



**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**  
**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**  
**วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)**  
**ปริญญา**

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| .....<br>วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | .....<br>วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| .....<br>สาขา                   | .....<br>ภาควิชา                |

เรื่อง      การบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียร

The Removal of Various Phosphorus Forms by Treatment Ponds of  
Stabilization System

نامผู้วิจัย      นางสาวนลินี สุนา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( .....  
รองศาสตราจารย์คณิดา ตังคนานุรักษ์, วท.ม. .... )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( .....  
รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคนานุรักษ์, Ph.D. .... )

หัวหน้าภาควิชา

( .....  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. .... )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

( .....  
รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. .... )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียร

The Removal of Various Phosphorus Forms by Treatment Ponds  
of Stabilization System

โดย

นางสาวนลินี สุนา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นลินี สุนา 2557: การบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์  
คณิตา ตังคณานุรักษ์, วท.ม. 92 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการบำบัดฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆและปัจจัยที่มีผล คือ  
ความลึกของระดับน้ำ (0.3, 0.6 และ 0.8 ม.) และฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) จากบ่อทั้ง 5 บ่อใน  
ระบบบ่อบำบัดเสถียรของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจาก  
พระราชดำริ ทำการตรวจวัดฟอสฟอรัส 4 รูป ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์  
ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่า ความลึกของระดับน้ำไม่มีผลต่อความ  
เข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้ง 4 รูป ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตในน้ำเสียทั้ง 5  
บ่อ ในฤดูฝนมีค่าใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 1.69 – 1.86 มก./ล. และ 4.61 - 9.03 มก./ล. ตามลำดับ  
และในฤดูแล้งมีค่า อยู่ในช่วง 0.87 - 1.84 มก./ล. และ 7.22 - 13.87 มก./ล. ตามลำดับ แนวโน้ม  
ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าลดลงตั้งแต่บ่อที่ 1 (8.68 และ  
16.27 มก./ล. ตามลำดับ ในฤดูฝน และ 15.94 และ 28.33 มก./ล. ตามลำดับ ในฤดูแล้ง) ถึงบ่อที่ 5  
(2.28 และ 8.60 มก./ล. ตามลำดับ ในฤดูฝน และ 6.27 และ 14.37 มก./ล. ตามลำดับ ในฤดูแล้ง)  
เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไมเนอไลเซชันของอินทรีย์ฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์ ฤดูกาลมีผลทำ  
ให้ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดใน  
ฤดูแล้งมีความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูฝน เนื่องจากการเจือจางของน้ำฝน ช่วงฤดูฝน ประสิทธิภาพการ  
บำบัดอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีร้อยละ 73.77 ในฤดูฝน และร้อยละ 60.64 ในฤดูแล้ง ซึ่งมีประสิทธิภาพ  
การบำบัดสูงกว่าการบำบัดฟอสฟอรัสในรูปแบบอื่น อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต  
และฟอสฟอรัสทั้งหมด ในบ่อบำบัดทั้ง 5 บ่อ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียชุมชนที่กำหนด ( $\leq$   
0.10 มก./ล. และ 2 มก./ล. ตามลำดับ) นอกจากนั้นความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตที่ตรวจวัดได้ใน  
ตะกอนดินของบ่อทั้ง 5 บ่อ ผลการศึกษาพบว่าทั้งสองฤดูกาล ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต มีค่า  
อยู่ในช่วง 101.00 - 193.81 มก./กก. และ 264.70 - 402.99 มก./กก. ตามลำดับ ดังนั้นการใช้บ่อบำบัด  
เสถียรบำบัดน้ำเสียชุมชน อาจมีความเสี่ยงในการเกิดยูโทรฟิเคชัน

Nalinee Suna 2014: The Removal of Various Phosphorus Forms by Treatment Ponds of Stabilization System. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 92 pages.

The objective of this research is to study the treatment of various phosphorus forms and the effecting factors such as water depth level (0.3, 0.6 and 0.8 m) and season (summer and rainy season) the five ponds of the stabilization pond treatment system of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. The four forms of phosphorus i.e. orthophosphate, polyphosphates, organic phosphorus and total phosphorus were determined. The results showed that the depth levels of water had no effect on the concentration of four forms of phosphorus. The concentration of orthophosphate and polyphosphate in wastewater from five ponds were closely in the range 1.69 – 1.86 mg/L and 4.61-9.03 mg/L respectively in rainy season and in the range 0.87 - 1.84 mg/L and 7.22 - 13.83 mg/L respectively in summer season. The tendency of organic phosphorus and total phosphorus concentration decreased from the 1<sup>st</sup> (8.68 and 16.27 mg/L respectively in rainy season and 15.94 and 28.33 mg/L respectively in summer season) to the 5<sup>th</sup> (2.28 and 8.60 mg/L respectively in rainy season and 6.23 – 14.37 mg/L respectively in summer season) due to the increasing of the mineralization of organic phosphorus by microorganism. The season factor effected on the higher concentration of orthophosphate, polyphosphates, organic phosphorus and total phosphorus in summer season than in rainy season due to the dilution of rainy water. The removal efficiency of organic phosphorus was 73.77% in rainy season and 60.64% in summer season that was higher than other phosphorus forms. However the concentration of orthophosphate and total phosphorus in all of 5 ponds exceeded the water quality standard ( $\leq 0.1$  mg/L and 2 mg/L respectively). In addition, the concentrations of orthophosphate in sediment soil of 5 ponds were determined. The results revealed that in both seasons the concentration of orthophosphate were in range 101.00 - 193.81 mg/L and 264.70 - 402.99 mg/L respectively. Therefore, the utilization of stabilization pond to treat domestic waste water could be risk occurring eutrophication.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำสั่งสอน แก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ต่างๆไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต และขอขอบพระคุณโครงการ ศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ รวมถึงขอขอบพระคุณ คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการศึกษาวิจัยใน ครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท สิ่งแวดล้อม รุ่น 36 ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ ตลอดจนสนับสนุนทุนการศึกษาจนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นลินี สุนา  
กันยายน 2557



## สารบัญ

## หน้า

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| สารบัญ                     | (1) |
| สารบัญตาราง                | (2) |
| สารบัญภาพ                  | (3) |
| คำนำ                       | 1   |
| วัตถุประสงค์               | 3   |
| การตรวจเอกสาร              | 4   |
| อุปกรณ์และวิธีการ          | 36  |
| อุปกรณ์                    | 36  |
| วิธีการ                    | 37  |
| ผลและวิจารณ์               | 48  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ          | 81  |
| สรุป                       | 81  |
| ข้อเสนอแนะ                 | 84  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง       | 85  |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 92  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                  | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน                                                                                                   | 11   |
| 2        | ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ                                                                                                 | 12   |
| 3        | สรุปปริมาณน้ำที่ใช้โดยเฉลี่ยของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี                                                         | 13   |
| 4        | ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พ.ศ.2538                                                             | 14   |
| 5        | ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป                                                                                                 | 14   |
| 6        | พื้นที่และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี                             | 16   |
| 7        | ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปัจจุบัน                                                                               | 17   |
| 8        | องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป                                                                                | 25   |
| 9        | ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน                                                                                                  | 49   |
| 10       | ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้นในระบบบ่อบำบัดช่วงฤดูฝน                                                                                   | 52   |
| 11       | ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้นในระบบบ่อบำบัดช่วงฤดูแล้ง                                                                                 | 52   |
| 12       | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝน   | 58   |
| 13       | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูแล้ง | 61   |
| 14       | ผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินของระบบบำบัดน้ำเสียช่วงฤดูฝน                                                           | 79   |
| 15       | ผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินของระบบบำบัดน้ำเสียช่วงฤดูแล้ง                                                         | 79   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                                                                                                       | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันของสาหร่ายและแบคทีเรียในบ่อแอโรบิก                                                                                                                                                            | 19   |
| 2 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอโรบิก                                                                                                                                                                                  | 20   |
| 3 ปฏิกริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลเททีฟ (Facultive Pond)                                                                                                                                                                 | 22   |
| 4 วัฏจักรฟอสฟอรัส                                                                                                                                                                                                            | 27   |
| 5 วงจรฟอสฟอรัสในดิน                                                                                                                                                                                                          | 31   |
| 6 ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี                                                                                                                                                                                    | 43   |
| 7 ผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินของบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชน                                                                                                                                                                    | 44   |
| 8 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก ด้วยเครื่องย่อย                                                                                                                                                                        | 46   |
| 9 ลักษณะบ่อบำบัดและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย                                                                                                                                                                   | 49   |
| 10 ลักษณะการไหลของน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสีย                                                                                                                                                                                       | 50   |
| 11 กราฟมาตรฐานออร์โทฟอสเฟต                                                                                                                                                                                                   | 55   |
| 12 กราฟมาตรฐานโพสฟอสเฟต                                                                                                                                                                                                      | 55   |
| 13 กราฟมาตรฐานอินทรีย์ฟอสฟอรัส                                                                                                                                                                                               | 56   |
| 14 ระบบบ่อบำบัด 5 บ่อ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย<br>อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประกอบด้วย บ่อตกตะกอน (ก), บ่อ<br>ผึ่งที่ 1 (ข), บ่อผึ่งที่ 2 (ค), บ่อผึ่งที่ 3 (ง) และบ่อปรับสภาพ (จ) | 64   |
| 15 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข) และ<br>ครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค)                                     | 65   |
| 16 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข),<br>และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)                                    | 66   |
| 17 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสฟอสเฟตในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข), และ<br>ครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค)                                       | 68   |



### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                                                                            | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 18     | ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสฟอรัสเฟตในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข),<br>และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)      | 69   |
| 19     | ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข), และ<br>ครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค) | 70   |
| 20     | ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อ<br>บำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข),<br>และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค) | 71   |
| 21     | ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำของ<br>บ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข),<br>และครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค)   | 72   |
| 22     | ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำของ<br>บ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์<br>(ข), และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)  | 73   |
| 23     | เปรียบเทียบปริมาณออร์โธฟอสเฟตในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ                                                                                                                        | 74   |
| 24     | เปรียบเทียบปริมาณโพสฟอรัสในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ                                                                                                                            | 74   |
| 25     | เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5<br>บ่อ                                                                                                                 | 75   |
| 26     | เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5<br>บ่อ                                                                                                                  | 75   |
| 27     | ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสของบ่อบำบัดน้ำเสีย                                                                                                                                        | 77   |
| 28     | กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์ตะกอนดิน                                                                                                                                             | 78   |
| 29     | ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินช่วงฤดูฝนของบ่อบำบัดทั้ง 5 บ่อ                                                                                                                                 | 80   |
| 30     | ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินช่วงฤดูแล้งของบ่อบำบัดทั้ง 5 บ่อ                                                                                                                               | 80   |

## การบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียร

### The Removal of Various Phosphorus Forms by Treatment Ponds of Stabilization System

#### คำนำ

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียที่มาจากกิจกรรม การซักล้าง การจับถ่าย จากครัวเรือน ซึ่งองค์ประกอบของของเสียในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นพวกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ และไม่สะสมตกค้าง และพวกสารอนินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในกิจกรรมประจำวัน โดยเฉพาะพวกสารซักล้าง จะมีการเติมพวกสารฟอสเฟต เพื่อลดความกระด้างของน้ำ ทำให้เกิด ฟอง ดังนั้นทำให้น้ำเสียชุมชนมีโอกาสปนเปื้อนฟอสฟอรัสสูง ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหาร ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ถ้ามีปริมาณมากจะส่งผลต่อระบบสิ่งแวดล้อม

ระบบบำบัดแบบบ่อบำบัดหรือบ่อฝังต้องอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติเป็นตัวช่วยและ ร่วมในการบำบัดโดยปริมาณของเสียในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียขณะที่ สาหร่ายเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงปลดปล่อยออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ใช้ในการหายใจและ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่ม มากขึ้น อีกทั้งได้สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ จึงเป็นลักษณะ ที่พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ส่งผลให้เกิดสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าระบบบ่อบำบัดมีการบำบัด สารประกอบฟอสฟอรัสได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ก็จะเกิดการบูมของสาหร่ายที่เรียกว่ายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) (Zohary,1987) เป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีธาตุอาหารสูงและฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุอาหารตัวหนึ่งซึ่งเมื่อมีมากเกินไปจะทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเกิด ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระดับถัดไปในห่วงโซ่อาหาร ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง กายภาพและเคมีของน้ำ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่างในรูปของออร์โธ ฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสฟอรัส และตัวอย่างตะกอนดินในรูปของออร์โธฟอสเฟต

ในของบ่อน้ำบาดน้ำเสีย วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสตามวัฏจักรชีวธรณีเคมี และศึกษาปัจจัยที่มีผล คือ ฤดูกาล และ ความลึกของระดับน้ำว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอย่างไรเพื่อนำข้อมูลไปจัดการและปรับปรุงระบบบ่อน้ำบาดน้ำเสียให้เกิดความสมบูรณ์ต่อไป



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและตะกอนดินที่อาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในบ่อบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี
2. เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพและปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดฟอสฟอรัสของบ่อบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติ

## การตรวจเอกสาร

### น้ำเสีย

#### 1. ความหมาย

น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น ส่วนน้ำทิ้ง ก็คือน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้ว และ/หรือไม่ได้รับการบำบัด ซึ่งถูกระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (เกษม, 2553)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์มาแล้ว ซึ่งอาจเป็นการใช้ประโยชน์ในบ้านเรือน การเกษตร กิจกรรมอุตสาหกรรมต่างๆ การใช้น้ำเหล่านี้จะให้น้ำมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิม เช่นอุณหภูมิเปลี่ยนไป หรือมีสิ่งเจือปนมากขึ้น (ฉัตรไชย, 2539)

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

กรมควบคุมมลพิษ (2537) ให้ความหมายของน้ำเสียชุมชน คือ น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งน้ำเสียชุมชนจะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมาก สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการปรุงอาหาร การล้างภาชนะ รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดบ้านเรือน รถ ฯลฯ

#### 2. การแบ่งประเภทน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด

ประเภทน้ำเสียสามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิด ได้ดังนี้



## 2.1 น้ำเสียชุมชน

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสีย ในที่สุด ในการฟื้นฟูคุณภาพน้ำจะต้องใช้งบประมาณสูงมาก กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

1. บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้านและการอาบน้ำ ซึ่งบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตร/คน/วัน
2. ภัตตาคารมีน้ำเสียเกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย
3. โรงแรมมีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวหรือภัตตาคารภายในโรงแรม อาคารสำนักงาน
4. กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการอาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

## 2.2 น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร

น้ำเสียจากการเกษตรจะมีปริมาณเกลือแร่สูง ทั้งเนื่องจากการคายน้ำและการชะล้างเอาเกลือแร่ในดินออกมา ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง อันเป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน นอกจากนี้ยังมีพืชรากค้างจากสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรอีกหลายอย่างซึ่งอาจเรียกว่า “ยาปราบศัตรูพืช” สารมลพิษเหล่านี้เป็นผลผลิตแห่งการพัฒนาด้านการเกษตรใน

อันที่จะเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์ ได้แก่ สารประกอบคลอรีเนเตด สารเหล่านี้ย่อยสลายยากจึงมีความเป็นพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน และสารประกอบ ออร์กาโนฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรด Phosphoric สารพวกนี้ย่อยสลายได้ระยะเวลา ก่อนข้างสั้น พิษตกค้างจึงสลายไปโดยเร็ว

### 2.3 น้ำเสียอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากกิจการอุตสาหกรรมประกอบด้วยน้ำเสียจากการหล่อเย็นและน้ำเสียจาก กระบวนการผลิต น้ำเสียจากการหล่อเย็นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายใน น้ำลดลง ส่วนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอันได้แก่ การล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักร และน้ำ ส่วนเกินจากกระบวนการผลิต เป็นต้น น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแต่ละประเภทมีลักษณะพิเศษ เฉพาะแตกต่างกันออกไป ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม น้ำ เสียจากอุตสาหกรรมบางประเภทสร้างปัญหารุนแรงมาก เช่น ปล่อยคราบน้ำมัน โลหะหนัก หรือมี ความเป็นกรดสูง เป็นต้น

#### ลักษณะน้ำเสียชุมชน

##### 1. ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพจะประกอบไปด้วยปริมาณของแข็งทั้งหมด กลิ่น อุณหภูมิ สี และความขุ่น ซึ่งแต่ละลักษณะจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันมากน้อยไม่เท่าเทียมกัน เพื่อช่วยให้ สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำเสียในทางกายภาพได้ สามารถอธิบายได้ดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2552)

1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด สิ่งที่เป็นอยู่ในน้ำทุกชนิดทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ นอกเหนือจากก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำบริเวณส่วนใหญ่ สารจะอยู่ในรูปสารละลายเกลืออนินทรีย์ ใน น้ำไฮโดรอกไซด์และน้ำเสียจะมีปริมาณสารที่ไม่ละลายน้ำทั้งที่เป็นคอลลอยด์หรือสารแขวนลอยขนาด หยิบเพิ่มขึ้นตามความสกปรกของน้ำ (ศิริพรรณ, 2550)

1.2 กลิ่น กลิ่นจากน้ำเสีย ส่วนมากแล้วมาจากแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แก๊สส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ซึ่งเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนได้ทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ส่วนสารอื่นๆ ที่สามารถทำให้เกิดกลิ่นไม่ดีเนื่องจากอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนในน้ำเสียได้ สำหรับการกำจัดกลิ่นในน้ำเสีย อาจใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์สิ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ เช่น คลอรีน, Hypochlorite, Permanganate หรือเครื่องกรองชนิดคาร์บอน

1.3 อุณหภูมิ น้ำในแม่น้ำลำคลองนี้มีปริมาณออกซิเจนลดลงกว่าปกติ เพราะค่าอุณหภูมิของออกซิเจนในน้ำจะลดลง เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของพวกจุลินทรีย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหมายความว่าออกซิเจนในน้ำได้ถูกใช้เพิ่มมากขึ้น เช่น ในฤดูแล้งน้ำในแม่น้ำลำคลองจะมีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าในฤดูหนาว และเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าปกติ การเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำจะมีมากกว่าปกติ

1.4 สี คือสีของน้ำเกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งเป็นชนิดที่ละลายมาจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์แล้วให้สารแทนนิน ลิกนิน และกรดฮิวมิก ซึ่งเป็นสารที่มีสี นอกจากนั้นอาจเกิดจากเหล็กและแมงกานีสในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของเฟอร์ริกฮิวเมต สีของน้ำมีสีที่แท้จริงเกิดจากการละลายของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ เช่น โพรตีน ไบรมัน คาร์โบไฮเดรต และสีที่ปรากฏเกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก ตะกอนดิน หรือไม่ก็อาจเกิดจากการสะท้อนของท้องฟ้า

1.5 ความขุ่น คือสารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำจะกั้นหรือขวางแสงแดดไม่ให้ส่องได้น้ำได้มากถึง 100% น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรองน้ำ อาจเกิดจากของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดแตกต่างกันมาก ขนาดของสิ่งแขวนลอยขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ (มันสิน และมันรักษ์, 2545)

## 2. ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

ลักษณะน้ำเสียทางเคมีจะประกอบด้วยเชิงทางอินทรีย์สาร และเชิงทางอนินทรีย์สาร น้ำเสียที่มาจากตามบ้านเรือนต่างๆ จะประกอบด้วย ปริมาณสารอินทรีย์ 50% และสารอนินทรีย์ 50%

2.1 สารอินทรีย์ ส่วนประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชน คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน สำหรับพวกคาร์โบไฮเดรตและพวกโปรตีนสามารถถูกย่อยสลายโดยทางชีวภาพ และส่วนพวกไขมันและน้ำมันจะมีเสถียรภาพมากกว่าและจะถูกย่อยสลายโดยทางชีวภาพได้ช้ากว่ามาก น้ำเสียอาจประกอบด้วยส่วนน้อยของผงซักฟอก สาร Phenolic และพวก Pesticides ต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใดในน้ำเสีย ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นได้

2.2 สารอนินทรีย์ เป็นสารที่มีอยู่ในน้ำเสียทั่วไป ซึ่งจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียนั้นๆ สารอนินทรีย์บางชนิดก็จำเป็นต้องมีอยู่ในน้ำเสียบ้าง เพื่อช่วยให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีวภาพเป็นไปได้ด้วยดี แต่ก็มีสารอนินทรีย์บางชนิดไม่ควรมีในน้ำเสีย เพราะอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ ฟิเอช คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต ก๊าซ โลหะหนัก เป็นต้น

2.2.1 ฟิเอช (pH) แสดงถึงความเป็นกรด ค่างของน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการบำบัดน้ำเสียทั้งวิธีทางชีวภาพและวิธีทางเคมี

2.2.2 คลอไรด์ ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำเสีย สามารถบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียว่ามีมากน้อยเพียงใดได้ ซึ่งอาจใช้เป็นตัวชี้ว่ามีน้ำเสียไหลลงแหล่งน้ำนั้นหรือไม่ ถ้ามีไม่มากจนเกินไปจะไม่มีผลอันตรายต่อมนุษย์

2.2.3 ไนโตรเจน ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญที่สุดธาตุหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ และพืชทั่วไป ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพจำเป็นต้องมีสารไนโตรเจนพอเพียงในน้ำเสีย ถ้ามีไม่พอจำเป็นอย่างย่งที่จะต้องเติมสารไนโตรเจนผสมลงไป แต่ถ้ามีมากเกินไปในแม่น้ำลำคลองหรือบ่อน้ำต่างๆ ก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นคือจะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากในแม่น้ำลำคลอง จึงจำเป็นอย่างย่งต้องควบคุมปริมาณของไนโตรเจนในน้ำให้เหมาะสม



2.2.4 ฟอสฟอรัส เป็นธาตุหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ เช่นเดียวกับไนโตรเจน แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปในแม่น้ำลำคลอง หรือบ่อน้ำต่างๆ ก็จะเป็นผลให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก ซึ่งจะทำให้สิ่งแวดล้อมในแม่น้ำลำคลองนั้นเน่าเสีย

2.2.5 ซัลเฟอร์ เป็นสารที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ สารซัลเฟอร์ที่มีความสำคัญในงานน้ำเสียได้แก่ Organic Sulfur, Hydrogen Sulfide ( $H_2S$ ), ธาตุซัลเฟอร์ เป็นต้น สารซัลเฟอร์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กับการย่อยของจุลินทรีย์ การเกิดปัญหากลิ่นเหม็นจากการย่อยสลายน้ำเสีย การกัดกร่อนต่อสภาพแวดล้อม ฯลฯ

2.2.6 แก๊ส ก๊าซชนิดที่พบในน้ำเสีย โดยมากเป็นพวก ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน ในบรรยากาศทั่วไปจะพบก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนมาก สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และมีเทน จะเกิดจากย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ ก๊าซเหล่านี้มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก

2.2.7 โลหะหนัก โลหะหนักในน้ำเสียมีอยู่หลายชนิด เช่น แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส พรอท สังกะสี นิกเกิล เป็นต้น โลหะหนักบางชนิดเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตหากอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นในการควบคุมดูแลระบบจึงจำเป็นต้องทราบว่าในน้ำเสียมีโลหะหนักชนิดใดและในปริมาณเท่าไร ปริมาณโลหะจะมีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์และการเลือกระบบบำบัดที่มีความเหมาะสม

### 3. ลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา

3.1 กลุ่มของจุลินทรีย์ที่พบในน้ำผิวดินและน้ำเสีย โดยปกติแล้วมี 3 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ Eucaryotes, Eubacteria และ Archaeobacteria ซึ่งพวก Procaryotic (Eubacteria และ Archaeobacteria) เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพซึ่งส่วนใหญ่คือ พวกแบคทีเรีย นอกจากนี้พวกจุลินทรีย์อื่นๆ ในกลุ่ม Eucaryotes พวกพืชสัตว์และโพรตีส เป็นต้น นอกจากนี้พวกโพรตีสยังมีบทบาทที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ สาหร่าย รา โพรโตซัว และโรติเฟอร์ เป็นต้น จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของคอลลอยด์และสารละลายเป็น



สารอาหารเพื่อเป็นองค์ประกอบของเซลล์และเพื่อการแบ่งเซลล์ และเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อการหายใจแล้วปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

3.2 กลุ่มจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่ทำให้เกิดโรค ส่วนใหญ่แล้วจะมาจากแหล่งน้ำเสียจากบ้านเรือน โรงพยาบาล หรือสถานพยาบาลต่างๆ มักเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหาร จึงมักปนเปื้อนมากับสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น อุจจาระ ปัสสาวะ และสารคัดหลั่ง เป็นต้น

3.2.1 กลุ่มของจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้มีด้วยกันหลายชนิด แต่ที่มีการนำมาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทย ได้แก่

3.2.1.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเลี้ยงได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ทั้งที่ทำให้เกิดโรคและไม่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์กลุ่มนี้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำสะอาดว่ามีคุณภาพน้ำทางชีวภาพเป็นอย่างไร น้ำดื่มเพื่อการบริโภคกำหนดให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อไม่เกิน 500 โคโลนีต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร

3.2.1.2 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่มีในลำไส้ของมนุษย์ มีรูปร่างเป็นแท่ง เป็นพวกที่อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนหรือไม่มีได้ ปกติมนุษย์ปล่อยโคลิฟอร์มออกมากับอุจจาระวันละประมาณ 100 - 400 พันล้านตัว แต่แบคทีเรียเหล่านี้ไม่ได้มาจากมนุษย์เท่านั้นยังสามารถพบได้ตามพื้นดินทั่วไปและกระเพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่นๆ ด้วย สำหรับการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำมักกำหนดค่า MPN (most probable number) ของโคลิฟอร์มไม่เกิน 2.2 ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

3.2.1.3 ฟีคัล โคลิฟอร์ม แบคทีเรียที่สำคัญที่อยู่ในกลุ่มนี้ คือสายพันธุ์อีโคไล (E.coli) ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ที่ดีว่าในน้ำมีการปนเปื้อนของอุจจาระหรือไม่ และถ้าพบแสดงว่าในน้ำนั้นมีการปนเปื้อนเชื้อโรค

## ปริมาณน้ำเสีย

ปริมาณน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนต่างๆ ย่อมแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของประเภทอาคารและตามลักษณะของระบบประปา คนที่อาศัยในบ้านพักแบบทันสมัยที่มีมาตรฐานการครองชีพสูงจะใช้น้ำมากกว่าคนที่มีความมาตรฐานการครองชีพต่ำ และยังมีพฤติกรรมการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน

ปริมาณน้ำเสียจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้มีการประมาณการว่าปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากอาคาร บ้านเรือน จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากร หรือพื้นที่ใช้สอยของอาคารแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

| ภาค                | อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตรต่อคนต่อวัน) |         |         |         |         |         |
|--------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    | 2536                                  | 2540    | 2545    | 2550    | 2555    | 2560    |
| กลาง               | 160-214                               | 165-242 | 170-288 | 176-342 | 183-406 | 189-482 |
| เหนือ              | 183                                   | 200     | 225     | 252     | 282     | 316     |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 200-253                               | 216-263 | 239-277 | 264-291 | 291-306 | 318-322 |
| ใต้                | 171                                   | 185     | 204     | 226     | 249     | 275     |

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2545)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆ

| ประเภทของอาคาร   | หน่วย     | ปริมาณน้ำเสีย (ลิตรต่อวันต่อหน่วย) |
|------------------|-----------|------------------------------------|
| อาคารชุด/บ้านพัก | ยูนิต     | 500                                |
| โรงแรม           | ห้อง      | 1,000                              |
| หอพัก            | ห้อง      | 80                                 |
| สถานบริการ       | ห้อง      | 400                                |
| หมู่บ้านจัดสรร   | ห้อง      | 180                                |
| โรงพยาบาล        | เตียง     | 800                                |
| ภัตตาคาร         | ตารางเมตร | 25                                 |
| ตลาด             | ตารางเมตร | 70                                 |
| ห้างสรรพสินค้า   | ตารางเมตร | 5                                  |
| สำนักงาน         | ตารางเมตร | 3                                  |

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2545)

พฤติกรรมการใช้น้ำของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยส่วนใหญ่ใช้น้ำประปาเพื่ออุปโภคบริโภคในครัวเรือนโดยมีบางส่วนที่มีการซื้อน้ำบรรจุขวดเพื่อการบริโภค ในการอาบน้ำเกือบทั้งหมดอาบน้ำในห้องน้ำที่ โดยใช้น้ำชักโครก ร่องลงมาคือใช้ฝักบัว ซึ่งจำนวนครั้งโดยเฉลี่ยอาบน้ำวันละ 2 ครั้ง และมีปริมาณน้ำเฉลี่ยที่อาบน้ำในครัวเรือนทั้งหมดวันละ 137.37 ลิตรหรือเฉลี่ย 31.29 ลิตร/คน/วัน พฤติกรรมการซักผ้า พบว่าส่วนใหญ่จะซักด้วยมือโดยซักทุกวัน ซึ่งสถานที่ซักผ้าของครัวเรือนจะเป็นห้องน้ำภายในบ้านและพบว่าปริมาณน้ำโดยเฉลี่ยของการซักผ้าแต่ละครั้ง 65.01 ลิตร หรือเฉลี่ย 14.81 ลิตร/คน/วัน ส่วนใหญ่ไม่มีการจัดการน้ำที่เหลือจากการซักผ้าโดยการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้นแต่ก็มีครัวเรือนบางหลัง ที่มีการนำน้ำที่เหลือจากการซักผ้าไปรดถนนกันฝุ่น และนำไปรดน้ำต้นไม้ พฤติกรรมการใช้ส้วมนั้น ครัวเรือนทั้งสิ้นใช้ส้วมซึม และทำความสะอาดหลังการใช้โดยวิธีการตักรด ร่องลงมาคือการใช้ส้วมชักโครก ส่วนพฤติกรรมการใช้น้ำเพื่อทำความสะอาดบ้านเรือน พบว่า ส่วนใหญ่จะใช้น้ำทำความสะอาดบ้านเรือนในการถูบ้าน มีปริมาณน้ำที่ใช้ในการถูบ้าน โดยเฉลี่ยครั้งละ 21.34 ลิตร หรือ เฉลี่ย 4.86 ลิตร/คน/วัน และส่วนใหญ่ไม่มีการนำน้ำที่เหลือจากการถูบ้านไปใช้ประโยชน์ต่อ มีเพียงบางครัวเรือนที่นำไปรดน้ำ

ต้นไม้ ในด้านพฤติกรรมกรรมการประกอบอาหารส่วนใหญ่มีการประกอบอาหารทุกวัน โดยใช้ น้ำประปามีการล้างจานชาม และน้ำที่เสร็จจากการล้างจานชามก็จะเทลงท่อที่ต่อลงสู่ท่อสาธารณะ ของเทศบาล ซึ่งการล้างจานชามแต่ละครั้งใช้น้ำโดยเฉลี่ย 29.01 ลิตร หรือเฉลี่ย 6.6 ลิตร/คน/วัน และพฤติกรรมการใช้น้ำรดน้ำต้นไม้ พบว่า เกือบครึ่งไม่ค่อยมีการรดน้ำต้นไม้ เนื่องจากเป็นอาคาร พาณิชยกรรมที่มีบ้านเรือนอยู่หนาแน่น ทำให้ไม่มีพื้นที่ปลูกต้นไม้ แต่บางส่วนที่เหลือก็จะปลูกต้นไม้ใน กระถางบ้างโดยรดน้ำทุกวัน ซึ่งน้ำที่นำมารดคือน้ำประปา มีปริมาณที่ใช้รดต้นไม้ โดยเฉลี่ยครั้งละ 13.15 ลิตร หรือเฉลี่ย 2.99 ลิตร/คน/วัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปปริมาณน้ำที่ใช้โดยเฉลี่ยของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี

| กิจกรรม                 | ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/คน/วัน) |
|-------------------------|-------------------------------|
| การอาบน้ำ               | 31.29                         |
| การซักผ้า               | 14.81                         |
| การทำความสะอาดบ้านเรือน | 4.86                          |
| การล้างจานชามภาชนะ      | 6.60                          |
| การรดน้ำต้นไม้          | 2.99                          |
| รวม                     | 60.55                         |

ที่มา: ชนิษฐา (2538)

นิรุติ (2539) กล่าวว่า ปริมาณน้ำเสียมีอัตราการไหลของน้ำเสียจากข้อมูลการใช้น้ำประปา โดยมีปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากแหล่งน้ำเสียชุมชน เช่น จากอาคาร บ้านเรือน มักมีค่าประมาณ ร้อยละ 70-90 ของปริมาณน้ำประปาที่ใช้ อัตราการไหลของน้ำเสียชุมชนจากแหล่งต่างๆ

ชนิษฐา (2538) ได้ศึกษาปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมือง เพชรบุรี โดยการสัมภาษณ์และกลุ่มมือประมาณการใช้น้ำตามลักษณะกิจกรรมการใช้น้ำพบว่า ปริมาณ การใช้น้ำเป็น 60.55 ลิตร/คน/วัน โดยร้อยละ 98.7 ของแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคของครัวเรือนเป็น น้ำประปาและน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการใช้น้ำร้อยละ 95.06 ถูกปล่อยทิ้งลงท่อระบายน้ำทิ้ง สาธารณะของเทศบาล ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี พ.ศ.2538

| กิจกรรม            | ปริมาณน้ำที่ใช้<br>(ลิตร/คน/วัน) | ร้อยละของน้ำใช้ | การจัดการน้ำเสีย   |
|--------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|
| การอาบน้ำ          | 31.29                            | 51.67           | ปล่อยลงท่อระบายน้ำ |
| การซักผ้า          | 14.81                            | 24.46           | ปล่อยลงท่อระบายน้ำ |
| การทำความสะอาดบ้าน | 4.86                             | 8.03            | ปล่อยลงท่อระบายน้ำ |
| การล้างจานชามภาชนะ | 6.60                             | 10.90           | ปล่อยลงท่อระบายน้ำ |
| การรดน้ำต้นไม้     | 2.99                             | -               | ปล่อยไหลไปตามพื้น  |
| รวม                | 60.55                            | 100.00          |                    |

ที่มา: ชนิษฐา (2538)

ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไปซึ่งจะแสดงค่าที่อยู่ในช่วงสูงสุดถึงต่ำสุด ทั้งนี้หมายถึง ไม่มีน้ำฝนไหลลงมาผสมด้วยแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป

| องค์ประกอบ                   | มิลลิกรัมต่อลิตร        | กรัม (คนต่อวัน)        |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| BOD <sub>5</sub>             | 110 x 440               | 80-120                 |
| COD                          | 1.75 x BOD <sub>5</sub> | 1.75 x BOD             |
| TOD                          | 0.8 x BOD <sub>5</sub>  | 0.8 x BOD <sub>5</sub> |
| Total solids (TS)            | 350-1,200               | 170-220                |
| Total suspended solids (TSS) | 100-350                 | 70-145                 |
| Total nitrogen, as N         | 20-85                   | 6-12                   |
| -organic nitrogen            | 0.4 x Total –N          | 0.4 x Total –N         |
| -ammonia                     | 0.6 x Total – N         | 0.6 x Total – N        |
| -nitrate                     | (0.0-0.05)x Total –N    | (0.0-0.05)x Total –N   |



### ตารางที่ 5 (ต่อ)

| องค์ประกอบ                             | มิลลิกรัมต่อลิตร | กรัม (คนต่อวัน) |
|----------------------------------------|------------------|-----------------|
| Total phosphorus, as P                 | 4-15             | 0.6-4.5         |
| -organic phosphorus                    | 0.3 x Total – P  | 0.3 x Total – P |
| -inorganic phosphorus                  | 0.7 x Total – P  | 0.7 x Total – P |
| (ORTHO-P และ POLY-P)                   | 50-200           | 20-30           |
| Total alkalinity, as CaCO <sub>3</sub> | 20-50            | 4-8             |
| Chlorides, as Cl                       | 15-30            | -               |
| Sulfates, as SO <sub>4</sub>           | 20-40            | -               |
| Nitrate, as NO <sub>3</sub>            | 20-40            | -               |
| Phosphates, as PO <sub>4</sub>         | 100-300          | -               |
| Total dissolved solids                 |                  |                 |

#### ที่มา: เกียรติศักดิ์ (2537)

เพียนจิต (2549) พบว่า ในส่วนของแหล่งกำเนิดน้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี จะจำแนกตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 5,400,000 ตารางเมตร ดังตารางที่ 6 โดยส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย รองลงมา คือ สถานที่ราชการ พาณิชยกรรมและสถาบันศาสนา ตามตารางที่ 6 และพบว่า ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรและกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่ (ไชยยุทธ, 2536) เช่น พื้นที่อยู่อาศัย มีจำนวนประชากรมากที่สุด คือ 22,151 คน มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น 3,544.16 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รองลงมา คือ พื้นที่พาณิชยกรรม ตลาด และสถาบันการศึกษามีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นเท่ากับ 2,321.76, 605.54 และ 478.14 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน พื้นที่และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2539

ตารางที่ 6 พื้นที่และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี

| ประเภทการใช้ที่ดิน | พื้นที่<br>(ตร.ม.) | ประชากร<br>(คน) | การใช้น้ำ<br>(ล./คน/วัน) | อัตราการเกิดน้ำเสีย |                    | ปริมาณ<br>น้ำเสีย<br>(ลบ.ม./คน) |
|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|
|                    |                    |                 |                          | (ล./คน/<br>วัน)     | (ล./ตร.<br>ม./วัน) |                                 |
| 1. ที่อยู่อาศัย    | 2,594,000          | 22,151          | 200                      | 160                 | -                  | 3,544.16                        |
| 2. พาณิชยกรรม      | 821,224            | 14,511          | 200                      | 160                 | -                  | 2,321.76                        |
| 3. ตลาด            | 8,776              | 25,165          | -                        | -                   | 69                 | 605.54                          |
| 4. สถาบันการศึกษา  | 148,000            | 502             | -                        | 19                  | -                  | 478.14                          |
| 5. สถาบันศาสนา     | 390,000            | 3,466           | 200                      | 160                 | -                  | 80.32                           |
| 6. สถานที่ราชการ   | 867,000            | 65,795          | -                        | 40                  | -                  | 138.64                          |
| 7. สวนสาธารณะ      | 45,000             | -               | -                        | -                   | -                  | -                               |
| 8. ถนน ซอย         | 192,000            | -               | -                        | -                   | -                  | -                               |
| 9. แม่น้ำ ลำคลอง   | 161,000            | -               | -                        | -                   | -                  | -                               |
| 10. ที่ว่าง        | 218,000            | -               | -                        | -                   | -                  | -                               |
| รวม                | 5,400,000          | -               | -                        | -                   | -                  | 7,168.56                        |

หมายเหตุ สวนสาธารณะ ถนน ซอย แม่น้ำ ลำคลอง และที่ว่าง ไม่สามารถคิดคำนวณปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อคนหรือพื้นที่ได้ จึงสมมติให้ไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น

ที่มา: เพียนจิต (2549)

#### ระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ประกอบด้วยสถานีสูบน้ำและรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางตั้งอยู่ที่บ้านคลองยาง ตำบลช่องสะแก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี น้ำเสียจะถูกส่งไปบำบัดที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอัน

เนื่องจากพระราชดำริเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร โดยท่อ HDPE (High Density Polyethylene) (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2543) โดยพื้นที่โครงการตั้งอยู่ที่ บ้านพะเนิน ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่ประมาณ 1,135 ไร่ โดยระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีในปัจจุบัน

| บ่อย่อย          | ลักษณะ                        | พื้นที่<br>(ตารางเมตร) | ความลึก<br>(เมตร) | ปริมาตรความจุ<br>(ลูกบาศก์เมตร) |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1. บ่อดกตะกอน    | สี่เหลี่ยมจัตุรัส             | 10,217.0               | 1.919             | 19,606.42                       |
| 2. บ่อบำบัดที่ 1 | คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า         | 30,408.0               | 1.479             | 44,973.43                       |
| 3. บ่อบำบัดที่ 2 | คล้ายรูปตัว L                 | 34,898.0               | 1.420             | 49,555.16                       |
| 4. บ่อบำบัดที่ 3 | คล้ายรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า | 35,424.0               | 1.353             | 47,928.67                       |
| 5. บ่อปรับสภาพ   | คล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู         | 43,131.5               | 1.228             | 52,965.48                       |
| รวม              |                               | 154,150.50             | -                 | 215,029.17                      |

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543)

สุรศักดิ์ (2540) กล่าวว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย (lagoon treatment) อาจจะเรียกในชื่ออื่นๆอีก เช่น บ่อผึ่ง (oxidation pond), บ่อปรับเสถียร (stabilization pond) และบ่อไม่เติมอากาศ

#### ระบบปรับเสถียร (Stabilization ponds)

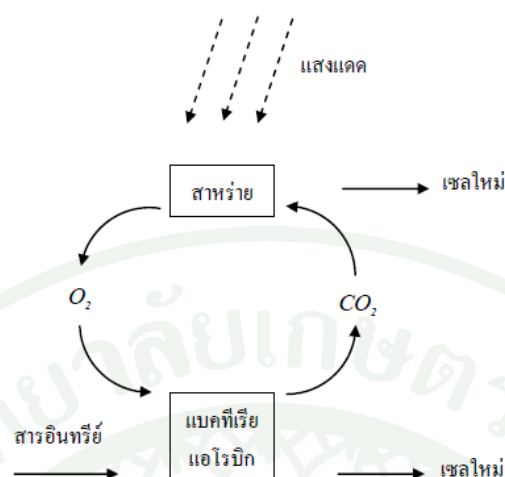
บ่อปรับเสถียรเป็นบ่อกักน้ำทิ้ง ที่มีความลึกของบ่อไม่มากนัก โดยมีรูปร่างและความลึกของบ่อขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการบำบัดน้ำทิ้ง บ่อปรับเสถียรนี้บางทีก็เรียกว่า บ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในชุมชนขนาดเล็ก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการต่ำ ต้องการพลังงานน้อยและไม่ต้องการควบคุมดูแลอย่างพิถีพิถัน การจำแนกประเภท

ของบ่อปรับเสถียรสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมที่สุด คือ จำแนกตามระดับออกซิเจนที่มีในบ่อซึ่งแบ่งได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

### 1. บ่อแอโรบิก

บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อและมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดความลึก บ่อแอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวหน้า บ่อแอโรบิกนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามวัตถุประสงค์การทำงาน คือ บ่อแอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีความลึกได้ถึงประมาณ 1-1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด และบ่อแอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุด หรือบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง ใช้สาหร่ายเปลี่ยนน้ำทิ้งให้เป็นสาหร่ายให้มากที่สุด แล้วเก็บเกี่ยวสาหร่ายเพื่อนำไปโปรตีนไปใช้ บ่อแบบนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ความลึกประมาณ 0.2-0.6 เมตร สิ่งที่อยู่ในบ่อต้องได้รับการกวนหนึ่งหรือสองครั้งต่อวัน เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมาและจำเป็นต้องมีการแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งขั้นสุดท้าย

ภายในบ่อแอโรบิกแบคทีเรียและสาหร่ายมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiotic relationship) สาหร่ายสังเคราะห์สารอินทรีย์ขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ ธาตุอาหาร และน้ำ โดยใช้พลังงานที่ได้รับจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในกระบวนการนี้น้ำจะถูกออกซิไดซ์ได้อิเล็กตรอนโปรตอนและโมเลกุลของออกซิเจน และแบคทีเรียเฮเทอโรโทรปจะทำหน้าที่จัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียเพื่อให้ได้พลังงานและสังเคราะห์เซลล์ใหม่ได้ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารอินทรีย์ แบคทีเรียใช้ออกซิเจนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการคาตาบอลิซึม ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์และธาตุอาหารที่ได้จากแบคทีเรียจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นในสถานะปกติที่มีแสงแดดกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มจะสนับสนุนซึ่งกันและกัน (ธนาสิทธิ์, 2556) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันของสาหร่ายและแบคทีเรียในบ่อแอโรบิก

ที่มา: ธนาสิทธิ์ (2556)

## 2. บ่อแฟคัลเททิฟ

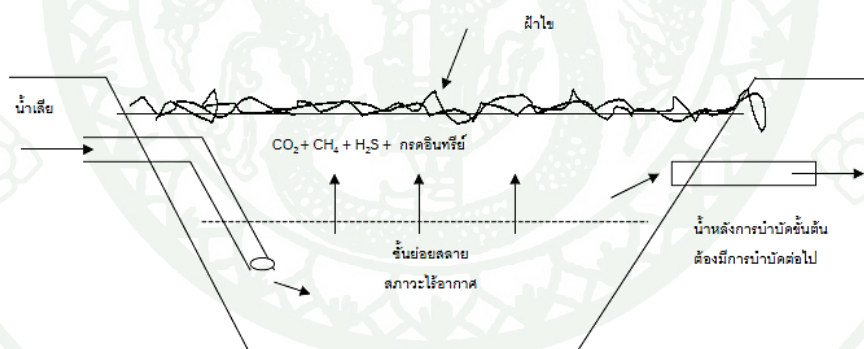
บ่อแฟคัลเททิฟ เป็นบ่อที่นิยมใช้กันมากที่สุดที่เรียกเช่นนี้เนื่องจากส่วนบนของบ่อจะอยู่ในสภาพแอโรบิก จากการเติมอากาศที่ผิวหน้าและจากปฏิกิริยาของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนแล้วจะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททิฟมีความลึกประมาณ 1-2 เมตร น้ำทิ้งจะถูกกักเป็นเวลาหลายวันเพื่อให้คงตัวและไม่เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ โดยสาหร่ายและแบคทีเรีย ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลเททิฟ เนื่องจากบ่อมีความลึกมากจึงทำให้ไม่เกิดการผสมที่ดี ของแฉ่งแขวนลอยที่มีในน้ำเสียจะตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อและสะสมเป็นชั้นสลัดจ์ ซึ่งเป็นชั้นที่ไม่มีออกซิเจนและเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ แบคทีเรียที่อยู่ในชั้นนี้ไม่ต้องการโมเลกุลของออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการเมตาบอลิซึมแต่จะใช้สารเคมีตัวอื่นแทน บ่อแฟคัลเททิฟเป็นระบบบ่อปรับเสถียรที่ถูกลือกใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนมากที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาพักน้ำที่ยาวนานทำให้ระบบสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นและอัตราการไหลของน้ำเสียในช่วงกว้างได้ดีโดย



ไม่ทำให้คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการลงทุน การเดินระบบและการบำรุงรักษามีค่าต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ๆ ที่ให้ประสิทธิภาพทัดเทียมกัน

### 3. บ่อแอนแอโรบิก

บ่อแอนแอโรบิก บ่อบำบัดแบบนี้เรียกว่าบ่อหมัก บ่อหมักเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นต้น นิยมใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์มากๆ และจะมีตะกอนค่อนข้างมากด้วย เพื่อลดปริมาณความเน่าเสียก่อนจะบำบัดในขั้นต่อไป น้ำเสียประเภทนี้โดยมากเป็นน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร (เกรียงศักดิ์, 2539) ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2 โดยน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบจะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกสหาย่อยสลายและแปรสภาพเป็นน้ำกับก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ก๊าซไข่เน่า ทำให้การบำบัดมีกลิ่นเหม็น น้ำหลังการบำบัดยังมีความสกปรกหลงเหลืออยู่ จึงควรมีการบำบัดขั้นสองก่อนจะปล่อยลงสู่ต้นน้ำสาธารณะแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อแอนแอโรบิก

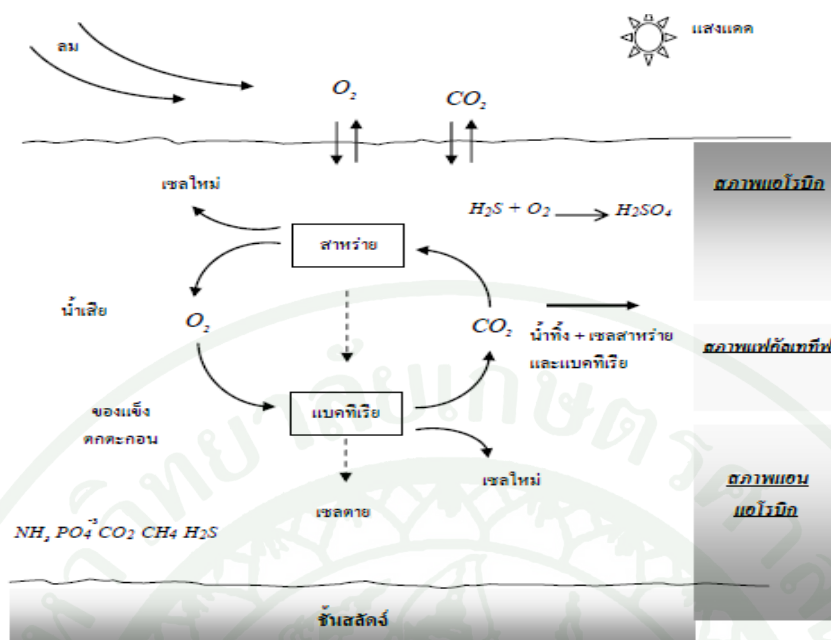
ที่มา: ธนาสิทธิ์ (2556)

#### 4. บ่อป๋ม

บ่อป๋มจะใช้เป็นบ่อที่รับน้ำต่อจากบ่อแฟคัลเททิฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อโรค ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การกำจัดบีโอดีในบ่อป๋มจะเกิดขึ้นน้อย โดยสภาพภายใน บ่อจะเป็นแอโรบิกทั้งหมด ปกติความลึกของบ่อป๋มจะเท่ากับบ่อแฟคัลเททิฟ ที่ผ่านมาก่อนแล้ว

กลไกในการทำงานของบ่อปรับเสถียร

ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในบ่อปรับเสถียร ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นกลไกสำคัญที่มีบทบาท ในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบ่อจะมีการตกตะกอนเกิดขึ้นทำให้มีสลัดจ์ที่ก้นบ่อ พร้อมกันนั้นส่วนที่ไม่ตกตะกอนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ไนโตรเจน ( $\text{N}$ ) และฟอสฟอรัส ( $\text{P}$ ) โดยปกติสลัดจ์ที่ก้นบ่อจะมีการย่อยสลายด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์กลายเป็นก๊าซต่างๆ เช่น มีเทน ( $\text{CH}_4$ ), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ), คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และมีเซลล์ใหม่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงแดดและอาหารประกอบกับเวลาและ อุณหภูมิที่เหมาะสม สาหร่ายสีเขียวจะเจริญเติบโตได้ดี สาหร่ายเหล่านี้จะใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ), ไนโตรเจน ( $\text{N}$ ) และ ฟอสฟอรัส ( $\text{P}$ ) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในการ ขยายพันธุ์และสร้างออกซิเจนให้กับน้ำ แบคทีเรียจะต้องใช้ออกซิเจนที่สาหร่ายผลิตขึ้นในการ หายใจและย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ดังนั้นแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวในบ่อคง ตัวจึงมีชีวิตอยู่ร่วมกันและพึ่งพาอาศัยกัน ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสารละลาย อินทรีย์ที่ไม่คงตัวให้กลายเป็นเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปฏิกริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลเททีฟ (Facultive Pond)

ที่มา: ธนาคารโลก (2556)

Feachem et al. (1978) กล่าวว่า บ่อปรับเสถียร (waste stabilization pond) คือ ทะเลสาบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตื้นๆซึ่งน้ำเสียดิบ (หรือที่ผ่านตะแกรงดักขยะมาแล้ว) จะถูกบำบัดโดยกระบวนการทางธรรมชาติ โดยอาศัยกิจกรรมของสาหร่ายและแบคทีเรีย ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการบำบัดน้ำเสียในภูมิภาคเขตร้อน ระบบนี้นอกจากจะราคาถูกที่สุดแล้ว ยังมีประสิทธิภาพในการทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและไข่พยาธิได้ดีอีกด้วย ประโยชน์ประการหลังนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนาที่ยังมีอัตราการป่วยและตายด้วยโรคที่เกิดจากน้ำ ในอัตราสูง โดยเฉพาะเมื่อสิ่งปฏิกูลจากมนุษย์ไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกต้อง จากค่าใช้จ่ายที่ต่ำและการดูแลรักษาที่ง่ายอย่างยิ่งทำให้บ่อปรับเสถียรถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และสิ่งปฏิกูลในภูมิภาคเขตร้อน

Eckenfelder (1972) บ่อปรับเสถียรคือ ระบบบำบัดน้ำเสียราคาถูกที่ใช้แบคทีเรียและสาหร่าย เพื่อบำบัดของเสีย แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาชีวเคมีในขณะที่สาหร่ายใช้ผลผลิตที่เกิดจากแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ และแสงแดดในการผลิตออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนนี้จะถูกนำกลับไปใช้โดยแบคทีเรีย

Gloyna (1971) กล่าวว่า บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นการบำบัดทางชีวภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ที่ดินมีราคาไม่แพง ภาระสารอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงมาก มีงบประมาณจำกัด และขาดบุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมในการบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียนี้มักจะถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียดิบของชุมชน หรือน้ำเสียอุตสาหกรรม รวมทั้งถูกใช้เป็นบ่อบำบัดน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น และขั้นที่สอง ตะกอนส่วนเกินของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ หรืออุจจาระที่เจือจางแล้ว บ่อบำบัดอาจถูกใช้บำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัด BOD ส่วนใหญ่ก่อนการบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไป และใช้ในการลดความเข้มข้นของเชื้อโรคในน้ำเสียด้วย

### ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิตและมักพบในรูปของฟอสเฟต สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารอาหารที่จำเป็นของมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ นอกจากนี้สารฟอสเฟตเป็นสารประกอบสำคัญในปุ๋ย ผงซักฟอก ยาสีฟัน นมข้น อาหาร เครื่องดื่ม และสารลดความกระด้างของน้ำ สารโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตนิยมใช้กันมากในผงซักฟอกโดยทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพให้สารลดแรงตึงผิว ทำให้สิ่งสกปรกในเนื้อผ้าหลุดได้ง่าย และช่วยเพิ่มพลังในกับสารซักฟอก กระบวนการผลิตน้ำประปาต้องมีการเติมโพลิฟอสเฟต ปริมาณเล็กน้อยเพื่อใช้ปรับสภาพของน้ำประปามีให้คัดกรองหรือตกตะกอนในเส้นท่อ (สิทธิชัย, 2549)

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและพืช นอกเหนือไปจากไนโตรเจน แหล่งน้ำธรรมชาติพบฟอสฟอรัสในปริมาณน้อยและพบในน้ำใต้ดิน น้ำไหลบ่าหน้าดิน สูงกว่าแหล่งน้ำอื่นๆ นอกจากนั้นพบฟอสฟอรัสบางส่วนในรูปของสารฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้และในรูปอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำ แต่ส่วนใหญ่จะพบฟอสฟอรัสทั้งประเภทสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในรูปที่เดิมออกซิเจนแล้ว คือ สารฟอสเฟตอินทรีย์ และสารฟอสเฟตอนินทรีย์ ซึ่งเป็นรูปที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก โดยแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้เลยอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (Soluble orthophosphate) ซึ่งได้แก่  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  ปกติแล้วจะพบฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติ น้อยมากไม่เกิน 0.005-0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1990) ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสสามารถถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วโดยแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรีย

ฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายที่สุดก็คือ ออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ซึ่งได้จากการแตกตัวของกรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ตามปฏิกิริยาในสมการที่ (1) , (2) และ (3)



การแตกตัวของกรดฟอสฟอริกตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ ถูกควบคุมโดยสภาพกรดหรือด่างของสารละลายกรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) โดยเมื่อค่าสภาพกรดหรือด่างสูงขึ้นฟอสเฟตก็จะอยู่ในรูปของ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  และเมื่อสภาพกรดหรือด่างอยู่ในระดับปานกลาง ฟอสเฟตก็จะอยู่ในรูป  $\text{HPO}_4^{2-}$  และเมื่อค่าสภาพกรดหรือด่างสูงๆจะอยู่ในรูป  $\text{PO}_4^{3-}$

(ประเทือง, 2534) แบ่งสารประกอบของฟอสฟอรัส ที่พบในน้ำมี 2 รูปแบบ คือ

1. สารประกอบพวอนินทรีย์ฟอสเฟต เป็นสารที่พบมากในแหล่งน้ำทั่วไป ซึ่งได้รับมาจากน้ำทิ้งและกิจกรรมต่างๆ แบ่งได้เป็น

1.1 สารประกอบออร์โธฟอสเฟต สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารประกอบพวออร์โธฟอสเฟตนี้บางที่เรียกว่า soluble reactive phosphorus ซึ่งมีความสำคัญทางด้านประมง

1.2 สารประกอบโพลีฟอสเฟต สารพวกนี้มักพบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของผงซักฟอก แต่สารพวกนี้เป็น dehydrated phosphate ดังนั้นจึงถูกไฮโดรไลสในน้ำกลับเป็น orthophosphates ตามเดิมและถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น pH ลดลงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวให้เร็วขึ้น



2. สารประกอบพอลิอินทรีย์ฟอสฟอรัส คือสารประกอบฟอสฟอรัสที่เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ เป็นฟอสเฟตที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น nucleic acid, phospholipids, sugar phosphate รวมทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่ในซากพืชซากสัตว์

สารประกอบฟอสฟอรัส 2 รูปแบบ คือ สารประกอบออร์โธฟอสเฟตและสารประกอบโพลีฟอสเฟต จัดเป็นอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ออร์โธฟอสเฟตเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่จุลชีพดูดซึมไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมได้ ส่วนโพลีฟอสเฟตสามารถเกิดไฮโดรไลซิสแล้วเปลี่ยนรูปเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ แต่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสค่อนข้างช้า และสำหรับฟอสเฟตอินทรีย์นั้นอาจเป็นพวกที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำก็ได้ ซึ่งรวมแล้วฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ถึงร้อยละ 70 ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป

| องค์ประกอบ                                                     | มิลลิกรัมต่อลิตร | กรัม (คนต่อวัน) |
|----------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus; TP, as P)                   | 4-15             | 0.6-4.5         |
| - ฟอสฟอรัสอินทรีย์ (organic phosphorus )                       | 0.3 x Total – P  | 0.3 x Total – P |
| - ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ (inorganic phosphorus; ORTHO-P และ POLY-P) | 0.7 x Total – P  | 0.7 x Total – P |

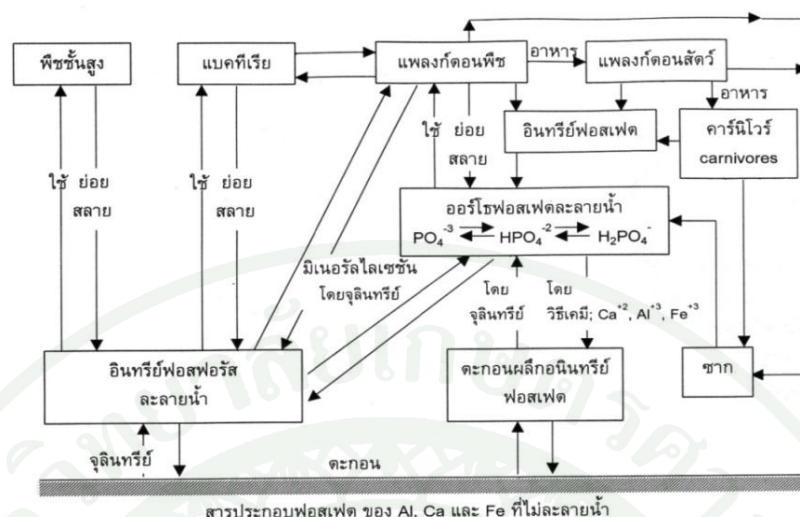
ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2542)

#### 4.1 แหล่งที่มาและวัฏจักรฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีอยู่ในส่วนที่เป็นดิน เป็นส่วนใหญ่ โดยอยู่ในหินแร่และแหล่งสะสม (deposit) อื่นๆ (ขงยุทธ และ สรุเดช, 2521) ซึ่งมักจะไม่ใช่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชจะดูดฟอสฟอรัสในรูป  $H_2PO_4^-$  มากกว่า  $HPO_4^-$  ประมาณ 10 เท่า (Tisdale และ Nelson, 1975) ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินและในน้ำได้มาจากตะกอนดินที่ถูกพัดพามายังบริเวณนั้นๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมข้างเคียง จากของเสียและสิ่งขับถ่ายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำจากทางระบายน้ำที่ผ่านพื้นที่เกษตรกรรม จากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร (Zajic, 1971) และจากน้ำทิ้งที่มาจากแหล่งอุตสาหกรรมและ

แหล่งเมือง (Devey และ Harkness, 1975) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ แคลเซียมฟอสเฟต อะลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต (Chang และ Jackson, 1975) โดยที่มักจะพบอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที คือ มักถูกดูดซับอยู่กับตะกอนหรือตกตะกอนกับไอออนบางชนิดและบางส่วนถูกตรึงอยู่กับอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นรูปที่พืชใช้ไม่ได้ ในการละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชนั้น แคลเซียมฟอสเฟตละลายได้ง่ายกว่าอะลูมินัมฟอสเฟต และอะลูมินัมฟอสเฟตละลายได้ง่ายกว่าเหล็กฟอสเฟต (Sanchez, 1976) ซึ่งฟอสฟอรัสทั้ง 3 รูปนี้ สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้โดยถูกควบคุมด้วย pH ของดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 5.5 รูปของแคลเซียมฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของอะลูมินัมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ส่วนดินที่มี pH สูงกว่า 9 นั้น รูปของอะลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Hesse, 1971) อินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ฟอสฟอรัสไอออนอยู่ในรูปที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เพราะเมื่อใส่อินทรีย์วัตถุลงไปดินอินทรีย์วัตถุจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบพวกซิเตรท (citrate) และออกซาเลท (oxalate) สารพวกนี้เป็นตัวการในการป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตไอออนถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินัม (Knott, 1949)

วัฏจักรฟอสฟอรัสเริ่มต้นจากการปลดปล่อยฟอสเฟตจากหิน และแร่มาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ในดิน ซึ่งมักมีความเข้มข้นต่ำ พืชและจุลินทรีย์ที่ใช้ฟอสเฟตเป็นอาหาร (phosphate fixing bacteria) จะดูดฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ไปสร้างโปรโตพลาสซึม เมื่อพืชตายหรือถูกกินโดยสัตว์ในห่วงโซ่อาหารและสัตว์ตายลง ฟอสเฟตก็จะกลับสู่ดินเข้าสู่วัฏจักรเช่นเดิม ในการปลดปล่อยฟอสเฟตจากหินและแร่แม้ว่าจะเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ปริมาณของธาตุนี้ส่วนใหญ่ก็ถูกน้ำพัดพาไปสู่ทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำอื่นๆ และตกตะกอนอยู่ในแหล่งน้ำนั้นมากมาย เกือบของฟอสเฟตบางส่วนจะตกตะกอนในที่ตื้นๆ และบางส่วนก็ลงสู่ทะเลลึก แล้วกลับขึ้นมาบนบกได้ในรูปมูลนกทะเลหรือปลาทะเล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่กลับเข้าสู่วัฏจักรแล้วพบว่าไม่สมดุลกับส่วนที่เสียไปโดยจะพบว่า พืชบกจะได้รับปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเรื่อยๆ นอกจากนี้มนุษย์ยังมีส่วนช่วยเร่งการสูญเสียฟอสฟอรัส โดยการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการชะล้าง และพังทลายสูง การใส่ปุ๋ยที่ละลายน้ำง่ายในไร่และนา ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลเพิ่มขึ้น (Odum, 1971) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วัฏจักรฟอสฟอรัส

ที่มา: ธงชัย (2545)

#### 4.2 ฟอสฟอรัสในสิ่งแวดล้อม

ฟอสฟอรัสเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้จากกิจกรรมต่างๆที่มนุษย์กระทำขึ้นกล่าวคือ

การเกษตรกรรม เนื่องจากเกษตรกรรมนิยมปุ๋ยที่มีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้นี้มีทั้งประเภทปุ๋ยเคมี และปุ๋ยธรรมชาติ และจากมูลสัตว์ต่างๆ ดังนั้นพื้นที่ที่ใช้ปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างสูงกว่าบริเวณอื่นและฟอสฟอรัสจากแหล่งเกษตรกรรมดังกล่าวอาจถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำต่อไป สำหรับประเทศไทยอัตราการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรรมมีปริมาณน้อยมากจากการสำรวจคุณภาพน้ำโดยทั่วไปของกรมควบคุมพิษ และภาควิชาอนุรักษวิทยาในอดีตที่ผ่านมาจะพบการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในปริมาณที่น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุการปนเปื้อนฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอาจมีแนวโน้มดังนี้

น้ำทิ้งจากระบบชลประทาน น้ำที่ใช้ในกิจกรรมทางการเกษตรจะไหลผ่านผิวดินแล้วชะล้างสารต่างๆรวมทั้งฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะฟอสเฟตที่มีอยู่ใน

ปุ๋ยจะทำปฏิกิริยากับดินเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่บางส่วนจะซึมผ่านผิวดินแล้วชะล้างเอาสารต่างๆ ไหลลงสู่แหล่งน้ำ พบว่าฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินเหนียวจะถูกชะออกมาไม่เกินร้อยละ 5 เท่านั้น

การพังทลายของดิน (wild, 1964) ได้ศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้มาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยขาดหลักการอนุรักษ์จะเป็นสาเหตุให้ดินถูกการกัดเซาะพังทลายจากน้ำและลมได้ง่าย ภายใต้อากาศธรรมชาติที่ผิวน้ำดินปกคลุมด้วยพืชพรรณอย่างหนาแน่น ขบวนการพังทลายของดินโดยน้ำไหลบ่าหน้าดิน ย่อมจะเกิดได้ยากและช้ามาก แต่เมื่อพืชคลุมดินถูกรบกวนโอกาสที่จะเกิดการพังทลายของดินก็ง่ายขึ้น (นิพนธ์, 2526) ขบวนการพังทลายของดินเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ตะกอน และธาตุอาหารพืชถูกเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำ โดยดูดซับไปกับกิจกรรมที่พังทลาย (Cooke and Williams, 1975)

น้ำไหลบ่าหน้าดินและน้ำใต้ดิน ธาตุอาหารต่างๆจะถูกปะปนอยู่ในน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในรูปของสารละลาย หรือดูดซับมากับตะกอน (Wendt และ Corey, 1980) การสูญเสียธาตุอาหารในพื้นที่ว่างเปล่า จะมีการสูญเสียมากกว่าในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดิน ฟอสเฟตจะถูกดูดซับมากับตะกอนในน้ำไหลบ่าหน้าดินมากกว่าจะถูกชะล้างผ่านชั้นดินลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากฟอสเฟตเคลื่อนย้ายผ่านชั้นดินได้ยาก การใช้ปุ๋ยในการเกษตรกรรมเป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแก่น้ำผิวดินที่สำคัญ นอกจากนี้ น้ำที่ระบายจากกองปุ๋ยคอก สิ่งขับถ่ายจากสัตว์เลี้ยงของเสียที่เป็นอินทรีย์สารและกองอาหารสัตว์ จะให้ไนเตรทแก่แหล่งน้ำสูงด้วย (Armitage, 1974; Cooke and Williams, 1975; Keeney, 1970)

แหล่งน้ำเสียชุมชนที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพหลัก การระบายน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในแหล่งน้ำ และน้ำเสียจากเขตเมืองจะมีปริมาณฟอสเฟตมาก เนื่องจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ ผงซักฟอก น้ำจากการซักล้างการทำครัวและอื่นๆ

อุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปใช้น้ำในปริมาณมากน้อยต่างกันน้ำที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นที่ในโรงงานและน้ำทิ้งจากโรงงานจะเป็นน้ำเสียไหลลงสู่แม่น้ำ ลำคลองบางโรงงานอาจมีวัสดุเหลือจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภทปนไปกับน้ำทิ้งทั้งหมดนี้ เป็นเหตุให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่า สกปรกเหม็นมีสารพิษปะปนอยู่กลายเป็นมลภาวะที่เป็นพิษต่อ



สิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นน้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น การเทน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วลงน้ำตลอดจนการทำความสะอาดโรงงานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงแม่น้ำลำคลอง จะมีคราบน้ำมันลอยเป็นฝ้าทำให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถละลายลงไปในน้ำ มีผลทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำขาดออกซิเจนยิ่งกว่านั้นถ้ามีคราบน้ำมันคลุมผิวพื้นน้ำ แสงแดดส่องลงไปได้น้ำไม่ได้ทำให้พืชในน้ำบางชนิดไม่สามารถสร้างอาหารและเจริญเติบโตได้แล้วยังมีผลเสียต่อเนื่องทำให้สัตว์น้ำตายด้วยเพราะพิษเล็ก ๆ ในน้ำซึ่งเป็นอาหารของสัตว์ตายเพราะน้ำเสีย

#### 4.2.1 ฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นจากการใช้ผงซักฟอกในครัวเรือน ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่พบในน้ำเสียชุมชนไทยมีค่าอยู่ในช่วง 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้หมด น้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียจึงเติมปริมาณฟอสฟอรัสให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติตลอดเวลาโดยในน้ำเสียส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต เป็นรูปที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ส่วนโพลีฟอสเฟตต้องเกิดการไฮโดรไลซิสและเปลี่ยนรูปเป็นออร์โธฟอสเฟตก่อนจึงจะถูกจุลินทรีย์ นำไปใช้ประโยชน์ได้

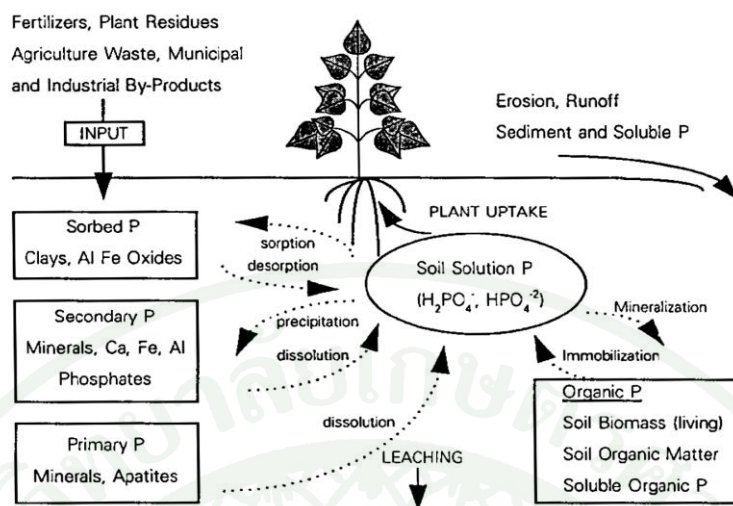
#### 4.2.2 ฟอสฟอรัสในตะกอนดิน

ฟอสเฟตในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนหรือดินเลน ก้นบ่อ กล่าวคือ ปริมาณฟอสเฟตในน้ำและในดินเลนมีสมดุลกัน ถ้าฟอสเฟตในน้ำถูกพืชดึงไปใช้ประโยชน์ ทำให้น้ำมีปริมาณฟอสเฟตลดลงและเสียสมดุล ดินเลนจะปล่อยฟอสเฟตให้กับน้ำเพื่อรักษาสมดุลไว้ ด้วยเหตุนี้ จึงเห็นได้ว่าปริมาณฟอสเฟตในดินเลนที่ก้นบ่อก็มีความสำคัญไม่น้อยกว่าฟอสเฟตที่อยู่ในน้ำ ฟอสเฟตที่อยู่ในดินเลนมักพบอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็กฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟตและแคลเซียมฟอสเฟต โดยปกติถ้าก้นบ่ออยู่ในสภาวะแอโรบิก สารประกอบฟอสเฟตต่างๆ ละลายน้ำได้น้อยแต่ถ้าเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนที่ก้นบ่อ ฟอสเฟตจำนวนมากจะถูกปล่อยให้กับน้ำ ซึ่งพืชอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในบางสถานการณ์ฟอสเฟตจากดินเลนมีความสำคัญในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่ได้มีการเติมปุ๋ย เพราะเป็นตัวควบคุมความสมบูรณ์ของ ฟิโต



แพลงก์ตอนซึ่งเป็นอาหารปลา บ่อปลาที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงอยู่ในดินเลน ย่อมให้ผลผลิตได้ดีกว่า บ่อปลาซึ่งดินเลนก้นบ่อมีปริมาณฟอสเฟตต่ำ ถ้ามีการเติมปุ๋ยให้กับปลา ดินเลนก้นบ่อจะทำหน้าที่เก็บสะสมฟอสเฟตไว้เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ฟอสเฟตสะสมตัวมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดสมดุลในการคายฟอสเฟตให้กับน้ำ

วงจรฟอสฟอรัสในดินเป็นสมดุลพลวัตที่อยู่ในดิน โดยพืชและจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงสะสมในส่วนของพืชและหมุนเวียนกลับไปยังพืชและสัตว์โดยการ mineralization และ immobilization ส่วนที่ถูกตรึงโดยอนุภาคดินเหนียวและออกไซด์ของธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมจะสลายตัวออกมาเป็นประโยชน์ในดินโดยการกระทำของจุลินทรีย์ ดังภาพที่ 5 ฟอสฟอรัสในดินทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ พืชสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ได้เมื่ออยู่ในรูปของไอออนและส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์โดยอยู่ในรูปหิน แร่ และแหล่งสะสมอื่นๆ (ยงยุทธ และ สุรเดช, 2521) ในสภาพดินที่เป็นกรดฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งปริมาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด – ด่างของสารละลายในดินและธาตุนี้จะยึดเกาะอยู่กับตะกอนดิน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินจึงมีค่าต่ำมากอยู่เสมอ เช่น ประมาณ 10-15 ppm. ดินที่ขาดฟอสฟอรัสมักจะมีค่าต่ำกว่า 10 ppm. เป็นต้น (สุกมาศ, 2539)



ภาพที่ 5 วงจรฟอสฟอรัสในดิน

ที่มา: วรกาย (2541)

#### 4.3 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

การเกิดภาวะน้ำเสียหรือมลพิษทางน้ำเป็นเหตุสำคัญประการหนึ่ง ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบหรือความเสียหายต่อทรัพยากรและคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารของพืชและเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลต่างๆ ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตนอกจากนี้ยังทำหน้าที่พื้นฐานในกลไกการสังเคราะห์แสงด้วย ย่อมส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมดังนี้

สิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยให้พืชน้ำเติบโตได้ดี ซึ่งพืชน้ำเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตอินทรีย์สารอันดับแรก ของวงจรอาหาร แต่เมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชบางชนิดจะเพิ่มขึ้นที่สำคัญคือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และวัชพืชน้ำ ทำให้แพลงก์ตอนพืชกลุ่มหลักบางกลุ่มที่เคยมีอยู่ในแหล่งน้ำนั้นหายไป ชนิดของพืชในแหล่งน้ำจะลดลง ทำให้สารอาหารของสัตว์กินพืชลดประเภทและปริมาณลงด้วยอาจจะพบปัญหาการบูมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ สาหร่ายกลุ่มนี้โดยเฉพาะพวกไมโครซิสติส (Microcystis) สามารถเจริญเติบโตในแหล่งน้ำได้ตลอดทั้งปี ยิ่งไปกว่านั้นถ้าใน

แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ และฟอสฟอรัสที่สูงก็จะช่วยให้ไมโครซิสติสุมมากยิ่งขึ้น และจะไปลดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนอื่นๆ จากการศึกษาพบว่า ในบ่อน้ำหรือแหล่งน้ำที่มี ออร์โธฟอสเฟตที่ความเข้มข้นเพียง 0.23 ppm. ก็สามารถทำให้เกิดการบูมของไมโครซิสติสได้แล้ว (Zohary,1987) เป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หากเกิดรุนแรง น้ำจะเกิดการเน่าเหม็น โดยมีฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยหลักและไนโตรเจนเป็นปัจจัยรอง มีรายงานว่า ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตต่ำถึง 0.005-0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถทำให้เกิด ยูโทรฟิเคชัน ได้ แหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.05-0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่าถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มี โอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันได้

ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีปริมาณ ธาตุอาหาร อันได้แก่ สารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจน อาหารเสริมเหล่านี้เป็นธาตุจำเป็นใน การเจริญเติบโตสำหรับแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายอันเป็นแหล่งอาหารขั้นต้นของระบบห่วงโซ่ อาหาร ธาตุอาหารเหล่านี้จะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์แสงและการแพร่พันธุ์ของพืชสีเขียวในลำน้ำ ได้มาก ซึ่งนับว่าเป็นการดีเพราะเป็นการเพิ่มผลผลิตของลำน้ำนั้น กล่าวคือสาหร่ายหรือพืชสีเขียว เหล่านี้จะเป็นอาหารต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำอื่นๆอันนับได้ว่าเป็นผลดีเพราะเป็นการเพิ่มปริมาณ โปรตีนให้แก่ชุมชน อย่างไรก็ตามถ้าหากมีจำนวนที่มากเกินไปและรวมกับสารอินทรีย์แล้ว กิจกรรมในการเกิดผลผลิตของพืชสีเขียวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีธาตุอาหารมากเกินไป ในที่สุดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศน์ทางน้ำขึ้นลักษณะของการเกิดเช่นนี้เรียกว่า ยูโทร ฟิเคชัน ปกติการสังเคราะห์แสงนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในช่วงเวลากลางวัน ในเวลากลางคืนซึ่งไม่มี แสงหรือพลังงานจากดวงอาทิตย์ สาหร่ายและพืชสีเขียว จะเปลี่ยนจากการสังเคราะห์แสงซึ่งผลิต ออกซิเจนมาเป็นการหายใจ ซึ่งต้องการออกซิเจนและคายคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ดังนั้น ในช่วงเวลากลางวันทะเลสาบหรือแหล่งน้ำที่เกิดสภาพยูโทรฟิเคชันอาจมีปริมาณออกซิเจนละลาย สูงเกินกว่าขีดความเข้มข้นสูงสุดก็ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามจะมีระดับออกซิเจนละลายลดลงใน เวลากลางคืน การเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบที่ปราศจากการปนเปื้อนของมลพิษจะเกิดขึ้นอย่าง ช้าๆในธรรมชาติในทางตรงกันข้ามจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในทะเลหรือทะเลสาบที่ได้รับการ ปนเปื้อนสารอินทรีย์ ธาตุอาหารเป็นเหตุให้มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์บางชนิด หรือเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า กระแสน้ำแดง (Red Tide) ในทะเลและทะเลสาบที่มองเห็นได้อย่าง ชัดเจนกระแสน้ำแดงนี้เกิดจากการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของแพลงก์ตอนบางชนิดขึ้นมาอย่าง รวดเร็วมาก และทำให้น้ำมีสีเปลี่ยนไปด้วย

มีปัจจัยหลายชนิดทั้งทางด้านกายภาพและทางเคมีที่ใช้เป็นเกณฑ์ที่บ่งบอกถึง การเกิดยูโทรฟิเคชัน ซึ่งได้แก่ สีของน้ำ ความขุ่น ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าออกซิเจนละลาย ความ เข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คลอโรฟิลล์ ค่าไนโตรเจนรวม ค่าฟอสฟอรัสรวม และปริมาณ ของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีอยู่

ฟอสฟอรัส เป็นสารอาหารตัวหนึ่งที่ปริมาณความเข้มข้นของมันเป็นตัวจำกัด ความเจริญของสาหร่ายในทะเลสาบ พบว่าสาหร่ายใช้ฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต ได้โดย การดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายโดยตรง ส่วนฟอสฟอรัสในรูปอื่นสาหร่ายจะใช้ได้หลังจาก เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ด้วยเอนไซม์จำพวกฟอสฟาเทสที่สาหร่ายผลิตเองหรือแบคทีเรียต่างๆ เอนไซม์นี้จะอยู่ที่ผนังเซลล์ของสาหร่าย แต่อาจพบภายนอกเซลล์ก็ได้ ในพวกไดอะตอมบางชนิด ในทะเล โดยธรรมชาติแบคทีเรียกับสาหร่ายจะแย่งชิงอาหารกัน รวมทั้งฟอสฟอรัสด้วย ถึงแม้ว่า แบคทีเรียจะมีประสิทธิภาพในการแย่งชิงมากกว่า แต่แบคทีเรียมีช่วงชีวิตสั้นเมื่อแบคทีเรียตายลงจะ ปล่อยฟอสฟอรัสออกมาให้สาหร่ายอีก (สิทธิชัย, 2549)

สาหร่ายที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นนั้นเมื่อตายลงจะเป็นตะกอนจมลงสู่เบื้องล่างและจะ เกิดการย่อยสลายโดยกระบวนการเติมออกซิเจน ในตะกอนนั้นทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำที่ระดับ ความลึกต่างๆกันถูกใช้ไป ปลายน้ำลึกหลายชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณค่อนข้างมาก จะถูก แทนที่ด้วยปลายน้ำลึกชนิดอื่นที่ต้องการออกซิเจนน้อยมาก ผลลัพธ์คือทำให้ห่วงโซ่อาหารสั้นลง และถ้าขาดออกซิเจนมากก็จะเกิดจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic micro-organisms) ใน กระบวนการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลเสียต่อคุณภาพน้ำ

ผลกระทบต่อการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำ ดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ คือ แม่น้ำ ลำคลอง เมื่อเกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นในแหล่งน้ำนั้น จะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา เพื่อการบริโภคและค่าใช้จ่ายเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆจะต้องเพิ่มสูงขึ้น (วรรณิกา , 2532)

ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข พิชิต (2531) อธิบายว่า น้ำโสโครกหรือน้ำเสียอาจ ทำให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อ โรคและแมลง เนื่องจากอาจมีเชื้อ โรคปนเปื้อนติดตามมาแล้วเจริญ



พันธุ์เพิ่มจำนวนมากขึ้นโดยอาศัยสารอาหารจากอินทรีย์สารในน้ำเสีย และเมื่อมีการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำ โอกาสที่เชื้อโรคจะแพร่กระจายก็จะมีมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การรวบรวมและกำจัดน้ำเสียไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ก็จะก่อให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและแมลงรบกวนได้อีกด้วย

ก่อให้เกิดเหตุรำคาญ เหตุรำคาญที่เกิดขึ้นที่สำคัญ คือ กลิ่นเหม็น ทั้งที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียโดยตรงและที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำเสียรวมทั้งกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ โดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีเหตุรำคาญเนื่องจากการท่วมขังของน้ำเสีย ที่มีผลกระทบต่ออาคารอาศัยและการสัญจรไปมา รวมทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงและแมลงรบกวนที่จะก่อให้เกิดเหตุรำคาญตามมาในภายหลัง (พิชิต, 2531)

ผลกระทบต่อความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ เป็นผลกระทบทางอ้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแหล่งรองรับน้ำเสีย แม้ว่าการพักผ่อนหย่อนใจบางประการอาจไม่ต้องการน้ำที่สะอาดดีเลิศ แต่ก็ต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสม (เกษม, 2530) การระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ นั้น เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำลายความสะอาดหรือความสวยงามตามธรรมชาติของแหล่งน้ำ ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือทำให้ได้รับความรังเกียจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสีที่แสดงถึงความสกปรกหรือมีกลิ่นเหม็น เช่น คลองสายต่างๆ ในกรุงเทพมหานคร เป็นต้น

ผลกระทบทางเศรษฐกิจ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชนนั้นจำเป็นต้องได้รับการควบคุมดูแลหรือการบำบัดให้มีคุณภาพที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งรองรับน้ำต่างๆ ซึ่งการควบคุมดูแลหรือการบำบัดนั้น จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน จึงถือว่าเป็นการสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจประการหนึ่ง

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส

สุรพล (2535) กล่าวว่าปกติคนจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของ BOD ประมาณ 60 กรัมต่อวัน และฟอสฟอรัส 2 กรัมต่อวัน ถ้าคนทิ้งน้ำเสียออกมา 300 ลิตรต่อคนต่อวัน จะมีความเข้มข้นของ BOD เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 7 มิลลิกรัม



ต่อลิตร แต่พบว่าในปัจจุบันฟอสฟอรัสมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากการใช้ผงซักฟอกสังเคราะห์ โดยร้อยละ 60 ของฟอสฟอรัสเกิดจากผงซักฟอก และร้อยละ 40 เกิดจากการขับถ่ายทิ้งของคน

Herman (1986) ได้ศึกษารวบรวมการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการตกตะกอนเคมี พบว่า กระบวนการตกตะกอนนอกจากจะเป็นการทำลายประจุของอนุภาคในน้ำแล้ว ยังสามารถกำจัดฟอสเฟตได้พร้อมกันด้วย และสิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อให้ได้สภาวะของกระบวนการโคแอกกูเลชันที่เหมาะสม คือ ลักษณะน้ำเสีย ชนิดของสารสร้างตะกอน และระดับความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนที่ใช้ และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันสามารถทำได้ด้วยวิธีการทำจาร์เทสต์

Hultman (1993) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนพร้อมกันในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการทดลองใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามด้วยการกรองแบบไหลย้อนขึ้น พบว่าสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียให้เหลือต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

Jone (1972) กล่าวถึงปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ว่าเกิดจากแหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารพืชมากเกินไป โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พืชน้ำจึงเจริญได้อย่างมากมาย และเมื่อพืชน้ำตายและเน่าเปื่อยลงทำให้เกิดการย่อยสลายจากพวกแบคทีเรีย ทำให้น้ำขาดออกซิเจน มีกลิ่นเหม็น ไม่สามารถนำมาใช้ได้ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในน้ำ ถ้าเกิดยูโทรฟิเคชันลักษณะรุนแรง ออกซิเจนไม่เพียงพอ พืชน้ำและสัตว์น้ำตายทับถมกันมากขึ้น แหล่งน้ำจะตื้นเขินและกลายเป็นพื้นดินในที่สุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 1.2 เครื่องย่อย (digest)
- 1.3 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย DO-Meter, pH-Meter
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น WB-0250003 บริษัท KERN & Sohn Gmbh
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น PB-1501 บริษัท Mettler Toledo
- 1.5 Hot plate

#### 2. สารเคมี

##### สารที่ใช้วิเคราะห์

- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate ,  $KH_2PO_4$ )
- ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein,  $C_{20}H_{14}O_4$ )
- เอธิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol,  $C_2H_5OH$ )
- สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, conc.  $H_2SO_4$  98% w/w)
- แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate,  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot H_2O$  4% w/v)
- แอนติโมนีโปตัสเซียมตาร์เตรท (Antimony potassium tartate,  $KSbO \cdot C_4H_4O_6$  0.1% w/v)
- กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid,  $C_6H_8O_6$  0.5% w/v)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- สารละลายกรดไนตริก (Nitric acid,  $HNO_3$ )
- แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride,  $NH_4F$ )
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCL 37% w/v)
- กรดบอริก (Boric acid,  $H_3BO_3$  5% w/v)

## วิธีการ

### 1. การเตรียมสารละลาย

#### 1.1 สารละลายที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง

##### 1.1.1 สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินอินดิเคเตอร์

ชั่งฟีนอล์ฟทาเลอิน 0.5 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ 50.0 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1,000.0 มิลลิลิตร

##### 1.1.2 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 N

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 70.0 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

##### 1.1.3 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 4% w/v

ชั่งสารแอมโมเนียมโมลิบเดต 10.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250.0 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดพลาสติกที่ 4 องศาเซลเซียส

##### 1.1.4 สารละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมตาร์เตรท 0.1% w/v

ชั่งสารแอนติโมนีโปตัสเซียมตาร์เตรท 1.3715 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 200.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500.0 มิลลิลิตร

##### 1.1.5 สารละลายแอสคอร์บิก 0.1 M

ชั่งสารกรดแอสคอร์บิก 1.76 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100.0 มิลลิลิตร

#### 1.1.6 น้ำยารวม (combined reagent)

ผสมสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 N 50.0 มิลลิลิตร กับสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 15.0 มิลลิลิตร และสารละลายแอนติโมนิโปตัสเซียมตาร์เตรท จากข้อ 1.1.4 5.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมสารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.1 M จากข้อ 1.1.5 30.0 มิลลิลิตร น้ำยารวมที่ได้มีสีเหลืองอ่อน (สารนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้เพราะห)

#### 1.1.7 สารละลายมาตรฐานสต็อกออร์โธฟอสเฟต 100.00 ppm.

ชั่งสารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1098 กรัม โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

#### 1.1.8 สารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต 10.00 ppm.

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต็อกฟอสเฟต จากข้อ 1.1.7 10.0 มิลลิลิตร ลงขวดปรับปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร

#### 1.1.9 สารละลายกรดแก่

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริก 98% w/w 300.0 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 600.0 มิลลิลิตรอย่างช้าๆ ทั้งไว้ให้เย็น เติมสารละลายกรดไนตริก 4.0 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### 1.1.10 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

ซึ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 24.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100.0 มิลลิลิตร

## 1.2 สารละลายที่ใช้วิเคราะห์ตะกอนดิน

### 1.2.1 น้ำยาสกัดเบรย์ทู (Bray II : 0.10 M HCL + 0.03 M $\text{NH}_4\text{F}$ )

ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 1.1112 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออนประมาณ 500.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 37% w/w 8.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

### 1.2.2 น้ำยาทำให้เกิดสี (Color reagent)

#### 1.2.2.1 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบดีต 4% w/v

ซึ่งสารแอมโมเนียมโมลิบดีต 15.0 กรัม ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน 250.0 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟิวริก 140.0 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

#### 1.2.2.2 สารละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมตาร์เตรท 0.1% w/v

ซึ่งสารแอนติโมนีโปตัสเซียมตาร์เตรท 0.5 กรัม ละลายในน้ำ 400.0 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร

#### 1.2.2.3 สารละลายกรดบอริก 5% w/v

ซึ่งกรดบอริก 25.0 กรัม แล้วละลายในน้ำร้อนประมาณ 450.0 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับปริมาตรเป็น 500.0 มิลลิลิตร



#### 1.2.2.4 น้ำยาทำให้เกิดสี

ผสมสารละลายในข้อ 1.2.2.1 , ข้อ 1.2.2.2 , ข้อ 1.2.2.3 และน้ำที่ปราศจากไอออน ในอัตราส่วน 1:1:3:10 โดยปริมาตร ให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการใช้

#### 1.2.3 สารละลายแอสคอร์บิก 0.5% w/v

ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.05 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100.0 มิลลิลิตร สารละลายนี้ไม่ควรเก็บไว้เกิน 2 วัน

### 2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

#### 2.1. การเตรียมกราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

2.1.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต เข้มข้น 10.00 ppm ปริมาตรแต่ละขวด 0.5, 1.5, 2.5, 5.0, 7.0 และ 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.1.2 ปิเปตสารที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 แต่ละความเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละขวดเติมน้ำยารวมจากข้อ 1.1.6 8.0 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่ควรเกิน 30 นาที

2.1.3 นำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตในหน่วยมิลลิกรัมของฟอสฟอรัสต่อลิตรของสารละลาย

## 2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานโพสิฟอสเฟตสำหรับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

2.2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 ppm. จากข้อ 1.1.8 ปริมาตร 2.5, 5.0 , 7.5 , 10.0 , 12.5 และ 15.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละใบ เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตรได้สารละลายมาตรฐานโพสิฟอสเฟตเข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.2.2 ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 2.2.1 แต่ละความเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร แต่ละใบหยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด ถ้าได้สีชมพูอ่อนๆ เติมกรดแก่ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.9 จนสีนั้นจางหายไปและเติมกรดแก่มากเกินไป 1.0 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มให้เดือดอ่อนๆ อย่างน้อย 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.10 เพื่อปรับให้เป็นกลางจะได้สีชมพูอ่อน เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร

2.2.3 ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตตามวิธีข้อ 2.1

## 2.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานอินทรีย์ฟอสฟอรัสสำหรับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

2.3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 ppm. จากข้อ 1.1.8 ปริมาตร 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานอินทรีย์ฟอสฟอรัสเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.3.2 ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1 แต่ละความเข้มข้น 20.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดเจลาห์ลเพื่อนำไปย่อย เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก 98% w/w 1.0 มิลลิลิตร และสารละลายกรดไนตริก 5.0 มิลลิลิตร นำไปย่อย ประมาณ 20-25 นาที จนมีปริมาตรเหลือประมาณ 2.0-5.0 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 20.0 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยดแล้วสะเทินให้ถึงจุดยุติด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.10 จะได้สีชมพูอ่อน เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร

2.3.3. ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ออร์โธฟอสเฟตตามวิธีข้อ 2.1

## 2.4 การเตรียมกราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์ตะกอนดิน

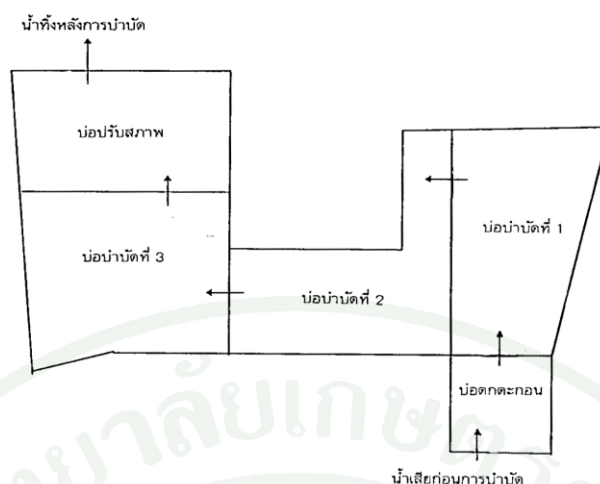
2.4.1 ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มา 4.3937 กรัม ละลายในน้ำ และปรับปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร ในขวดปรับปริมาตร (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปิเปตสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปริมาตร 0.0, 5.0, 15.0, 25.0, 40.0 และ 60.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำยาเบรย์ทจนถึงขีดปรับปริมาตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.0, 1.0, 3.0, 5.0, 8.0 และ 12.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.4.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำยาทำให้เกิดสีที่เตรียมได้จากข้อ 1.2.2 และสารละลายกรด แอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 1.2.3 อย่างละ 1.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.0 มิลลิลิตร เขย่าและปล่อยให้ เกิดปฏิกิริยาประมาณ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร นำค่า การดูดกลืนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต ในหน่วยมิลลิกรัมของฟอสฟอรัสต่อลิตรของสารละลาย

## 3. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

### 3.1 การเลือกพื้นที่วิจัย

ในการศึกษาการบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียรใน น้ำตามระดับความลึกต่างๆและตะกอนดิน ได้ทำการเลือกพื้นที่ศึกษา คือ บ่อปรับเสถียรของ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี เพราะเป็นระบบบำบัดที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยมีลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียดังภาพที่ 6



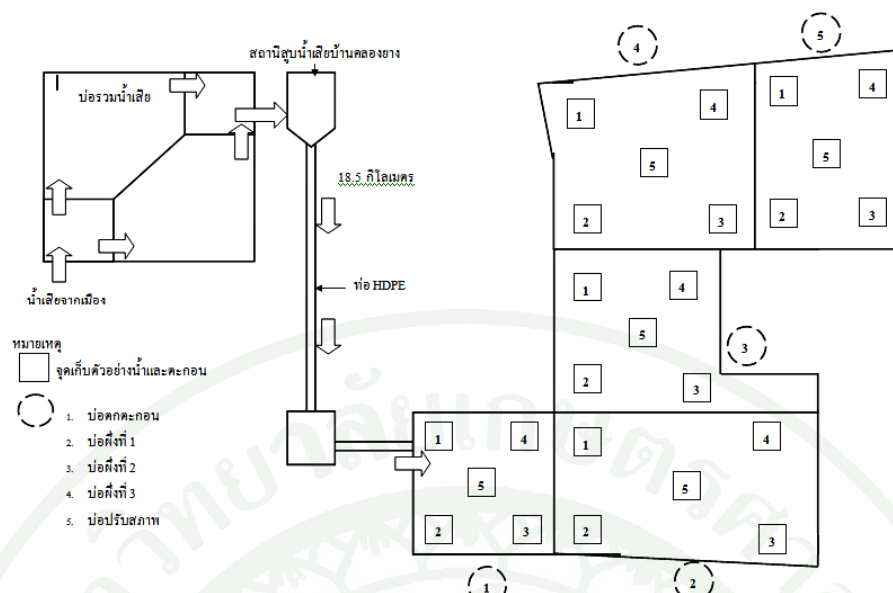
ภาพที่ 6 ลักษณะบ่อน้ำบาดน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี

ที่มา: บรรจง และ อเนก (2537)

### 3.2 การเก็บตัวอย่าง เตรียมน้ำตัวอย่างและตะกอนดิน

การเก็บน้ำตัวอย่างและตะกอนดินในบ่อน้ำบาดของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ทำการเก็บตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงฤดู คือ ฤดูฝน (เดือนสิงหาคม กันยายน และพฤศจิกายน 2556) และฤดูแล้ง (เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม 2557) โดยเก็บช่วงฤดูละ 3 ครั้ง

การเก็บน้ำตัวอย่างใช้ขวดโพลีเอทิลีนขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่าง 3 ระดับ คือ ระดับผิวน้ำ (Surface) ระดับกลางน้ำ (Middle) และระดับพื้นท้องน้ำ (Bottom) และการเก็บตัวอย่างตะกอนดินจะเก็บใส่ถุงซิปล็อค โดยทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละบ่อ 5 จุด จุดละ 1 ตัวอย่าง แล้วนำมาผสมรวมกันเป็นตัวอย่างเดียว แสดงจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 7 แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 7 ผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินของบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชน

### 3.3 การวัดค่าดัชนีพื้นฐาน

วัดปริมาณค่าดัชนีพื้นฐานนี้ทำการวัดในภาคสนามที่เก็บตัวอย่างทุกครั้ง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวัดได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม การนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และออกซิเจนละลาย และพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในห้องปฏิบัติการได้แก่ บีโอดีและซีโอดี

### 3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง

ในการศึกษาครั้งนี้ วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้ง 3 รูป ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ดี อีกทั้งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (APHA, AWWA and WEF, 1995)

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง

เปิดน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มา 10.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้หยดสารละลายกรดซัลฟิวริก 5 N ลงไปที่ละหยด จนกระทั่งสีแดงหายไป เติมน้ำยารวมที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.6 8.0 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร



แล้วเขย่าให้เข้ากัน เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร แล้วนำผลที่ได้ไปเทียบหาความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟตจากกราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 2.1

#### 3.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟอสเฟตหรือคอนเดนส์ฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 1 หยด ถ้าเกิดสีชมพูขึ้นให้เติม สารละลายกรดแก่ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.9 ลงไปที่ละหยดจนกระทั่งสีชมพูนั้นหายไป เติมสารละลายกรดแก่ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.9 ลงไปอีก 1 มิลลิลิตร แล้วนำมาต้มให้เดือดพอประมาณอย่างน้อย 90 นาที โดยทำการเติมน้ำกลั่นลงไปเรื่อยๆ เพื่อรักษาให้น้ำมีปริมาตรใกล้เคียงเท่าเดิม เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับสารละลายที่ได้ให้เป็นกลาง โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.10 จนกระทั่งได้สีชมพู เทสารละลายที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร นำสารละลายที่ได้ไปหาปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่อไป ตามวิธีการข้อ 3.4.1 และคำนวณหาปริมาณโพลีฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณโพลีฟอสเฟต} = \text{ปริมาณอินทรีย์ฟอสเฟต} - \text{ปริมาณออร์โธฟอสเฟต}$$

#### 3.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง

ย่อยตัวอย่างโดยใช้ระบบกรด Sulfuric-Nitric acid Digestion.

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ลงในขวด Kjeldahl ขนาด 100 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 8 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 N. 1 มิลลิลิตร และสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องย่อยสลาย จนกระทั่งเหลือปริมาตรประมาณ 2-5 มิลลิลิตร และได้สารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 N ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1.10 ลงไปที่ละหยดจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพู เทสารละลายที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร นำสารละลายที่ได้ไปหาปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่อไป ตามวิธีการข้อ 3.4.1

จะได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphates, TP) และคำนวณหาปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่างได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส} = \text{ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด} - \text{ปริมาณอนินทรีย์ฟอสเฟต}$$



ภาพที่ 8 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก ด้วยเครื่องย่อย

### 3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน

#### การวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดิน

3.5.1 ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ เติมน้ำยาสกัดเบรย์ทู่ 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยมือ 1 นาที (Bray และ Kurtz, 1945) นำสารละลายที่ได้ กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 เก็บสารที่กรองได้ไว้วิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟต

3.5.2 ปิเปตสารที่สกัดได้จากดินในข้อ 3.5.1 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำยาทำให้เกิดสี ที่เตรียมได้จากข้อ 1.2.2 และสารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v ที่เตรียมได้จากข้อ 1.2.3 ลงไปอย่างละ 1 มิลลิลิตร จะเกิดสารสีน้ำเงิน เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร เขย่าและปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาใช้เวลาประมาณ 30 นาที

3.5.3 นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร แล้วนำผลที่ได้ไปเทียบหาความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟตจากกราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตที่เตรียมได้จากข้อ 2.4

#### 4. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

#### 5. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 และสิ้นสุดการทดลองในเดือนเมษายน พ.ศ. 2556  
รวมระยะเวลาที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 12 เดือน

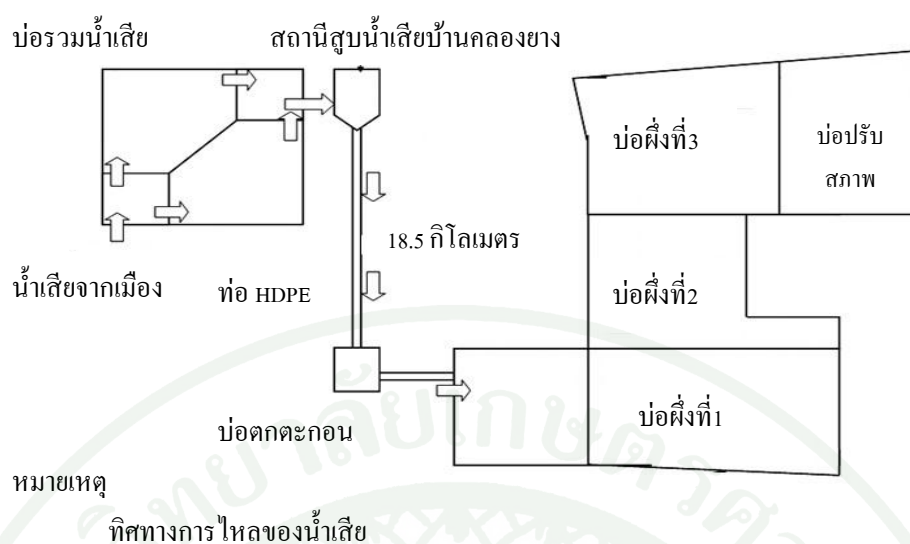
## ผลและวิจารณ์

การศึกษาการบำบัดฟอสฟอรัสทั้ง 4 รูปแบบ คือ ออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด ด้วยระบบบ่อปรับเสถียรที่ประกอบด้วยบ่อบำบัด 5 บ่อ คือ บ่อดกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัส คือ ระดับความลึกของจุดเก็บน้ำตัวอย่างในแต่ละบ่อ และฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

### 1. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

#### 1.1 การบำบัดน้ำเสีย

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจังหวัดเพชรบุรีเป็นบ่อแบบแฟคัลทีฟ (Facultative Pond) เป็นบ่อที่นิยมใช้กันมากที่สุด ภายในบ่อมีลักษณะการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศที่บริเวณผิวน้ำ และจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนแอโรบิก โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นในบ่อแฟคัลทีฟ เรียกว่า การทำความสะอาดตัวเอง (Self-Purification) โดยออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเป็นบ่อย่อย 5 บ่อ ซึ่งต่อกันแบบอนุกรม ประกอบด้วย บ่อดกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ แสดงดังภาพที่ 9 รวมพื้นที่ 95 ไร่ มีรายละเอียดเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 9 สามารถบำบัดน้ำเสียได้สูงสุดวันละ 10,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีทิศทางการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสียดังภาพที่ 10



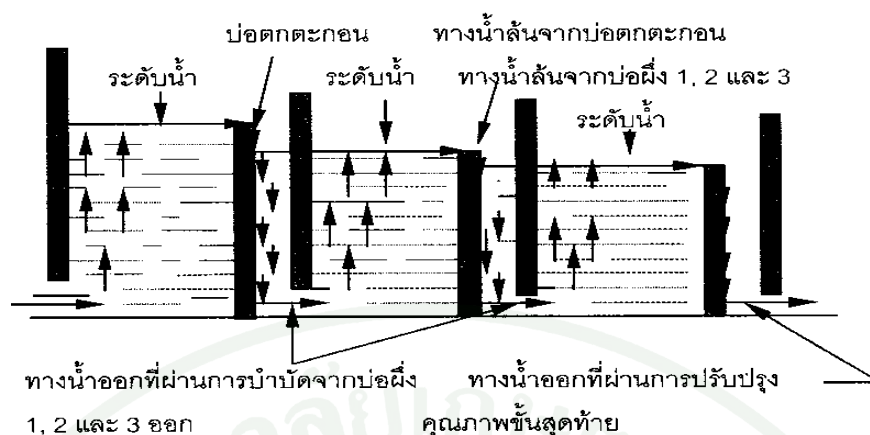
ภาพที่ 9 ลักษณะบ่อบำบัดและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 9 ลักษณะบ่อบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน

| บ่อบำบัด       | ลักษณะ                        | พื้นที่<br>(ตารางเมตร) | ความลึก<br>(เมตร) | ปริมาตรความจุ<br>(ลูกบาศก์เมตร) |
|----------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1. บ่อดกตะกอน  | สีเหลี่ยมจัตุรัส              | 10,217.0               | 1.919             | 19,606.42                       |
| 2. บ่อฝังที่ 1 | คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า         | 30,408.0               | 1.479             | 44,973.43                       |
| 3. บ่อฝังที่ 2 | คล้ายรูปตัว L                 | 34,898.0               | 1.420             | 49,555.16                       |
| 4. บ่อฝังที่ 3 | คล้ายรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า | 35,424.0               | 1.353             | 47,928.67                       |
| 5. บ่อปรับสภาพ | คล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู         | 43,131.5               | 1.228             | 52,965.48                       |
| รวม            |                               | 154,150.50             | -                 | 215,029.17                      |

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543)





ภาพที่ 10 ลักษณะการไหลของน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2543)

## 1.2 การทำงานของบ่อบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะของการบำบัดน้ำเสียของบ่อบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

### 1.2.1 บ่อตกตะกอน

บ่อตกตะกอน ทำหน้าที่กรองและทำให้ตกตะกอนโดยอาศัยหลักการบำบัดทางกายภาพด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำหน้าที่ในการตกตะกอนหนักจำพวกดิน ทราย ที่ปนมากับน้ำเสีย ซึ่งออกแบบบ่อมาให้มีความลึกประมาณ 2 เมตร เพื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บกักและเกิดตกตะกอนก่อนน้ำเสียส่วนใสจะไหลเข้าสู่บ่อฝั้งต่อไป

### 1.2.2 บ่อฝั้ง

บ่อฝั้ง ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ มีการออกแบบให้ลึกประมาณ 1.5 เมตร ทำให้แก๊สออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถถ่ายเทได้ทั่วบ่อ เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกต่ำๆ ส่วนใหญ่จะใช้บำบัดน้ำเสียต่อจากกระบวนการบำบัดอื่นๆ เพื่อลดความสกปรกให้ต่ำลง ก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากบ่อฝั้งมีความลึกไม่มากทำให้แสงแดดสามารถส่องถึงก้นบ่อจึงส่งผลให้สาหร่ายสีเขียวสามารถสังเคราะห์แสงได้เป็นอย่างดีจากปฏิกิริยา

การสังเคราะห์แสงของสาหร่าย จะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์ได้อาศัยออกซิเจนดังกล่าว ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งได้สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง อันเป็นลักษณะที่พึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

### 1.2.3 บ่อปรับสภาพ

บ่อปรับสภาพ ทำหน้าที่ปรับสภาพน้ำที่บำบัดแล้วโดยยังคงอาศัยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพและออกแบบให้มีความลึกประมาณ 1.2 เมตร เนื่องจากต้องการให้แสงแดดส่องได้ทั่วถึง เพื่อที่จะเร่งให้เกิดการเติมออกซิเจนให้แก่ น้ำด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กและแพลงก์ตอนพืช

### 1.3 ข้อจำกัดของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย

ด้านรูปร่างและความลึกของบ่อบำบัดน้ำเสีย ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ถูกออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ว่างของพื้นที่เดิม โดยไม่มีการไถหรือเปิดพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มเติม ดังนั้นลักษณะรูปร่างของบ่อ จึงแปรไปตามการใช้ที่ดินเดิมในขณะริเริ่ม และมีการสำรวจพื้นที่ในตอนแรก ด้านความลึกของบ่อบำบัดน้ำเสีย นับแต่เริ่มมีการดำเนินการบำบัดน้ำเสียตามระบบในเดือนพฤษภาคม 2537 พบว่า โครงสร้างบางส่วนเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสาเหตุจากการเกิดตะกอนสะสมในบ่อบำบัด รวมไปถึงปัจจัยสภาพดินพื้นล่างเป็นดินเลน ทำให้ทรุดตัวง่าย อาคารน้ำล้นทรุดตัว และระบบท่อหัก ซึ่งมีผลถึงระดับความลึกของบ่อบำบัดน้ำเสีย

## 2. คุณภาพน้ำเบื้องต้น

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบางประการในบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียรในช่วง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน (เดือนสิงหาคม กันยายน และพฤศจิกายน 2556) และฤดูแล้ง (เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม 2557) ได้ผลดังตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้นในระบบบ่อบำบัดช่วงฤดูฝน

| บ่อ            | ดัชนีคุณภาพน้ำ |          |         |        |           |        |        |        |
|----------------|----------------|----------|---------|--------|-----------|--------|--------|--------|
|                | T              | Salinity | EC      | TDS    | pH        | DO     | BOD    | COD    |
|                | (°C)           | (ppt)    | (µs/cm) | (mg/l) |           | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| 1.บ่อตกตะกอน   | 30.80          | 0.30     | 798.30  | 534.80 | 7.60      | 7.00   | 17.00  | 98.00  |
| 2.บ่อผึ่งที่ 1 | 30.60          | 0.30     | 762.80  | 511.50 | 8.30      | 7.80   | 16.90  | 71.00  |
| 3.บ่อผึ่งที่ 2 | 30.30          | 0.30     | 808.50  | 541.60 | 8.70      | 8.20   | 15.90  | 52.00  |
| 4.บ่อผึ่งที่ 3 | 30.10          | 0.40     | 867.30  | 581.00 | 8.90      | 8.80   | 12.00  | 52.00  |
| 5.บ่อปรับสภาพ  | 31.10          | 0.50     | 1082.50 | 726.00 | 9.10      | 8.40   | 11.40  | 47.00  |
| เกณฑ์มาตรฐาน   | 40.00          | -        | -       | -      | 5.00-9.00 | 6.00   | 20.00  | -      |

ตารางที่ 11 ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้นในระบบบ่อบำบัดช่วงฤดูแล้ง

| บ่อ            | ดัชนีคุณภาพน้ำ |                   |               |               |           |              |               |               |
|----------------|----------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|--------------|---------------|---------------|
|                | T<br>(°C)      | Salinity<br>(ppt) | EC<br>(µs/cm) | TDS<br>(mg/l) | pH        | DO<br>(mg/l) | BOD<br>(mg/l) | COD<br>(mg/l) |
| 1.บ่อตกตะกอน   | 31.30          | 0.30              | 665.60        | 451.50        | 7.50      | 8.10         | 34.10         | 93.00         |
| 2.บ่อผึ่งที่ 1 | 30.90          | 0.30              | 654.90        | 456.20        | 7.60      | 9.10         | 33.60         | 74.00         |
| 3.บ่อผึ่งที่ 2 | 30.70          | 0.30              | 745.80        | 499.60        | 8.80      | 9.80         | 32.50         | 58.00         |
| 4.บ่อผึ่งที่ 3 | 31.60          | 0.40              | 828.30        | 554.50        | 9.40      | 10.30        | 27.90         | 53.00         |
| 5.บ่อปรับสภาพ  | 31.80          | 0.40              | 940.20        | 642.30        | 9.40      | 10.00        | 19.40         | 50.00         |
| เกณฑ์มาตรฐาน   | 40.00          | -                 | -             | -             | 5.00-9.00 | 6.00         | 20.00         | -             |

## 1. คุณภาพน้ำทางกายภาพ

### 1.1 อุณหภูมิ

จากตารางที่ 10 และ 11 พบว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงฤดูฝน อุณหภูมิของน้ำจะมีค่าอยู่ในช่วง 30.10 – 31.10 องศาเซลเซียส และในช่วงฤดูแล้งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30.70 – 31.80 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดที่ 40 องศาเซลเซียส (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เพราะถ้ามีอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้จุลินทรีย์ไม่เกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย ถึงแม้ว่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกำหนดก็จะทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงเช่นกัน

### 1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อบำบัดในฤดูแล้งเท่ากับ 798.30, 762.80, 808.50, 867.30 และ 1082.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . และในฤดูฝนเท่ากับ 665.60, 654.90, 745.80, 828.30 และ 940.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . โดยในฤดูแล้งมีค่ามากที่สุดที่บ่อปรับสภาพเท่ากับ 1082.50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . และในฤดูฝนมีค่ามากที่สุดที่บ่อปรับสภาพเท่ากับ 940.20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . พบว่าในฤดูแล้งแต่ละบ่อมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าฤดูฝน แสดงว่าในฤดูแล้งมีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะทำการวัดด้วย

## 2. คุณภาพน้ำทางเคมี

### 2.1 พีเอช (pH)

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียมีพีเอชของน้ำในฤดูแล้งมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 7.50 – 9.40 และในฤดูฝนมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 7.60 – 9.10 และพบว่าในฤดูแล้งมีพีเอชในบ่อฝั่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (5.0 – 9.0 กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เท่ากับ 9.40 และในฤดูฝนพีเอชในบ่อปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 9.10 ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง เพราะถ้าพีเอชมีค่าสูงกว่า 9 จะส่งผลให้จุลินทรีย์สลายสารอินทรีย์ได้ช้าลง สาเหตุที่ทำให้พีเอชสูง อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาเก็บน้ำตัวอย่างเป็นเวลากลางวัน แสงแดดส่องถึง และพีชน้ำ จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสังเคราะห์แสงในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้น

## 2.2 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พบว่าในช่วงฤดูแล้งมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 8.10 - 10.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงฤดูฝนมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 7.00 - 8.80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในฤดูแล้งเท่ากับ 9.46 และในฤดูฝนเท่ากับ 8.04 มิลลิกรัมต่อลิตร จะพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่ต่างกันทั้ง 2 ฤดูกาล

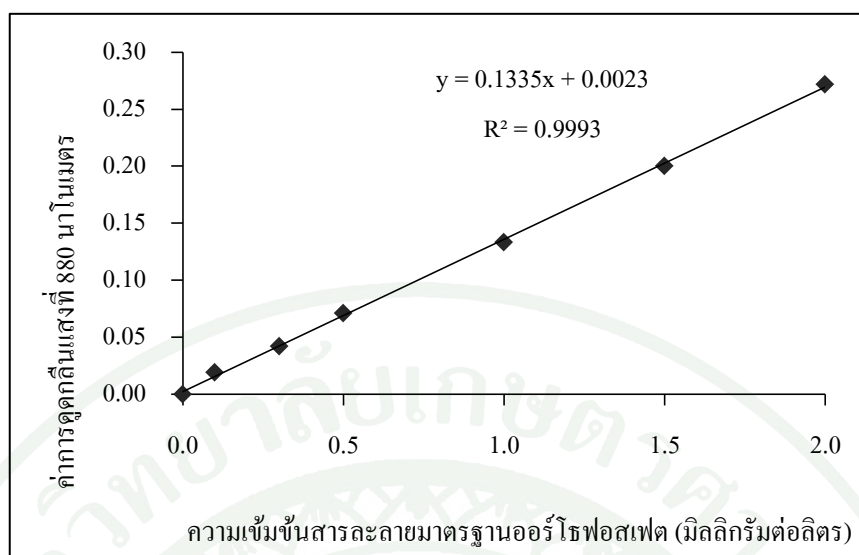
## 2.3 บีโอดีและซีโอดี

พบว่าค่าบีโอดีและซีโอดี ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีแนวโน้มลดลงจากบ่อดักตะกอนถึงบ่อปรับสภาพ โดยในบ่อดักตะกอนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าบีโอดีเท่ากับ 11.40 และ 19.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนกำหนดไว้ (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) และพบว่าฤดูแล้งทุกบ่อ มีค่าบีโอดีสูงกว่าในฤดูฝน เนื่องจากในฤดูแล้งน้ำเสียจะมีความเข้มข้นมาก แต่ในฤดูฝนน้ำเสียจะได้รับการเจือจางจากน้ำฝน และพบว่าค่าซีโอดีทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีแนวโน้มลดลงจากบ่อดักตะกอนถึงบ่อปรับสภาพ โดยในบ่อดักตะกอนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าซีโอดีเท่ากับ 98.00 และ 93.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในบ่อปรับสภาพในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าซีโอดีเท่ากับ 47.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าค่าซีโอดีมีค่าสูงกว่าค่าบีโอดี เนื่องจากค่าซีโอดีไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้

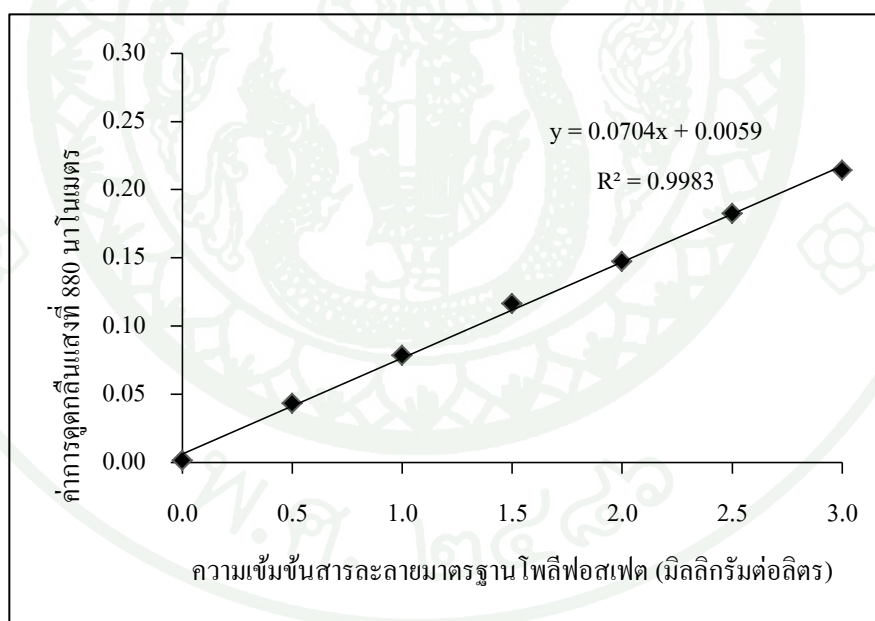
## 3. กราฟมาตรฐานฟอสเฟต

กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสฟอรัส มีลักษณะเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 11, 12 และ 13 โดยมีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ  $y = 0.1335x + 0.0023$ ,  $y = 0.0704x + 0.0059$  และ  $y = 0.0426x - 0.0016$  ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9993, 0.9983 และ 0.9941 ตามลำดับ

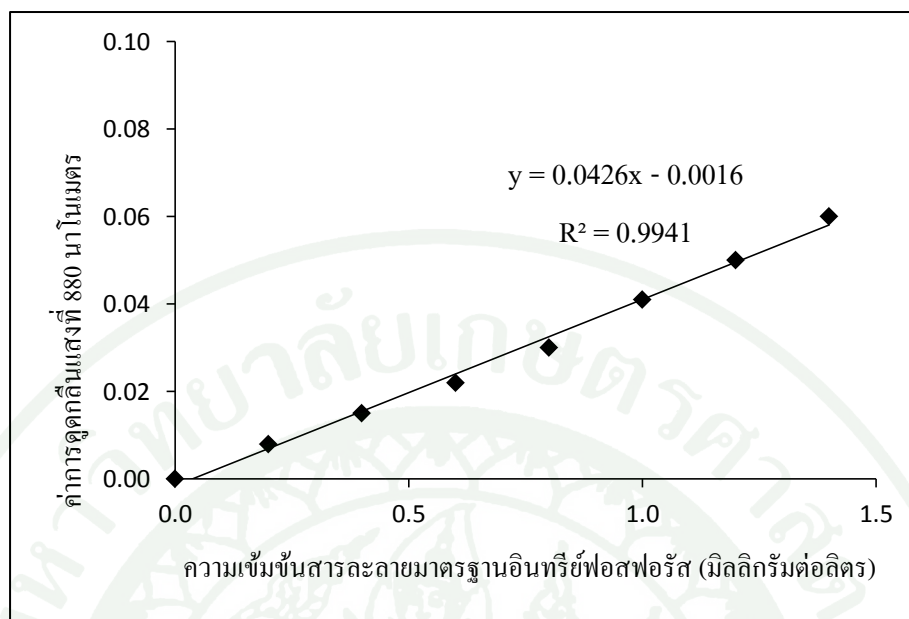




ภาพที่ 11 กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต



ภาพที่ 12 กราฟมาตรฐานโพลีฟอสเฟต



ภาพที่ 13 กราฟมาตรฐานอินทรีย์ฟอสฟอรัส

#### 4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่างทั้ง 4 รูป ได้แก่ ในรูปออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดพบว่า ช่วงฤดูฝนปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในบ่อตกตะกอน บ่อผึ่งที่ 1 บ่อผึ่งที่ 2 บ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 1.86, 1.73, 1.75, 1.69 และ 1.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณโพลีฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 5.72, 9.03, 5.81, 5.94 และ 4.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 8.68, 9.25, 7.13, 4.71 และ 2.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 16.27, 20.01, 14.69, 12.34 และ 8.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และช่วงฤดูแล้งปริมาณออร์โธฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 1.46, 1.83, 1.84, 1.09 และ 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณโพลีฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 10.92, 13.87, 13.36, 9.55 และ 7.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 15.94, 12.63, 14.04, 9.53 และ 6.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 28.33, 28.33, 29.24, 20.17 และ 14.37 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดมีปริมาณลดลงและปริมาณออร์โธฟอสเฟต,

ฟอสฟอรัสทั้งหมด ในบ่อปรับสภาพมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ( $\leq 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงดังตารางที่ 12 และ 13 ทุกรูปมีแนวโน้มลดลงจากบ่อดักตะกอนจนถึงบ่อปรับสภาพ พบว่าทั้ง ถูฝุ่นและถูกล้างปริมาณออร์โธฟอสเฟตและฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกบ่อมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน น้ำทิ้งชุมชนที่กำหนด ( $\leq 0.1$  และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ดังภาพ ที่ 14 โดยในถูกล้างปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าถูฝุ่น เนื่องจากในถูกล้างความร้อนจากแสงแดด ระเหยน้ำได้มาก จึงทำให้แต่ละบ่อมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ควรมีวิธีการการกำจัดฟอสฟอรัสให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อลดการเกิดยูโทรฟิเคชันในบ่อบำบัด และแหล่งน้ำทิ้งอีกด้วย

ตารางที่ 12 ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเสียทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดูฝน

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |                |              |            |            |            |            |            |                  |            |            |                 |            |            |
|------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ          | ออร์โธฟอสเฟต |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด |            |            |
|                                                |                | ครั้งที่ 1   | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1      | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อดกตะกอน                                     | ผิวน้ำ         | 2.53         | 1.74       | 1.43       | 3.74       | 6.14       | 7.17       | 5.99             | 8.44       | 11.12      | 12.27           | 16.33      | 19.72      |
|                                                | กลางน้ำ        | 2.52         | 1.65       | 1.40       | 3.83       | 6.94       | 5.77       | 6.32             | 8.30       | 10.78      | 12.68           | 16.90      | 17.96      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 2.49         | 1.63       | 1.38       | 3.72       | 7.67       | 6.50       | 7.53             | 9.57       | 10.07      | 13.73           | 18.88      | 17.96      |
|                                                | เฉลี่ย         | 2.51         | 1.68       | 1.40       | 3.76       | 6.92       | 6.48       | 6.61             | 8.77       | 10.66      | 12.89           | 17.37      | 18.54      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.86       |            |            | 5.72       |            |                  | 8.68       |            |                 | 16.27      |            |
| บ่อฝั่งที่ 1                                   | ผิวน้ำ         | 2.22         | 1.68       | 1.44       | 6.37       | 8.33       | 11.41      | 6.66             | 9.12       | 10.38      | 15.26           | 19.13      | 23.24      |
|                                                | กลางน้ำ        | 2.07         | 1.63       | 1.47       | 6.30       | 9.09       | 13.52      | 7.35             | 10.70      | 10.60      | 15.73           | 21.42      | 25.59      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 2.01         | 1.62       | 1.46       | 5.01       | 9.11       | 12.11      | 8.00             | 9.58       | 10.85      | 15.01           | 20.30      | 24.41      |
|                                                | เฉลี่ย         | 2.10         | 1.64       | 1.46       | 5.90       | 8.84       | 12.35      | 7.34             | 9.80       | 10.61      | 15.33           | 20.29      | 24.41      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.73       |            |            | 9.03       |            |                  | 9.25       |            |                 | 20.01      |            |

ตารางที่ 12 (ต่อ)

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |                |              |            |            |            |            |            |                  |            |            |                 |            |            |
|------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ          | ออร์โธฟอสเฟต |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด |            |            |
|                                                |                | ครั้งที่ 1   | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1      | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อฝั่งที่ 2                                   | ผิวน้ำ         | 2.17         | 1.62       | 1.65       | 3.66       | 6.26       | 7.66       | 6.28             | 8.31       | 6.89       | 12.11           | 16.20      | 16.20      |
|                                                | กลางน้ำ        | 1.98         | 1.59       | 1.60       | 2.06       | 7.01       | 9.12       | 6.41             | 8.78       | 6.06       | 10.45           | 17.37      | 16.78      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 2.03         | 1.59       | 1.56       | 2.51       | 6.29       | 7.75       | 6.80             | 8.91       | 5.72       | 11.34           | 16.79      | 15.02      |
|                                                | เฉลี่ย         | 2.06         | 1.60       | 1.60       | 2.74       | 6.52       | 8.18       | 6.50             | 8.67       | 6.22       | 11.30           | 16.79      | 16.00      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.75       |            |            | 5.81       |            |                  | 7.13       |            |                 | 14.69      |            |
| บ่อฝั่งที่ 3                                   | ผิวน้ำ         | 2.04         | 1.44       | 1.67       | 2.15       | 7.15       | 8.35       | 3.85             | 5.84       | 5.60       | 8.04            | 14.44      | 15.61      |
|                                                | กลางน้ำ        | 2.05         | 1.42       | 1.62       | 2.36       | 6.46       | 9.10       | 3.86             | 5.30       | 3.71       | 8.27            | 13.18      | 14.44      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 1.96         | 1.42       | 1.58       | 2.96       | 7.17       | 7.73       | 3.88             | 5.84       | 4.55       | 8.80            | 14.44      | 13.85      |
|                                                | เฉลี่ย         | 2.02         | 1.43       | 1.62       | 2.49       | 6.93       | 8.39       | 3.86             | 5.66       | 4.62       | 8.37            | 14.02      | 14.63      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.69       |            |            | 5.94       |            |                  | 4.71       |            |                 | 12.34      |            |



ตารางที่ 12 (ต่อ)

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |             |                        |            |            |            |            |            |                  |            |            |                            |            |            |
|------------------------------------------------|-------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|----------------------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ       | ออร์โธฟอสเฟต           |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด            |            |            |
|                                                |             | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1                 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อปรับสภาพ                                    | ผิวน้ำ      | 2.11                   | 1.40       | 1.68       | 2.88       | 6.49       | 5.49       | 0.64             | 2.42       | 3.16       | 5.63                       | 10.30      | 10.33      |
|                                                | กลางน้ำ     | 2.10                   | 1.38       | 1.64       | 3.01       | 5.09       | 4.82       | 0.47             | 3.51       | 3.28       | 5.58                       | 9.97       | 9.74       |
|                                                | พื้นท้องน้ำ | 2.12                   | 1.44       | 1.55       | 3.05       | 6.45       | 4.20       | 1.17             | 2.44       | 3.40       | 6.34                       | 10.33      | 9.15       |
|                                                | เฉลี่ย      | 2.11                   | 1.40       | 1.62       | 2.98       | 6.01       | 4.84       | 0.76             | 2.79       | 3.28       | 5.85                       | 10.20      | 9.74       |
|                                                | เฉลี่ยรวม   |                        | 1.71       |            |            | 4.61       |            |                  | 2.28       |            |                            | 8.60       |            |
| เกณฑ์มาตรฐาน                                   |             | ≤ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร |            |            | ไม่กำหนด   |            |            | ไม่กำหนด         |            |            | ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร |            |            |

ตารางที่ 13 ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเสียทั้ง 5 บ่อ ในช่วงฤดู  
แล้ง

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |                |              |            |            |            |            |            |                  |            |            |                 |            |            |
|------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ          | ออร์โธฟอสเฟต |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด |            |            |
|                                                |                | ครั้งที่ 1   | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1      | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อดกตะกอน                                     | ผิวน้ำ         | 1.61         | 0.89       | 1.91       | 9.83       | 9.84       | 10.95      | 18.26            | 21.32      | 9.80       | 29.69           | 32.04      | 22.65      |
|                                                | กลางน้ำ        | 1.57         | 0.73       | 1.96       | 11.28      | 10.70      | 12.32      | 18.01            | 20.02      | 9.55       | 30.87           | 31.46      | 23.83      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 1.41         | 0.94       | 2.10       | 10.73      | 11.20      | 11.47      | 16.38            | 20.48      | 9.67       | 28.52           | 32.63      | 23.24      |
|                                                | เฉลี่ย         | 1.53         | 0.85       | 1.99       | 10.61      | 10.58      | 11.58      | 17.55            | 20.61      | 9.67       | 29.69           | 32.04      | 23.24      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.46       |            |            | 10.92      |            |                  | 15.94      |            |                 | 28.33      |            |
| บ่อฝั่งที่ 1                                   | ผิวน้ำ         | 1.74         | 1.68       | 2.07       | 14.66      | 12.59      | 13.62      | 10.94            | 19.53      | 5.78       | 27.35           | 33.80      | 21.48      |
|                                                | กลางน้ำ        | 1.83         | 1.67       | 2.03       | 13.86      | 12.61      | 12.96      | 13.41            | 20.11      | 7.08       | 29.11           | 34.39      | 22.07      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 1.75         | 1.63       | 2.07       | 15.37      | 13.36      | 15.76      | 12.58            | 19.40      | 4.83       | 29.69           | 34.39      | 22.65      |
|                                                | เฉลี่ย         | 1.78         | 1.66       | 2.06       | 14.63      | 12.85      | 14.11      | 12.31            | 19.68      | 5.90       | 28.72           | 34.19      | 22.07      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.83       |            |            | 13.87      |            |                  | 12.63      |            |                 | 28.33      |            |

ตารางที่ 13 (ต่อ)

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |                |              |            |            |            |            |            |                  |            |            |                 |            |            |
|------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ          | ออร์โธฟอสเฟต |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด |            |            |
|                                                |                | ครั้งที่ 1   | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1      | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อฝั่งที่ 2                                   | ผิวน้ำ         | 1.83         | 1.73       | 1.85       | 14.58      | 13.26      | 12.43      | 14.46            | 19.99      | 7.79       | 30.87           | 34.98      | 22.07      |
|                                                | กลางน้ำ        | 1.78         | 1.78       | 1.80       | 12.50      | 16.76      | 11.06      | 15.42            | 17.61      | 10.38      | 29.69           | 36.15      | 23.24      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 1.92         | 1.87       | 1.97       | 13.02      | 13.62      | 13.02      | 13.58            | 18.31      | 8.84       | 28.52           | 33.80      | 23.83      |
|                                                | เฉลี่ย         | 1.84         | 1.79       | 1.87       | 13.37      | 14.54      | 12.17      | 14.49            | 18.64      | 9.00       | 29.69           | 34.98      | 23.04      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.84       |            |            | 13.36      |            |                  | 14.04      |            |                 | 29.24      |            |
| บ่อฝั่งที่ 3                                   | ผิวน้ำ         | 1.01         | 1.02       | 1.11       | 8.29       | 11.83      | 7.48       | 9.83             | 12.73      | 6.43       | 19.13           | 25.59      | 15.02      |
|                                                | กลางน้ำ        | 1.05         | 1.15       | 1.07       | 6.83       | 14.54      | 6.81       | 8.90             | 11.65      | 7.73       | 16.78           | 27.35      | 15.61      |
|                                                | พื้นที่ตื้นน้ำ | 1.08         | 1.25       | 1.10       | 7.51       | 15.16      | 7.49       | 9.36             | 12.11      | 7.02       | 17.96           | 28.52      | 15.61      |
|                                                | เฉลี่ย         | 1.05         | 1.14       | 1.09       | 7.54       | 13.84      | 7.26       | 9.36             | 12.17      | 7.06       | 17.96           | 27.15      | 15.41      |
|                                                | เฉลี่ยรวม      |              | 1.09       |            |            | 9.55       |            |                  | 9.53       |            |                 | 20.17      |            |

ตารางที่ 13 (ต่อ)

| ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |             |                        |            |            |            |            |            |                  |            |            |                            |            |            |
|------------------------------------------------|-------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|----------------------------|------------|------------|
| บ่อ                                            | ระดับ       | ออร์โธฟอสเฟต           |            |            | โพลีฟอสเฟต |            |            | อินทรีย์ฟอสฟอรัส |            |            | ฟอสฟอรัสทั้งหมด            |            |            |
|                                                |             | ครั้งที่ 1             | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1       | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1                 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อปรับสภาพ                                    | ผิวน้ำ      | 0.93                   | 0.81       | 0.89       | 8.38       | 9.91       | 4.86       | 5.72             | 9.58       | 3.40       | 15.02                      | 20.31      | 9.15       |
|                                                | กลางน้ำ     | 0.92                   | 0.86       | 0.83       | 5.33       | 11.29      | 4.21       | 8.77             | 9.33       | 2.35       | 15.02                      | 21.48      | 7.39       |
|                                                | พื้นท้องน้ำ | 0.95                   | 0.84       | 0.84       | 5.51       | 10.59      | 4.91       | 7.39             | 8.87       | 1.05       | 13.85                      | 20.31      | 6.81       |
|                                                | เฉลี่ย      | 0.93                   | 0.84       | 0.85       | 6.41       | 10.60      | 4.66       | 7.29             | 9.26       | 2.27       | 14.63                      | 20.70      | 7.79       |
|                                                | เฉลี่ยรวม   |                        | 0.87       |            |            | 7.22       |            |                  | 6.27       |            |                            | 14.37      |            |
| เกณฑ์มาตรฐาน                                   |             | ≤ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร |            |            | ไม่กำหนด   |            |            | ไม่กำหนด         |            |            | ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร |            |            |



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 14 ระบบบ่อน้ำบาด 5 บ่อ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ประกอบด้วย บ่อตกตะกอน (ก), บ่อผึ่งที่ 1 (ข), บ่อผึ่งที่ 2 (ค), บ่อผึ่งที่ 3 (ง) และบ่อปรับสภาพ (จ)

## 5. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระบบบ่อน้ำบาด 5 บ่อ

### 5.1 ความลึกระดับน้ำ

จากการศึกษาปริมาณออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำตัวอย่างของบ่อน้ำบาดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับ

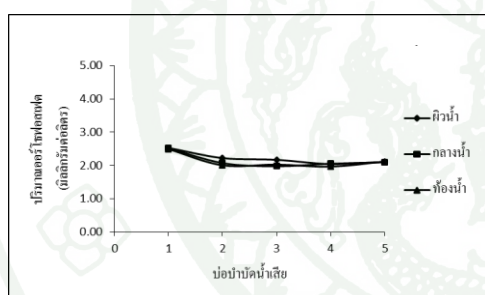


ความลึก 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และ พื้นท้องน้ำ ในแต่ละฤดูกาลทำการเก็บน้ำตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลวิเคราะห์ ดังนี้

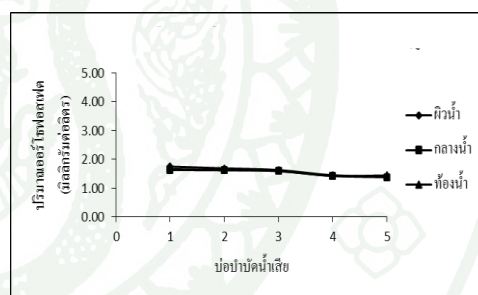
### 5.1.1 ปริมาณออร์โทฟอสเฟต

#### ฤดูฝน

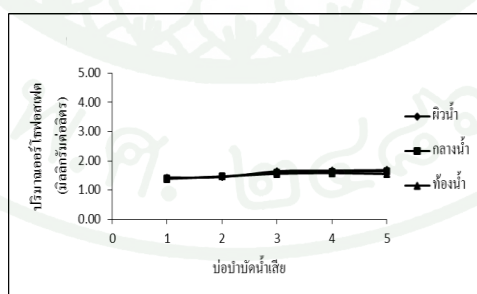
จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างที่เก็บจาก บ่อบำบัด 5 บ่อและในแต่ละบ่อเก็บที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ระดับ พบว่า ฤดูฝนความเข้มข้นของ ออร์โทฟอสเฟตในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 1.38 – 2.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุก ระดับความลึก แสดงว่า ความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โทฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 15 และทุกบ่อยังมีปริมาณออร์โทฟอสเฟตเกินเกณฑ์มาตรฐาน ( $\leq 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร)



(ก)



(ข)

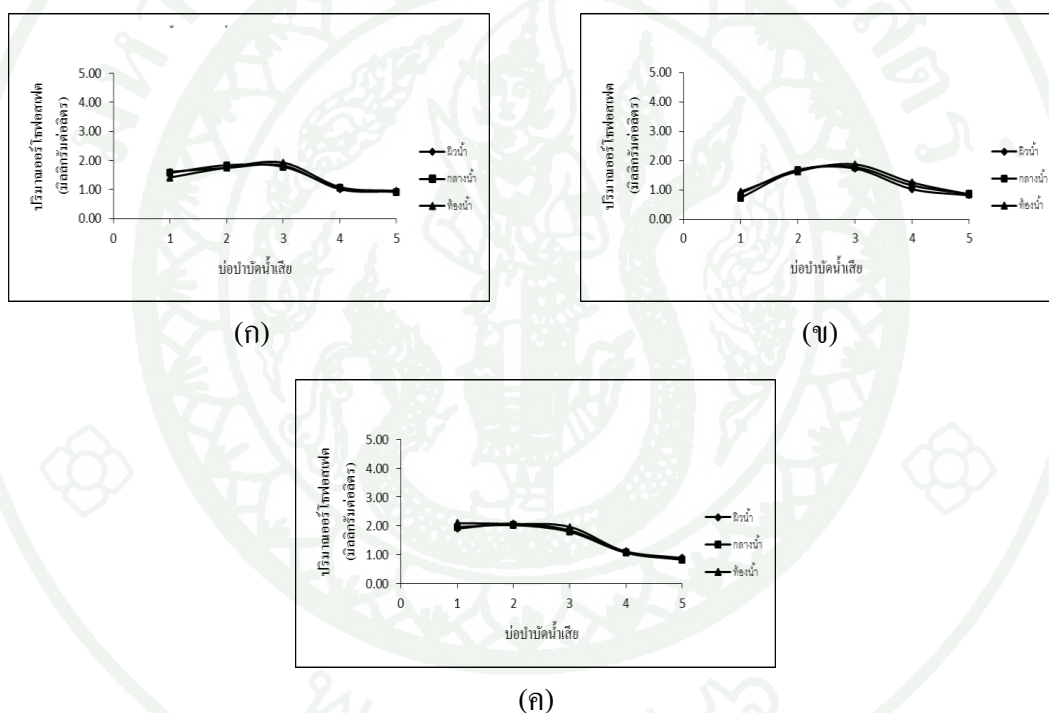


(ค)

ภาพที่ 15 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำของบ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข) และครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค)

### ฤดูแล้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในช่วงฤดูแล้ง จากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ได้ผลดังภาพที่ 16 พบว่า ความลึกของน้ำก็ไม่มีผลเช่นกัน คือปริมาณออร์โธฟอสเฟตใกล้เคียงกันมากทั้ง 3 ระดับและทุกบ่อ แต่ในสิ่งที่แตกต่าง ในฤดูแล้ง ปริมาณออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากในฤดูแล้งมีแสงแดดมาก ช่วยเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ แพลงก์ตอนพืชและการดูดซึมเอาออร์โธฟอสเฟตไปใช้ แต่ก็ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ( $\leq 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร)



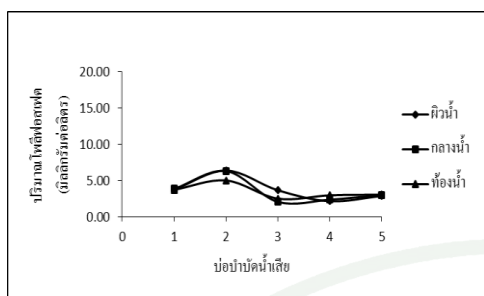
ภาพที่ 16 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำของบ่อน้ำบาดาลทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข), และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)

จากการวิเคราะห์ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟต พบว่า ความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในฤดูฝน

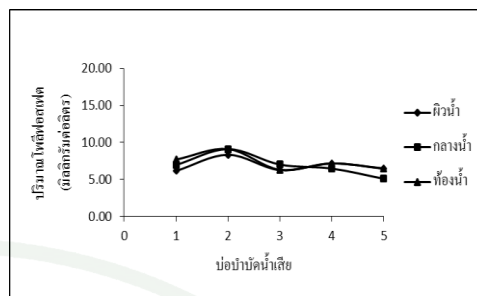
ปริมาณออร์โทฟอสเฟตมากที่สุดอยู่ในบ่อดกตะกอน เนื่องจากเป็นบ่อที่ได้รับน้ำเสียโดยตรงจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี จึงมีทั้งอินทรีย์ฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสเฟตมาก และในฤดูแล้งปริมาณออร์โทฟอสเฟตมากที่สุดอยู่ในบ่อฝิ่งที่ 1 และบ่อฝิ่งที่ 2 และทั้งสองฤดูมีปริมาณออร์โทฟอสเฟตน้อยสุดในบ่อปรับสภาพ แต่ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ( $\leq 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากแสงแดดในการบำบัดน้ำเสียไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ที่เป็นตัวสร้างออกซิเจนให้แก่แบคทีเรียเพื่อทำลายสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ(เกษม และคณะ, 2543) ที่พบว่าในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียช่วงปี 2540-2541 มีปริมาณฟอสเฟตเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดเช่นกัน

### 5.1.2 ปริมาณโพสเฟต

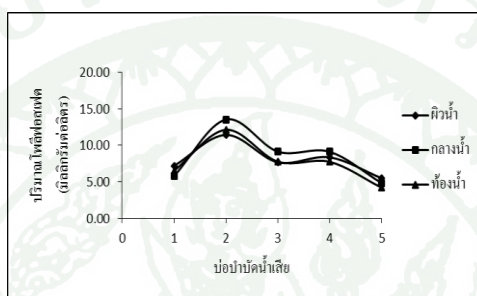
จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณโพสเฟตในน้ำที่เก็บจากบ่อบำบัด 5 บ่อและในแต่ละบ่อเก็บที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ระดับ พบว่า ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสเฟตแสดงดังภาพที่ 17 และ 18 พบว่าปริมาณโพสเฟตในบ่อดกตะกอนมีความเข้มข้นสูงโดยเฉพาะในฤดูแล้ง เนื่องจากเป็นน้ำเสียชุมชนซึ่งมีการใช้ผงซักฟอก และน้ำยาทำความสะอาดทุกครัวเรือน ซึ่งสารซักล้างเหล่านี้มีสารโพสเฟต เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุรพล, 2535) ที่พบว่าในปัจจุบันฟอสฟอรัสมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากการใช้ผงซักฟอกสังเคราะห์ โดยร้อยละ 60 ของฟอสฟอรัสเกิดจากผงซักฟอก สารประกอบโพสเฟตสามารถเปลี่ยนรูปมาเป็นออร์โทฟอสเฟตได้ โดยกระบวนการ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เมื่ออยู่ในน้ำ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือพีเอชลดลง



(ก)

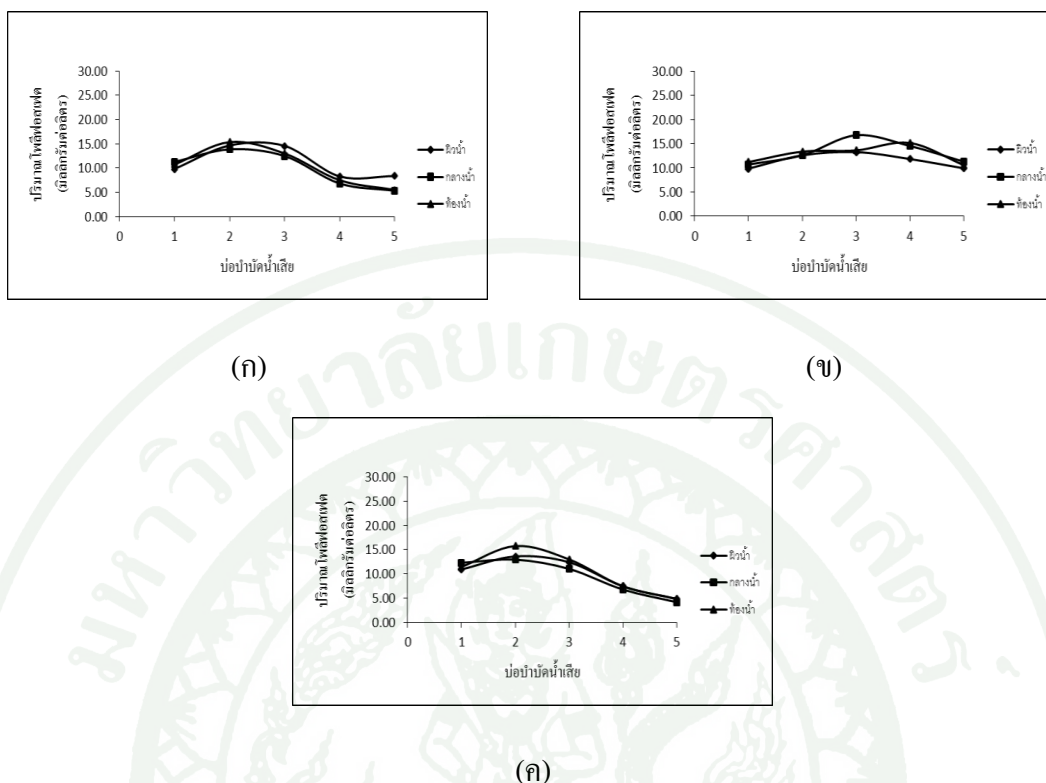


(ข)



(ค)

ภาพที่ 17 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสฟอรัสเฟดในน้ำของบ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข), และครั้งที่ 3 เดือนพฤศจิกายน (ค)

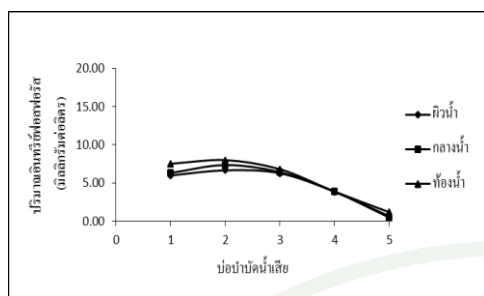


ภาพที่ 18 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสฟอรัสในน้ำของบ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข), และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)

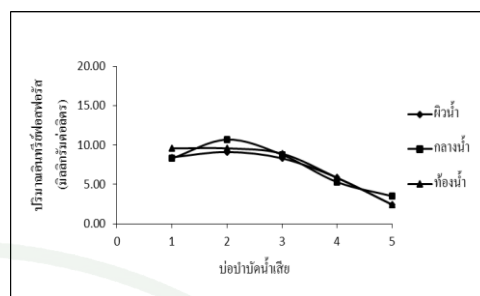
### 5.1.3 ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส

จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากบ่อบำบัด 5 บ่อและในแต่ละบ่อเก็บที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ระดับ พบว่า ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสแสดงดังภาพที่ 19 และ 20 นั่นคือทุกบ่อที่ระดับความลึกเดียวกันมีปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสใกล้เคียงกันมาก เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสพบว่า มีแนวโน้มลดลงจากบ่อดกตะกอนจนถึงบ่อปรับสภาพ ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยา มีเนโอไลเซชัน (Mineralization) โดยจุลินทรีย์เปลี่ยนสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โธฟอสเฟตที่พืชและสัตว์สามารถนำไปใช้ได้

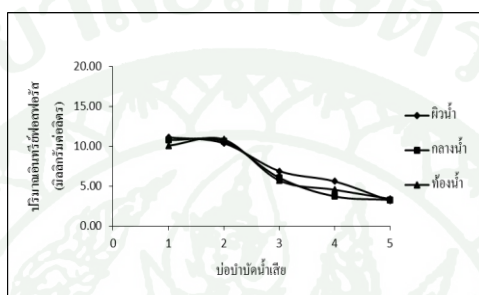




(ก)

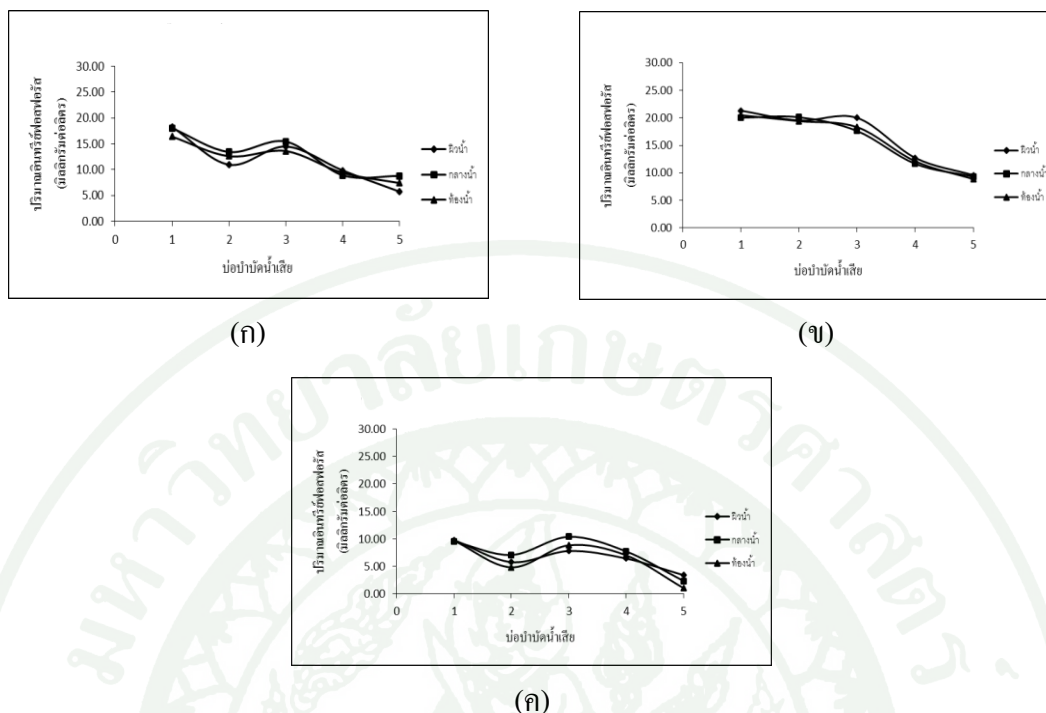


(ข)



(ค)

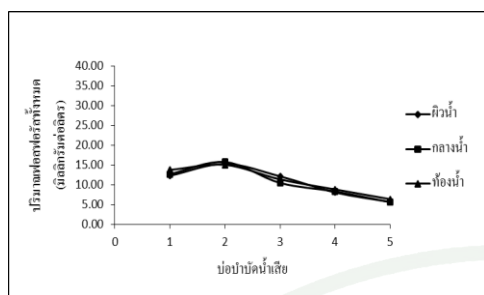
ภาพที่ 19 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อบำบัด  
ทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข), และครั้งที่ 3  
เดือนพฤศจิกายน (ค)



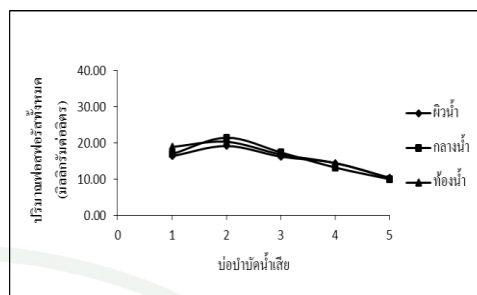
ภาพที่ 20 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อบำบัด ทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข), และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)

#### 5.1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

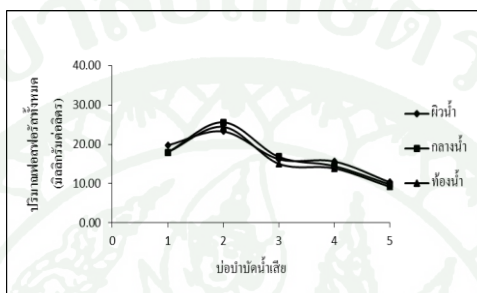
จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากบ่อบำบัด 5 บ่อและในแต่ละบ่อเก็บที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ระดับ พบว่า ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 21 และ 22 นั่นคือ เมื่อพิจารณาแนวโน้มพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงจากบ่อตกตะกอนจนถึงบ่อปรับสภาพ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส ดังนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน และยังพบว่าน้ำในบ่อปรับเสถียวยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน (2 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) อยู่มาก ดังนั้นควรมีการแก้ไขหรือปรับปรุงระบบบำบัดเพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อไปดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



(ก)

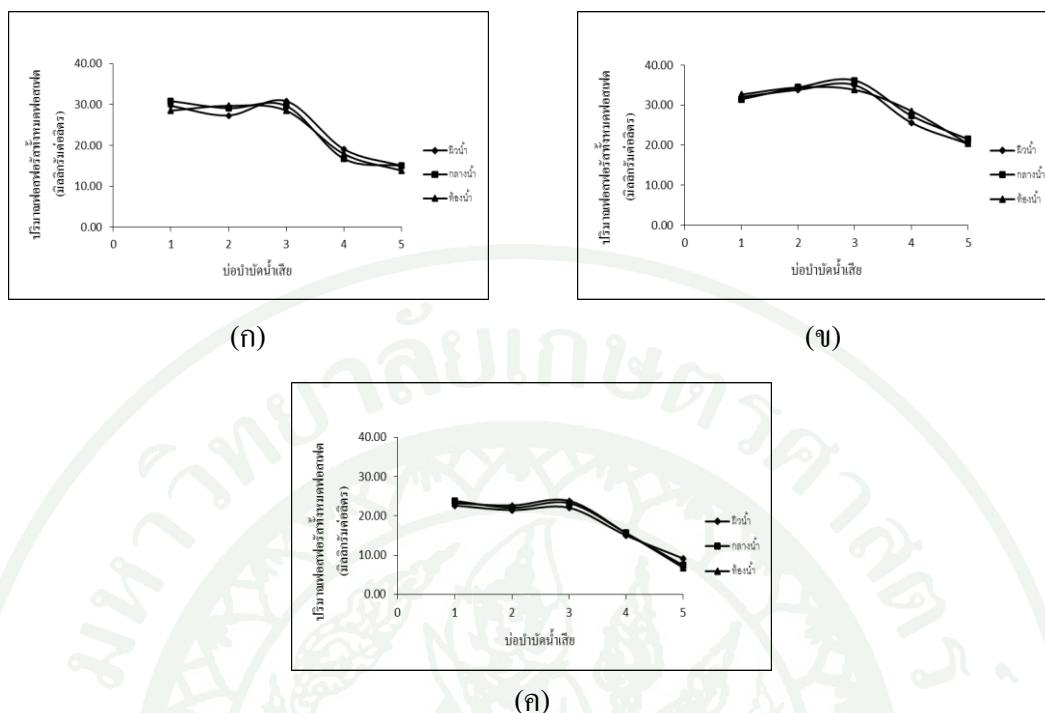


(ข)



(ค)

ภาพที่ 21 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำของบ่อบำบัด  
ทั้ง 5 ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 เดือนสิงหาคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน (ข), และครั้งที่ 3 เดือน  
พฤศจิกายน (ค)



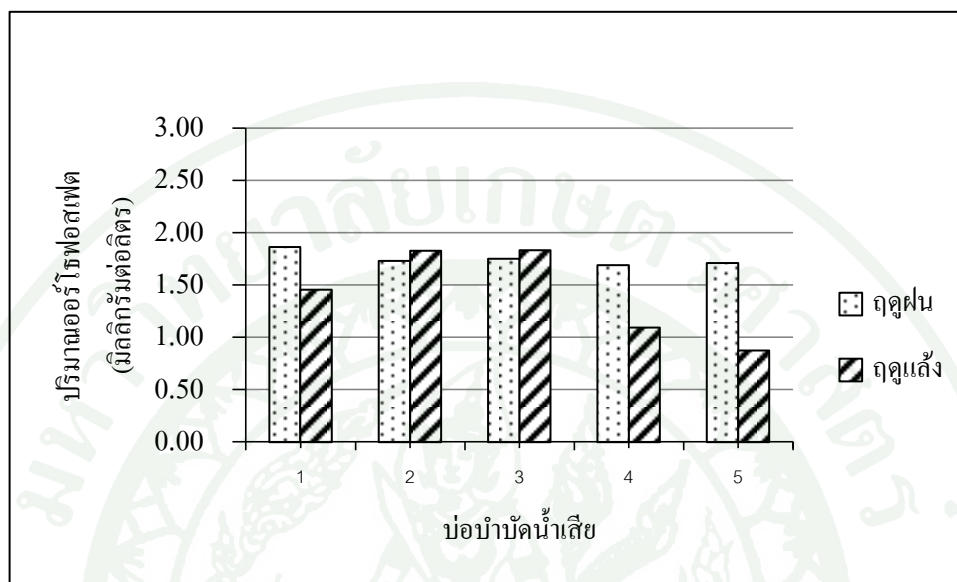
ภาพที่ 22 ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำของบ่อบำบัดทั้ง 5 ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม (ก), ครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ (ข), และครั้งที่ 3 เดือนมีนาคม (ค)

จากการวิเคราะห์ความลึกของระดับน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดพบว่าความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดจะอยู่ในบ่อฝั่งที่ 1 และบ่อฝั่งที่ 2 และน้อยลงในบ่อปรับสภาพ แต่เกินค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนด (2 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากน้ำเสียที่รับเข้ามา มีสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสูง และในบ่อฝั่งที่ 1 และ บ่อฝั่งที่ 2 มีการเลี้ยงปลา และซากสัตว์ที่ตายก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นอีกด้วย

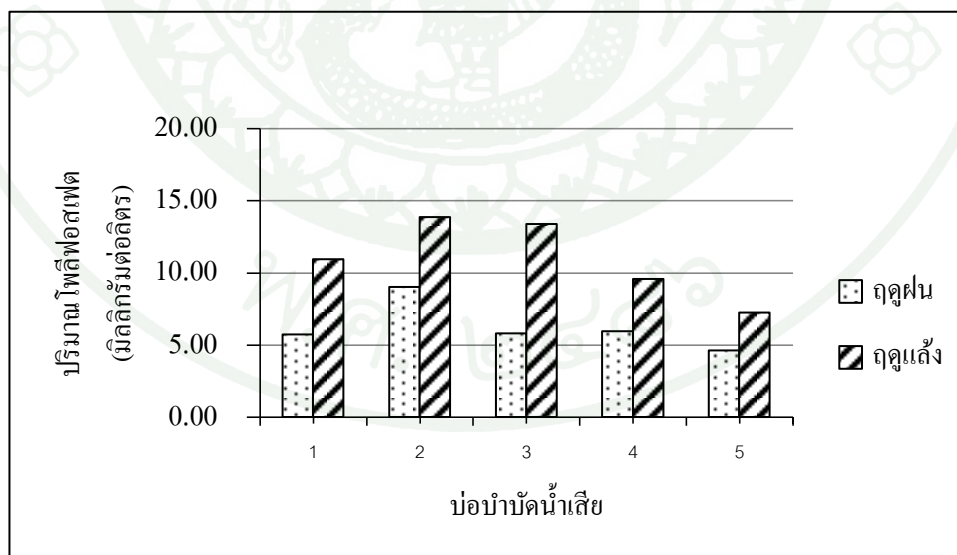
## 5.2 ฤดูกาล

จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด ในน้ำตัวอย่างของบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ โดยการเก็บ

น้ำตัวอย่างในบ่อดักตะกอน, บ่อฝั้งที่ 1, บ่อฝั้งที่ 2, บ่อฝั้งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ ทำการเก็บช่วง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง แสดงดังภาพที่ 23, 24, 25 และ 26

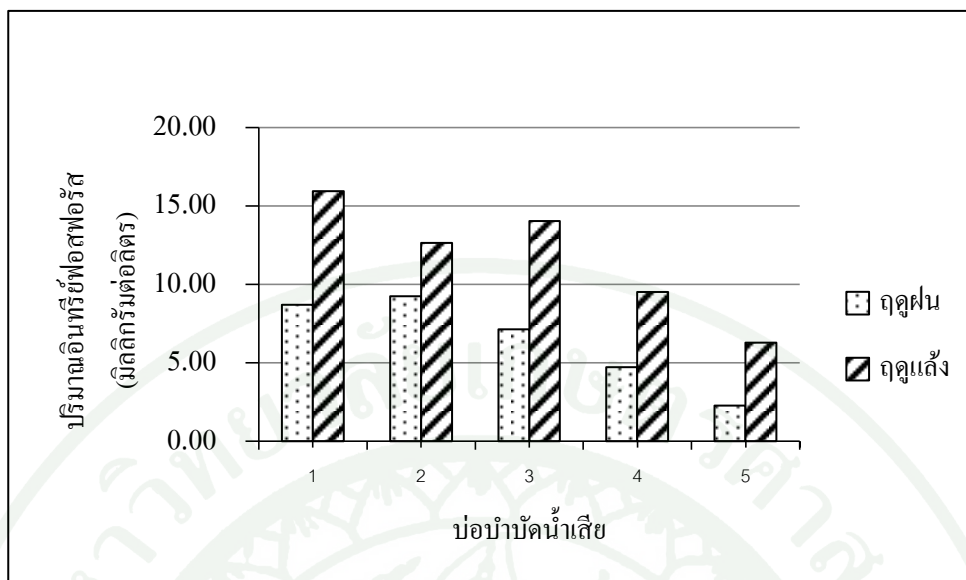


ภาพที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณออร์โธฟอสเฟตในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ

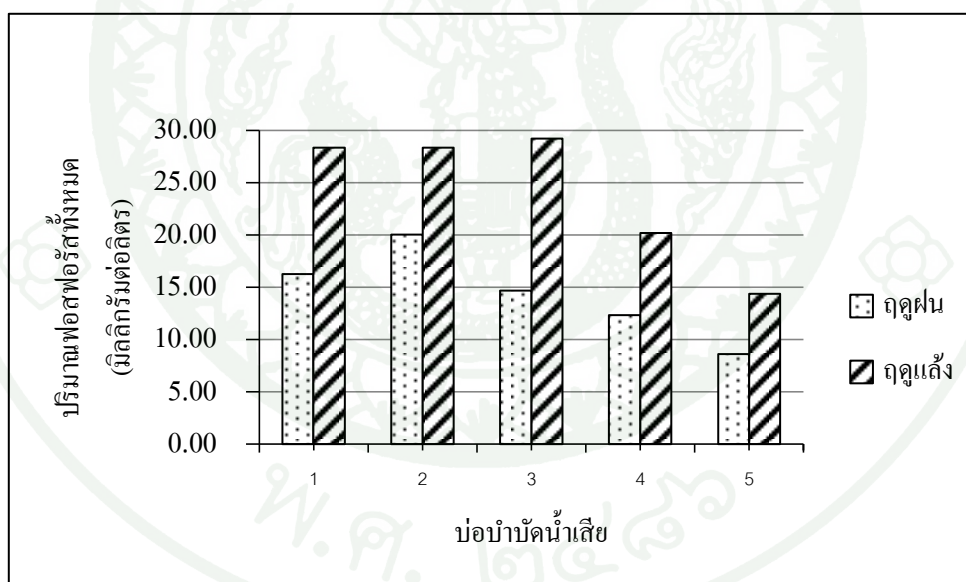


ภาพที่ 24 เปรียบเทียบปริมาณโพสเฟตในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ





ภาพที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ



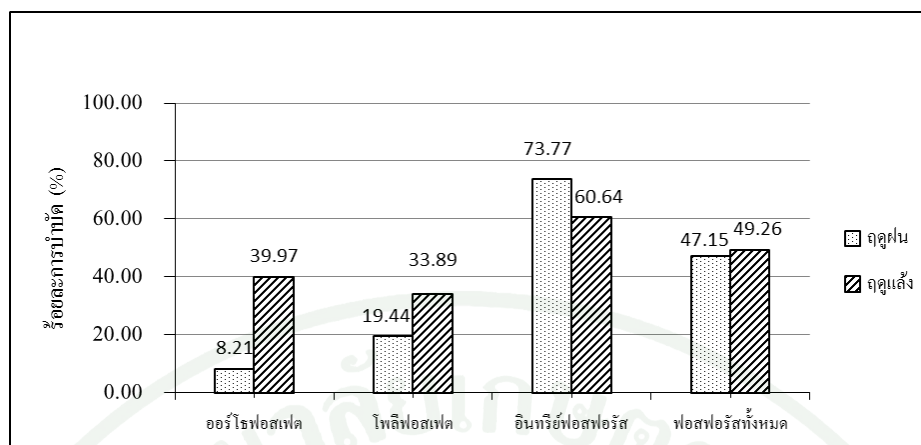
ภาพที่ 26 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฤดูฝนและฤดูแล้งของน้ำในบ่อทั้ง 5 บ่อ

จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของบ่อน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ โดยในฤดูแล้งจะมีปริมาณฟอสฟอรัส

ทั้ง 4 รูปทั้งหมดสูงกว่าในฤดูฝน เนื่องจากฤดูแล้งแสงแดดทำให้เกิดการระเหยของน้ำ จึงทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปโพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าในฤดูฝน ประกอบกับน้ำฝนช่วยเจือจาง แต่ปริมาณออร์โธฟอสเฟตต่ำเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดได้ดี มีการนำออร์โธฟอสเฟตไปใช้

#### 6. ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนของบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียร

จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้ง 4 รูปในน้ำตัวอย่างของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งหมด ในแต่ละฤดูมีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละได้ แสดงดังภาพที่ 27 โดยในช่วงฤดูฝนร้อยละการบำบัดเท่ากับ 8.21, 19.44, 73.77 และ 47.15 ตามลำดับ และในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 39.97, 33.89, 60.64 และ 49.26 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบบำบัดแบบระบบปรับเสถียรนี้ มีประสิทธิภาพการบำบัดอินทรีย์ฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด เนื่องจากเป็นกระบวนการบำบัดโดยอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี แต่ฟอสเฟตในรูปออร์โธฟอสเฟต ยังบำบัดได้ไม่ดี อาจเนื่องมาจากน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนจะเปลี่ยนสภาพไร้ออกซิเจนเป็นสภาพมีออกซิเจน ทำให้ฟอสฟอรัสรูปอื่นเปลี่ยนรูปเป็นออร์โธฟอสเฟต (Hammer, 1977) รายงานว่าร้อยละ 60 ของปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำทิ้งจากชุมชนมาจากผงซักฟอก ทำให้ออร์โธฟอสเฟตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระบบบำบัดออร์โธฟอสเฟตได้ไม่ดี จึงควรมีการปรับปรุงระบบ โดยการเติมเกลือของโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ อะลูมินัมซัลเฟต และเฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น ทำให้เกิดการตกตะกอนของเกลือฟอสเฟต (Eliassen, 1974) เพราะวิธีทางชีวภาพนั้นประสิทธิภาพจะน้อยกว่าวิธีทางเคมี



ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสของบ่อบำบัดน้ำเสีย

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียของระบบบ่อบำบัด พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณออร์โธฟอสเฟต, โพลีฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสฟอรัสและ ฟอสฟอรัสทั้งหมด ในช่วงฤดูฝนเท่ากับร้อยละ 8.21, 19.44, 73.77 และ 47.15 ตามลำดับ และ ในช่วงฤดูแล้งเท่ากับร้อยละ 39.97, 33.89, 60.64 และ 49.26 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดี โดยประสิทธิภาพการบำบัดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายๆ ด้าน เช่น แสงแดด กระแสลม ฝน เป็นต้น

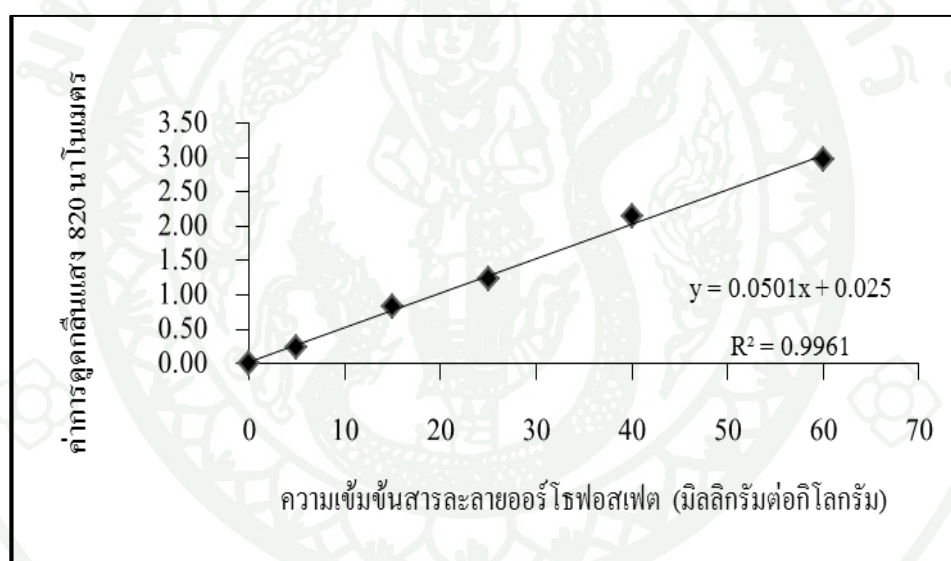
## 7. ความเสี่ยงในการเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน

ยูโทรฟิเคชัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารอันได้แก่ สารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจน อาหารเสริมเหล่านี้เป็นธาตุจำเป็นในการเจริญเติบโต สำหรับแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย ธาตุฟอสฟอรัสจะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์แสงและแพร่พันธุ์ของพืชสีเขียวในแหล่งน้ำได้มาก และมีรายงานความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตต่ำถึง 0.005 – 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันได้ และแหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.05 – 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่าถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีโอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันได้ จากการศึกษา ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ด้วยบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียร พบว่า ส่งผลให้ มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อปรับสภาพ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ( $\leq 0.1$  มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ไปมาก ดังนั้นน้ำเสีย

ชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียรนี้จึงมีความเสี่ยงต่อการปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันสูง จากงานวิจัย (Zohary, 1987) พบว่าความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตต่ำถึง 0.005 – 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันได้ และแหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.05 – 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่าถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีโอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันได้

#### 8. กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์ตะกอนดิน

กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์ตะกอนดินสำหรับ มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงดังภาพที่ 28 มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ  $y = 0.0501x + 0.025$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9961



ภาพที่ 28 กราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์ตะกอนดิน

#### 9. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดิน

จากการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดิน ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน 3 ครั้ง เช่นกัน แต่ครั้งที่ 1 มีค่าแตกต่างกันมากเนื่องจากในฤดูฝนครั้งที่ 1 เป็นตะกอนดินใหม่ที่ทางโครงการได้ทำการลอกตะกอนออกจึงทำให้มีค่าปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินน้อยมากจึงทำให้ผลวิเคราะห์ต่างจากครั้งที่ 2 และ 3 มาก ผู้วิจัยจึงพิจารณาเฉพาะครั้งที่ 2 และ 3 พบว่าช่วงฤดู

ฝนและฤดูแล้งปริมาณออร์โธฟอสเฟตจะมีค่ามากในบ่อฝังที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 14 และ 15 เนื่องจากเป็นบ่อที่มีการเลี้ยงปลา อาจทำให้ปริมาณของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่พืชสามารถนำไปใช้ได้เพราะพืชน้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถดูดฟอสฟอรัสได้มาก และเก็บส่วนที่เกินนั้นสะสมไว้ใช้ภายหลัง ในขณะที่ฟอสฟอรัสอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับโดยตะกอนบริเวณก้นบ่อ

**ตารางที่ 14** ผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินของระบบบำบัดน้ำเสียช่วงฤดูฝน

| ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) |            |            |            |
|-----------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| บ่อ                                                 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อดกตะกอน                                          | 39.12      | 116.97     | 187.03     |
| บ่อฝังที่ 1                                         | 55.91      | 115.77     | 190.82     |
| บ่อฝังที่ 2                                         | 47.11      | 122.95     | 193.81     |
| บ่อฝังที่ 3                                         | 70.46      | 128.34     | 171.46     |
| บ่อปรับสภาพ                                         | 34.53      | 101.00     | 165.07     |

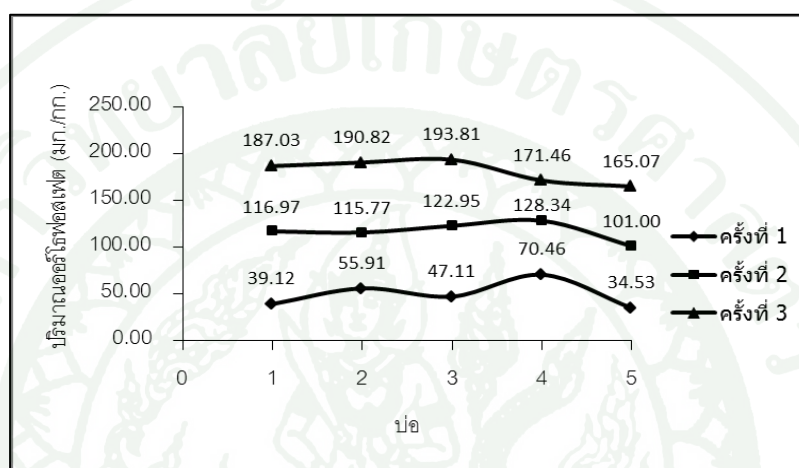
**ตารางที่ 15** ผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินของระบบบำบัดน้ำเสียช่วงฤดูแล้ง

| ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) |            |            |            |
|-----------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| บ่อ                                                 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| บ่อดกตะกอน                                          | 290.82     | 392.02     | 346.71     |
| บ่อฝังที่ 1                                         | 312.77     | 402.99     | 348.90     |
| บ่อฝังที่ 2                                         | 302.20     | 395.61     | 371.26     |
| บ่อฝังที่ 3                                         | 277.84     | 356.49     | 324.55     |
| บ่อปรับสภาพ                                         | 264.07     | 335.13     | 304.19     |

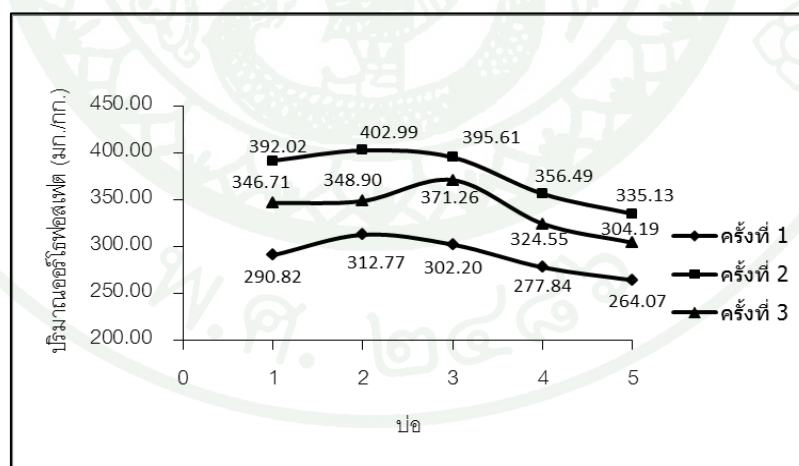
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินของบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ พบว่าปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีความสอดคล้องกับผลการ



วิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง พบว่า ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งพบปริมาณออร์โทฟอสเฟตสูงมากในตะกอนดิน โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ความเข้มข้นออร์โทฟอสเฟตสูง เนื่องจากการระเหยของน้ำประกอบกับตะกอนดิน มีคุณสมบัติในการดูดซับฟอสเฟตได้ดี โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าตะกอนที่อยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่ ตะกอนที่มีสภาพเป็นกรดและตะกอนที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่สูง แสดงดังภาพที่ 29 และ 30



ภาพที่ 29 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในตะกอนดินช่วงฤดูฝนของบ่อบำบัดทั้ง 5 บ่อ



ภาพที่ 30 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในตะกอนดินช่วงฤดูแล้งของบ่อบำบัดทั้ง 5 บ่อ

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ด้วยบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียร โดยทำการศึกษาในน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียและตะกอนดิน ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด ด้านความลึกของระดับน้ำและฤดูกาล ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดของบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ และความเสี่ยงในการเกิดยูโทรฟิเคชัน ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การศึกษาปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง พบว่าความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟต คือ ช่วงฤดูฝนปริมาณออร์โธฟอสเฟตในบ่อดกตะกอนมีค่า 1.40 – 2.51 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 1 มีค่า 1.46 – 2.10 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 2 มีค่า 1.60 – 2.06 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 3 มีค่า 1.43 – 2.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 1.40 – 2.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงฤดูแล้งปริมาณออร์โธฟอสเฟตในบ่อดกตะกอนมีค่า 0.85 – 1.99 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 1 มีค่า 1.66 – 2.06 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 2 มีค่า 1.79 – 1.87 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 3 มีค่า 1.05 – 1.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 0.84 – 0.93 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ฤดูกาล คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟต

2. การศึกษาปริมาณโพลีฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง พบว่าความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีฟอสเฟต คือ ช่วงฤดูฝนปริมาณโพลีฟอสเฟตในบ่อดกตะกอนมีค่า 3.76 – 6.92 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 1 มีค่า 5.90 – 12.35 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 2 มีค่า 2.74 – 8.18 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 3 มีค่า 2.49 – 8.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 2.98 – 6.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงฤดูแล้งปริมาณโพลีฟอสเฟตในบ่อดกตะกอนมีค่า 10.58 – 11.58 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 1 มีค่า 12.85 – 14.63 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 2 มีค่า 12.17 – 14.54 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผิวน้ำที่ 3 มีค่า 7.26 – 13.84

มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 4.66 – 10.60 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ฤดูกาล คือ ฤดูฝน และ ฤดูแล้ง พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพสฟอรัส

3. การศึกษาปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง พบว่าความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส กล่าวคือ ช่วงฤดูฝนปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในบ่อตกตะกอนมีค่า 6.61 – 10.66 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 1 มีค่า 7.34 – 10.61 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 2 มีค่า 6.22 – 8.67 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 3 มีค่า 3.86 – 5.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 0.76 - 3.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงฤดูแล้งปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในบ่อตกตะกอนมีค่า 9.67 – 20.61 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 1 มีค่า 5.90 – 19.68 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 2 มีค่า 9.00 – 18.64 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 3 มีค่า 7.06 – 12.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 2.27 – 9.26 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ฤดูกาล คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส

4. การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง พบว่าความลึกของระดับน้ำทั้ง 3 ระดับ คือ ผิวน้ำ กลางน้ำ และพื้นท้องน้ำ พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด กล่าวคือ ช่วงฤดูฝนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อตกตะกอนมีค่า 12.89 – 18.54 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 1 มีค่า 15.33 – 24.41 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 2 มีค่า 11.30 – 16.79 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 3 มีค่า 8.37 – 14.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 5.85 – 10.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงฤดูแล้งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อตกตะกอนมีค่า 23.24 – 32.04 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 1 มีค่า 22.07 – 34.19 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 2 มีค่า 23.04 – 34.98 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อผึ่งที่ 3 มีค่า 15.41 – 27.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อปรับสภาพ มีค่า 7.79 – 20.70 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ฤดูกาล คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง พบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

5. ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณออร์โธฟอสเฟต โพสฟอรัส อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด ในช่วงฤดูฝน เท่ากับร้อยละ 8.21, 19.44, 73.77 และ 47.15 ตามลำดับ และในช่วงฤดูแล้งเท่ากับร้อยละ 39.97, 33.89, 60.64 และ 49.26 ตามลำดับ แสดงว่าประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสของบ่อ

บำบัดน้ำเสียอยู่ในระดับดี สามารถบำบัดปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด และบำบัดปริมาณออร์โธฟอสเฟตได้ไม่ดี

6. การศึกษาความเสี่ยงในการเกิดยูโทรฟิเคชันในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยบ่อบำบัด 5 บ่อแบบบ่อปรับเสถียร พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟตและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในบ่อปรับสภาพมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนที่กำหนด ดังนั้นน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยบ่อบำบัด 5 บ่อ ของระบบปรับเสถียรจึงมีความเสี่ยงในการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

7. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตของตะกอนดินตัวอย่าง พบว่า ช่วงฤดูฝนปริมาณออร์โธฟอสเฟต ครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 101.00 - 128.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 165.07 - 193.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วงฤดูแล้งปริมาณออร์โธฟอสเฟตครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 264.07 - 312.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ครั้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 335.13 - 402.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ครั้งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 304.19 - 371.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเห็นว่า ทั้ง 2 ฤดูกาล ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินตัวอย่างมีปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นฤดูกาลจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟตในตะกอนดินตัวอย่าง

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการบำบัดฟอสฟอรัสหลายรูปแบบด้วยบ่อบำบัดของระบบปรับเสถียร ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปใช้เพื่อลดปริมาณออร์โธฟอสเฟตในแหล่งน้ำได้ ดังนี้

1. ควรใช้วิธีการทางกายภาพ โดยอาศัยแรงทางฟิสิกส์ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงเหวี่ยง แรงหนีศูนย์กลาง เป็นต้น เพื่อแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย เช่น การทำให้ลอย (floatation) การตกตะกอน (sedimentation) การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) การกรอง (filtration) และการกำจัดตะกอนหนัก (grit removal)
2. ควรใช้วิธีการทางเคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมสารเคมีลงในน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อแยกเอามลสารต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนผลึกทางเคมี (chemical precipitation) การทำให้เป็นกลางหรือการสะเทิน (neutralization) เป็นต้น
3. ควรใช้วิธีการทางกายภาพเคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมี มารวมกัน เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งมีหลายวิธีเช่น การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) และการแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น. กรม  
ควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาประเทศไทย. กองจัดการ  
คุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,  
กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2545. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหาทางน้ำปี 2544-2545.  
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราบำบัดมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรม  
สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2542. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2552. วิศวกรรมการก่ำน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท เอส. อาร์. พรินต์ติ้งแมส  
โปรดักส์ จำกัด, นนทบุรี.

เกษม จันทรแก้ว. 2530. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. อักษรสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2553. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เกษม จันทรแก้ว, พันธุ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก, ชาตรี นุ่มปี และ เสกสรรค์ เทพพิทักษ์. 2543. ข้อจำกัดของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย, น. 17 – 1 – 17 – 19. ใน เทคโนโลยีการกำจัดขยะแบบประหยัดและการบำบัดน้ำเสียด้วยพืช . มูลนิธิชัยพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.), กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2543. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัย วิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย ตามแนวพระราชดำริ, ระหว่างวันที่ 24-25 สิงหาคม 2543, กรุงเทพฯ.

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชนิษฐา จารุวิชัยพงศ์. 2538. พฤติกรรมการใช้น้ำและการจัดการน้ำทิ้งของครัวเรือนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2536. ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย, น. 121 - 127. ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ สวสท, 36. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดในโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ธนาสิทธิ์ คำนิล. 2556. การคาดการณ์สถานการณ์น้ำเสียเพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนโคกสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นิพนธ์ ตั้งจธรรม. 2526. การควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรุติ คุณพล. 2539. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย. ฝ่ายวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

บรรจง วรรณะพงษ์ และอเนก ก้านสังวร. 2537. ระบบบำบัดน้ำเสีย. เอกสารการบรรยายการประชุมเชิงปฏิบัติการ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. กรมชลประทาน. 12 น.

ประเทือง เชาววันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. แผนกประมง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง, ลำปาง. 84 น.

พิชิต สกุดพราหมณ์. 2531. การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. ธนะการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญจิต ภิญโยดม. 2549. ระยะเวลาการเก็บกักและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อบำบัดขนาดใหญ่ กรณีศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตันทุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา และ สรุเดช จินตกานนท์. 2521. คำบรรยายวิชาธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรกาย อุส่าห์. 2541. ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรรณภา ศุกริพงษ์. 2532. วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมสำหรับครูประถมศึกษา. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 182 น.

ศิริพรรณ สารินทร์. 2550. จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ ห้างหุ้นจำกัด สามลดา, กรุงเทพฯ.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษฎี. 2549. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรพล สายพานิช. 2535. ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการบำบัดน้ำเสีย, น. 1-17. ใน เกณฑ์การใช้น้ำมาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค และน้ำทิ้งจากอาคารชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม, 21 สิงหาคม 2535. คณะกรรมการวิชาการสาขาสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุรศักดิ์ พรรณภัทรพงษ์. 2540. ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.** 19<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, Washington D.C.

Armitage, E.R. 1974. The runoff of fertilizers from agricultural land effects on the natural environment, pp. 115-122. In **Pollution and the use of Chemicals in Agriculture.** Hazela Waston and Viney Ltd., Aylesburg.

Boyd, C.E.1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. 482 pp.

Bray RH, Kurtz LT (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59:39-45.

Chang, S.C. and M.L. Jackson. 1975. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Sci.** 84 : 133-144.

Cooke, G.W. and R.J.B Williams. 1975. The significance of manmade source of phosphate : Fertilizers and farming. The phosphorus involed in agricultural systems and possiblilies of it movement into natural water, pp. 83-94. In **Progress in water technology. Vol. 2** Phosphorus in freshwater and the marine environment. Pergamon Press Ltd., Great Britain.

Devey,D.G. and N. Harkness. 1975. The significance of man-made source of phosphorus : Detergents and sewage, pp. 158-161. In **Progress in water Teachnology. Vol. 2** Phosphorus in Fresh water and the Marine Environment. Pergamon Press Ltd., Great Britain.

Eckenfelder. W.W, Ji, 1972. **Principle of water Quality Management.** CBI Publishing Company Inc. Massachusetts. 717 p.

Eliasson, R. 1974. **Wastewater Engineering.** McGrew-Hill, New Delhi. 782 p.

Feachem, R., M. Mogarry and D. Mara. 1978. **Water Waste and Health in Hot Climates.** English Language Book Society and John Willey and Son, chinchester. 399 p.

Gloyna, E.F. 1971. **Waste Stabilization Ponds.** World Health Organization, Geneva. 175p.

Hammer, M.J. 1977. **Water and Waste-water Technology.** John Willey and son.Inc., USA. 540 p.



Herman, N.W. 1986. Chemical phosphate removal from municipal waste water : Current practice and recent innovation. **Water SA.** 12 (4).

Hesse, J.R. 1971. **A textbook of Soil Chemical Analysis.** John Murry, London. 362p.

HultmanB., K. Jonsson, and Z. Plaza. 1993. Combined nitrogen and phosphorus removal in a full scale continuous up- flow sand-filter. **Water Sci Tech.** 29 (10-11) : 127-134.

Jone, H.R. 1972. **Detergent and Pollution : Problem and Technological Solution.** Noyes Data Corporation, New York. 505 p.

Keeney,D.R. 1970. **Nitrate in plant and waters.** J. of Milk and Food Technol. 33: 425-432.

Knott, J.E. 1949. **Vegetable Growing.** 4<sup>th</sup> ed., Lea & Febiger, Philadelphia. 314 p.

Odum, E.P. 1971. **Foundamental of Ecology.** 3d ed., Saunders, Philadelphia. 574 p.

Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soil in the Tropics.** John Willy & sons, Inc., New York. 488 p.

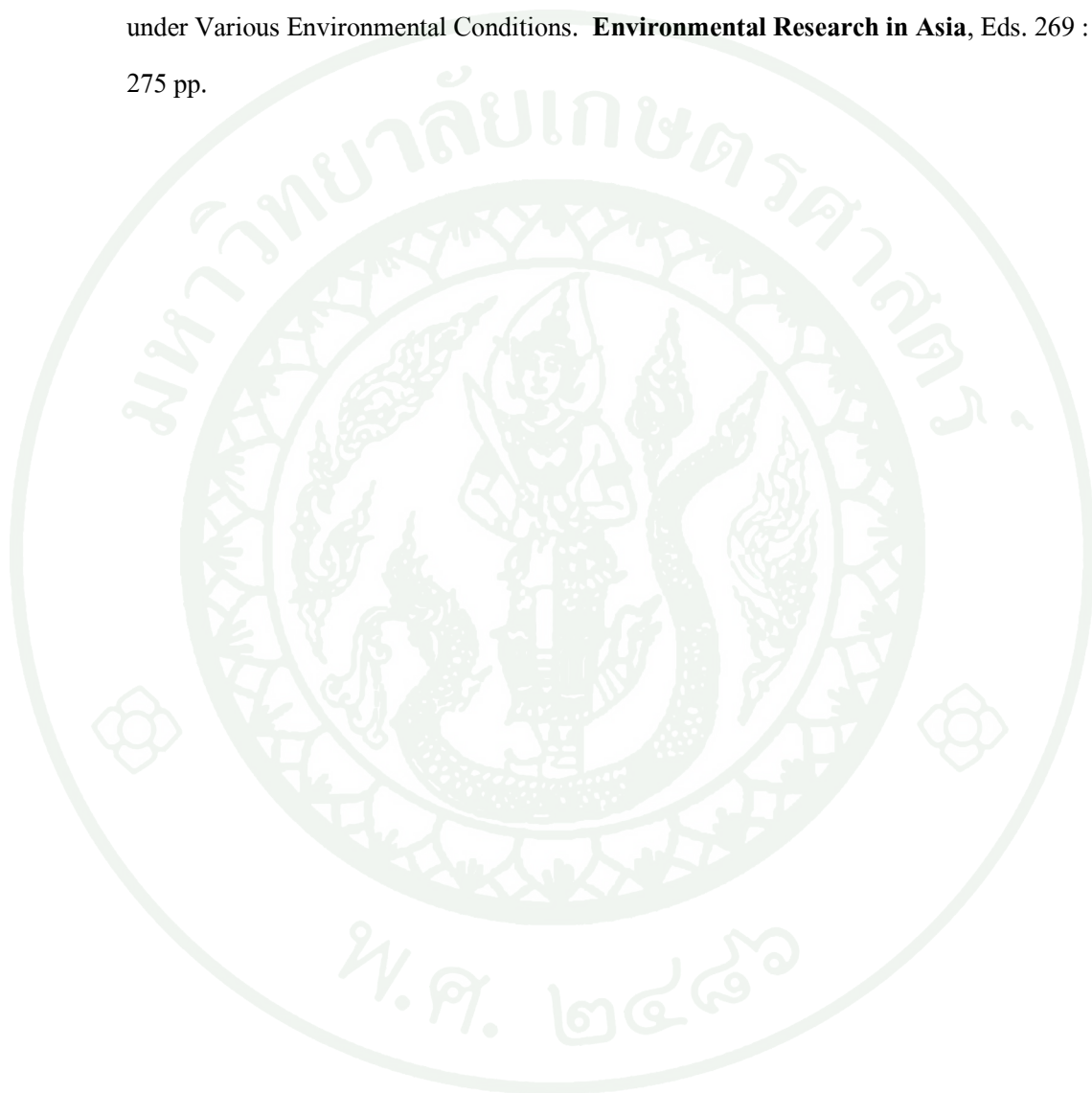
Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizer.** The Macmillan Company, New York. 6994 p.

Wendt, R.C. and R.B. Corey. 1980. Phosphorus variations in surface run off from agricultural lands as a function of land use. J. Environ. **Qual.** 9: 132-136.

Wild, A. 1964. Soluble phosphate In soil and uptake by plants. **Nature** 203: 325-327.

Zajic, J.E. 1971. Entrophication-P and N control, pp. 119-121. In **Water Pollution Disposal and Reuse**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Zohary, T (1987). Growth Responses of Harmful Algal Species Microcystis (Cyanophyceae) under Various Environmental Conditions. **Environmental Research in Asia**, Eds. 269 : 275 pp.



## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

|                                |                                                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ชื่อ – นามสกุล                 | นางสาวณลิณี สุนา                                         |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด           | 2 เมษายน 2532                                            |
| สถานที่เกิด                    | จังหวัดอุบลราชธานี                                       |
| ประวัติการศึกษา                | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สิ่งแวดล้อม)<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน   | -                                                        |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน           | -                                                        |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | -                                                        |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ           | -                                                        |