Pharmacy and Science, Taiwan, 2009

ชื่อวารสารที่เผยแพร่ ปีที่พิมพ์ ตีพิมพ์ใน การประชุมวิชาการ  
วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่  
ที่ 1 "The First Conference on Environmental Science,  
Engineering and Management" วันที่ 22-23 กันยายน  
2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5. การดำเนินการทบทวนและการวางแผนปรับปรุงประสิทธิผลของรายวิชา

จากผลการประเมิน และทวนสอบผลสัมฤทธิ์ประสิทธิผลรายวิชา ได้มีการวางแผนการปรับปรุงการสอนและรายละเอียดวิชา ทุก 4 ปีหรือตามข้อเสนอแนะและผลการทวนสอบมาตรฐานผลสัมฤทธิ์ตามข้อ 4

เปลี่ยนหรือจัดการเรียนการสอนเป็นทีมหรือแบ่งหัวข้อ/ผลการเรียนรู้ในการสอนของอาจารย์ประจำวิชา

## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล                      นาย พรทวี กองร้อย  
Mr. Porntawee Kongroy
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3670400033908
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000  
โทรศัพท์ภายในเบอร์ 1405 มือถือ 082-5797769  
อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) p.kongroy@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา  
วศม. (สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
วศม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)  
การวิจัยเชิงวิศวกรรมและการมีส่วนร่วมของประชาชน
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ  
การวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ  
ผลงานวิจัย  
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:  
ชื่อ โครงการ วิจัย Metals Accumulation in the Constructed  
Wetlands at Metal Processing Industries and Chia-Nan  
University of Pharmacy and Science, Taiwan, 2009 ปีที่  
ดำเนินโครงการ 2008-2009 แหล่งทุนจากสาขา  
วิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับ มหาวิทยาลัยไต้หวัน เมือง  
ไต้หวัน ประเทศไต้หวัน

การเผยแพร่งานวิจัย:

ชื่อผลงานวิจัย Metals Accumulation in the Constructed  
Wetlands at Metal Processing Industries and Chia-Nan  
University of Pharmacy and Science, Taiwan, 2009

ชื่อวารสารที่เผยแพร่ ปีที่พิมพ์ ตีพิมพ์ใน การประชุมวิชาการ  
วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่  
ที่ 1 "The First Conference on Environmental Science,  
Engineering and Management" วันที่ 22-23 กันยายน  
2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย