



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เพื่อลดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชน

Utilization of Lignite Fly Ash in Constructed Wetland Treatment System for Reducing Phosphate from Domestic Wastewater

นามผู้วิจัย นางสาวนรินทร์ ม่วงสาร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตังคณานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....พ.ศ.....

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เพื่อลดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชน

Utilization of Lignite Fly Ash in Constructed Wetland Treatment System for Reducing Phosphate
from Domestic Wastewater

โดย

นางสาวนรินทร์ ม่วงสาร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2558

นรินทร์ ม่วงสาร 2558: การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เพื่อลดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคนานุรักษ์, วท.ม. 91 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์โดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อ และกระดาษ เมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์ 4 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 10.0 พีพีเอ็ม ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร และระยะเวลาสัมผัส 20 นาที ได้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต ร้อยละ 96.64 จากการทดลองการดูดซับพบว่า การดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอร์มของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ การทดลองแบบคอลัมน์เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของชั้นกรอง (กรวด ทราวยหยาบ และทรายละเอียด) ซึ่งชั้นบนสุดคือเถ้าลอยลิกไนต์ผสมดินในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:10 ผลการทดลองแบบคอลัมน์พบว่าการไหลแบบต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดคือ ร้อยละ 99 นอกจากนี้ได้มีการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ในกระเบพลาสติกกรุพีวีแอลขนาด 51x51x54 เซนติเมตร โดยบรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทราวยหยาบ 3 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2 เซนติเมตร และเถ้าลอยลิกไนต์ผสมดิน (1:10) 30 เซนติเมตร ร่วมกับการปลูกพืชไผ่พันธุ์น้ำ (หญ้าแฝก และธูปฤาษี) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของพืชทั้งสองชนิดสามารถบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อเก็บรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้มากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่หน่วยทดลองในหน่วยควบคุมซึ่งใช้ดินเพียงอย่างเดียวในชั้นบนสุด สามารถบำบัดได้เพียงร้อยละ 68 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพที่ดีในการบำบัดฟอสเฟต ที่เป็นสาเหตุของการเกิดยูโทรฟิเคชั่น

Narinthon Mounsan 2015: Utilization of Lignite Fly Ash in Constructed Wetland Treatment System for Reducing Phosphate from Domestic Wastewater. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 91 pages.

This research was to enhance the phosphate removal efficiency of the constructed wetland treatment system by using lignite fly ash from pulp and paper industry. The phosphate removal efficiency at 96.64 was achieved from lignite fly ash 4 g per 50 mL of 10.0 ppm, the standard phosphate solution and 20 min of contact time. Experimental adsorption data fitted with Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. The column experiment was also investigated to determine the phosphate removal by filtration layers (gravel, coarse sand and fine sand) which the top layer was the mixture of lignite fly ash and soil in the ratio by weight of 1:10. The results revealed that continuous flow treatment gave the maximum removal efficiency at 99%. Therefore, the constructed wetland was simulated in square plastic tank size 51x51x54 cm. that packed with gravel 7cm, coarse sand 3 cm, fine sand 2 cm. and mixed lignite fly ash with soil (1:10) 30 cm. and growing emergent plants (*Vetiveria zizanioides* and *Typha angustifolia* Linn). The results demonstrated that the phosphate removal efficiency of two treatment plants in excess of 90% from 80 L. of wastewater from Kasetsart University collection wastewater pond were obtained while the control unit which using only soil in the top layer, about 68% was obtained. The experimental results shows that lignite fly ash has a good potential to remove phosphate which is the cause of eutrophication.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและ
คำตั้งสอนแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณ คุณน้าบังเทิง เจ้าหน้าที่ดูแลบ่อน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการไปเก็บตัวอย่างน้ำที่นำมาวิจัยในทุกๆ ครั้ง

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม รุ่น 36 ที่ให้ความช่วยเหลือ
ทั้งกำลังใจและกำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวม่วงสาร ที่คอยเป็นกำลังใจใน
การศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ ตลอดจนสนับสนุน
ทุนการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นรินทร์ ม่วงสาร

กุมภาพันธ์ 2558

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	81
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอยลึกไนต์	41
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟอสเฟตกับระยะเวลาสัมผัส	58
3 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบรรณน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	63
4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์	72
ตารางผนวกที่	
1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ้ำลอยลึกไนต์กับค่าปริมาณถ้ำลอยลึกไนต์	82
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ้ำลอยลึกไนต์กับระยะเวลาสัมผัส	82
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต ของดินในอัตราส่วนต่างๆ	83
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต ของถ้ำลอยลึกไนต์ผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	83
5 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ้ำลอยลึกไนต์	84
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ควบคุม ดินอย่างเดียว) ใช้สารละลายฟอสเฟต	84
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ควบคุม ดินอย่างเดียว) ใช้น้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	85
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ดินผสมถ้ำลอยลึกไนต์) ใช้สารละลายฟอสเฟต	85
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ดินผสมถ้ำลอยลึกไนต์) ใช้น้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับ การปลูกพืช (หญ้าแฝก) ระยะเวลาทุกวัน	86
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับดินผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ร่วมกับการปลูกพืช (หญ้าแฝก) ระยะเวลาทุกวัน	87
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับดินผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ร่วมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ระยะเวลาทุกวัน	87
13 เกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อิทธิพลของ pH ต่อปริมาณออร์ฟอสเฟตในรูปแบบต่างๆในสารละลาย	7
2	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส	8
3	วัฏจักรฟอสฟอรัส	9
4	ผลกระทบของยูโทรฟิเคชั่นต่อระบบนิเวศ มนุษย์ สัตว์นาการ ทศนียภาพ และเศรษฐกิจ	14
5	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว	20
6	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน	21
7	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	24
8	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	24
9	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	25
10	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	26
11	การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ	27
12	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	29
13	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	32
14	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	33
15	กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	34
16	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช	35
17	แบบจำลองพื้นผิวดูดซับของสมการแลงเมียร์	36
18	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	36
19	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	37
20	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท	38
21	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท	39
22	รูปร่าง และลักษณะผิวของถ้ำลอย	40
23	ลักษณะรากของหญ้าแฝก	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ลักษณะลำต้นรูปทรงแยี้	43
25	ลักษณะทางกายภาพของต้นรูปทรงแยี้ที่ปรับสภาพ	44
26	ลักษณะทางกายภาพของต้นรูปทรงแยี้ที่ปรับสภาพ	45
27	คอลัมน์แก้วและลำดับชั้นของวัสดุปลูกในการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง	52
28	กระบะปลูกพืช และชั้นวัสดุเพาะปลูก	53
29	ถ้ำลอยลิกไนต์	55
30	กราฟมาตรฐานฟอสเฟต	56
31	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์	57
32	ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ้ำลอยลิกไนต์ ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (ก.) และไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข.)	60
33	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตกับปริมาณดิน	61
34	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตถ้ำลอยลิกไนต์ต่อดิน	62
35	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟตกับปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ไหลผ่านคอลัมน์แบบต่อเนื่อง	64
36	กราฟเบรคทิจ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ กับปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ผ่านคอลัมน์แบบแบบไหลต่อเนื่อง	65
37	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟตกับปริมาณน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ไหลผ่านคอลัมน์แบบต่อเนื่อง	66
38	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ กับปริมาณน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ผ่านคอลัมน์แบบแบบไหลต่อเนื่อง	67
39	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต แบบคอลัมน์ ระหว่างใช้ดินผสมถ้ำลอยลิกไนต์ กับชุดควบคุมที่ใช้ดินอย่างเดียว	68
40	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต แบบคอลัมน์ ระหว่างใช้ดินผสมถ้ำลอยลิกไนต์ กับชุดควบคุมที่ใช้ดินอย่างเดียว	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	กระเบาะเพาะปลูกจำลองระบบแบบบึงประดิษฐ์โดยปลูก หญ้าแฝก และรูปถ่าย	69
42	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ระหว่างกระเบาะที่ใช้วัสดุปลูกเป็นดินผสมถ้ำลอยลิกไนต์กับกระเบาะที่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก	70
43	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ระหว่างกระเบาะที่ใช้วัสดุปลูกเป็นดินผสมถ้ำลอยลิกไนต์ ร่วมกับการปลูกรูปถ่ายและหญ้าแฝก	71

การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เพื่อลดฟอสเฟตจากน้ำเสียชุมชน

Utilization of Lignite Fly Ash in Constructed Wetland Treatment System for Reducing Phosphate from Domestic Wastewater

คำนำ

น้ำเสียชุมชนมีโอกาสดเกิด การปนเปื้อนของธาตุฟอสฟอรัสทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปริมาณสูง ได้เนื่องจากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ปัญหาที่เกิดจากธาตุฟอสฟอรัสคือ สารประกอบฟอสฟอรัส จะสะสมอยู่ในรูปแบบของตะกอนต่างๆ โดยมีผลต่อสีและกลิ่นของน้ำทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำต่ำลง เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ (จิระวิทย์, 2548) และทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในแหล่งน้ำที่มีการปล่อยน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตสูง (Zohary, 1987) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารสูง ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชและเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ และการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

โดยผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีแบบบึงประดิษฐ์ ให้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตสูง และใช้กากของเสียอุตสาหกรรมให้เป็นประโยชน์ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษานำเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นกากของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตเชื้อและกระดาษ ที่มีการใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต โดยในแต่ละปีมีเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณมาก ตัวอย่างเช่น โรงงานผลิตกระดาษเช่น เอสซีจี เปเปอร์ มีปริมาณมากถึง 49,000 ตัน/ปี (บริษัท เอสซีจี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน), 2555) ซึ่งในแต่ละปีเถ้าลอยลิกไนต์เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการฝังกลบถมที่ดิน หรือการนำไปขายเป็นส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์ แต่ยังมีเถ้าลอยลิกไนต์อีกปริมาณมากที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์

โดยเถ้าลอยลิกไนต์ มีคุณลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน ผู้วิจัยจึงศึกษาโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับดินเป็นวัสดุปลูกชั้นบนสุดของชั้นวัสดุปลูกอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นชั้นกรองในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์แบบไหลผ่านได้ผิวดักกลาง ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ฤๅษี และหญ้าแฝก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์โดยใช้ถ้ำลอยลิกไนต์
2. เพื่อนำถ้ำลอยลิกไนต์ที่เป็นของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในทางสิ่งแวดล้อม



การตรวจเอกสาร

สิขสิทธิ์ มทาวิตยาลัยเกษตรศาสตร์

1. น้ำเสีย

1.1 นิยามและความหมายของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2535) ได้ให้ความหมายไว้ว่า “น้ำเสีย ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น”

กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ให้ความหมายกว้างๆ ที่แสดงถึงกำเนิดน้ำเสียว่า “น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ไม่ต้องการหรือใช้แล้วระบายทิ้ง น้ำใช้แล้วจากชุมชนอาจประกอบด้วยสิ่งปะปนที่คิดมาจากกิจกรรมที่อยู่อาศัย ธุรกิจ โรงงาน อุตสาหกรรม และสถาบันต่างๆ รวมกับน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำฝน”

1.2 ประเภทของน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

แบ่งแหล่งกำเนิดน้ำเสียออกเป็น 3 แหล่ง สาเหตุการเกิดมลพิษทางน้ำหรือสาเหตุของการเกิดน้ำเน่าหรือน้ำเสียมาจากการปล่อยน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด หรือมีการบำบัดแต่เป็นการบำบัดที่ไม่มีประสิทธิภาพ สามารถจำแนกแหล่งที่มาของน้ำทิ้งหรือน้ำเสียได้ดังนี้

1.2.1 น้ำเสียชุมชน เป็นน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ จากกิจกรรมของคน บ้านเรือน ชุมชน และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดมาก่อน น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัย ภัตตาคาร โรงแรม สถานที่ทำงาน ย่านการค้า ตลาด เป็นต้น

1.2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปใช้น้ำในปริมาณมากน้อยต่างกัน น้ำที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องมือและพื้นที่ในโรงงานและน้ำทิ้งจากโรงงาน จะเป็นน้ำเสียไหลลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง บางโรงงานอาจมีวัสดุเหลือจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภทปนไปกับน้ำทิ้งทั้งหมดนี้ เป็นเหตุให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่า สกปรกเหม็น มีสารพิษปะปนอยู่กลายเป็นมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น น้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมก็มีส่วนทำ ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม หากใช้น้ำมันโดยขาดความระมัดระวัง เช่น การเทน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วลงน้ำ ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงแม่น้ำลำ คลองเช่นนี้ จะมีการปนน้ำมันลอยเป็นฝ้าทำให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศไม่สามารถจะละลายลงไปใน น้ำมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำขาดก๊าซออกซิเจน ยิ่งกว่านั้นถ้ามีการปนน้ำมันคลุมผิวพื้นน้ำ แสงแดดส่องลอดลงไปได้น้ำไม่ได้ ทำให้พืชในน้ำบางชนิดไม่สามารถสร้างอาหารและเจริญเติบโต แล้วยังมีผลเสียต่อเนื่องทำให้สัตว์ในน้ำตายด้วย เพราะพิษเล็ก ๆ ในน้ำ ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์ตาย เพราะน้ำเสีย

1.2.3 น้ำเสียจากการเกษตร ได้แก่ ในการเพาะปลูกปัจจุบันนี้ เกษตรกรใช้สารเคมีมาก ขึ้น เช่น ปุ๋ย สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งบางชนิดสลายด้วยยาก สารอาจจะตกค้างอยู่ตามพืชผักผลไม้ ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค และบางส่วนอาจจะกระจายอยู่ตามพื้นดิน เมื่อฝนตกน้ำฝนจะชะล้าง สิ่งเหล่านี้ลงแม่น้ำลำคลอง เป็นเหตุให้กุ้ง ปลา หอย ปู และสัตว์น้ำอื่นๆ เป็นอันตรายถึงตายได้ ถ้า สัตว์น้ำได้รับสารเคมีบางชนิดในปริมาณไม่มากก็อาจสะสมอยู่ในตัวสัตว์ เมื่อคนจับสัตว์น้ำเหล่านี้ มาทำอาหาร สาร เคมีนั้นก็จะเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายของคนอีกทอดหนึ่งบริเวณเพาะปลูกอาจมี มูลสัตว์ปนอยู่ เมื่อฝนตกหรือเมื่อใช้น้ำรดพืชผักผลไม้ น้ำก็จะชะล้างสิ่งปฏิกูล คือมูลสัตว์นี้ลงสู่ แม่น้ำลำคลอง ในมูลสัตว์อาจมีเชื้อโรคและพยาธิปนอยู่เป็นเหตุให้ผู้ใช้แม่น้ำลำคลองได้รับเชื้อโรค จากสิ่งปฏิกูลนั้นได้ น้ำเสียจากการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ เช่น ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งน้ำเสียจาก ฟาร์มจะมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ ซึ่งปริมาณความมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ และการจัดการน้ำ เสียของฟาร์มนั้นๆ ส่วนน้ำเสียจากการเกษตรกรรมนั้นจะมีการเจือปนของปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะปุ๋ยที่มี องค์ประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเมื่อลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้วทำให้เกิด ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Eutrophication ซึ่งจะกล่าวต่อไป นอกจากปุ๋ยแล้วน้ำเสียยังอาจมีการเจือปน ยาปราบวัชพืชและยาปราบศัตรูพืชอีกด้วย

1.2.4 น้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ เช่น

ก. น้ำเสียจากสนามกอล์ฟ ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนปุ๋ยเคมี ยาปราบวัชพืช และยาปราบศัตรูพืช

ข. น้ำเสียจากกองขยะ เป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนหลากหลายตั้งแต่สารอินทรีย์ โลหะหนัก สารพิษและเชื้อโรคต่างๆ

ค. น้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ การทำเหมืองแร่มีผลให้น้ำปนเปื้อนสารพิษ โลหะหนักในรูปของตะกั่ว แคดเมียม เหล็ก เป็นต้น

2. ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่พบในน้ำธรรมชาติ และในน้ำทั้งส่วนใหญ่อยู่ในรูปต่างๆ เช่นอยู่ในรูปของ ออร์โธฟอสเฟต คอนเดนส์ฟอสเฟต หรืออยู่ในรูปของอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำทั้งส่วนใหญ่อยู่ในรูปต่างๆ ของฟอสเฟต ฟอสเฟตอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ หรืออยู่ในรูปที่เป็นสารแขวนลอย หรืออยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิต น้ำที่มาจากการซักผ้าหรือการทำความสะอาดอื่นๆ ที่ใช้ผงซักฟอก จะพบว่ามีฟอสเฟตอยู่มาก เพราะฟอสเฟตเป็น building block ของผงซักฟอก ฟอสเฟตใช้ในกระบวนการควบคุมการตกตะกอนใน boilers นอกจากนั้นแล้ว สารประกอบออร์โธฟอสเฟตยังใช้มาก ในการกลีกรรรมคือใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งจะถูกระบายลงไปในแม่น้ำลำคลองเมื่อมีฝนตกทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากน้ำมีฟอสเฟตมากที่เรียกว่า Eutrophication ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ สำหรับอินทรีย์ฟอสเฟตนั้นเกิดจากกระบวนการทางชีววิทยา มักพบในน้ำทั้ง สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำ ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต อนินทรีย์ฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ทั้งนี้เนื่องจาก ฟอสฟอรัสเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงถูกจัดให้เป็นปัจจัยจำกัด (limiting factors) ฟอสฟอรัสในน้ำโดยปกติจะถูกเปลี่ยนรูประหว่างสารอินทรีย์และ สารอนินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลาย และกระบวนการสังเคราะห์แสงเสมอ (Mencely, 1979)

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นจากการใช้ผงซักฟอกในครัวเรือน ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่พบในน้ำเสียชุมชนไทยมีค่าอยู่ในช่วง 2-10

มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้หมด น้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียจึงเติมปริมาณฟอสฟอรัสให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติตลอดเวลา

2.1 รูปของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปของแข็ง สารแขวนลอย และสารละลาย โดยฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียมีลักษณะที่ต่างกัน (กรรณิการ์, 2544) และ (อุบลวรรณ, 2536) ดังนี้

2.1.1 ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรืออาจจะเรียกอีกอย่างว่าฟอสฟอรัสละลายในน้ำ สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมาก คือ Trisodium phosphate (Na_3PO_4), Disodium phosphate (Na_2HPO_4), Monosodium phosphate (NaH_2PO_4) และ Diammonium phosphate ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

2.1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบได้พบมากในน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาดเมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟตออกมา ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมาก คือ Sodium hexametaphosphate $\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$, Sodiumtripoly phosphate ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) และ Tetrasodium pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)

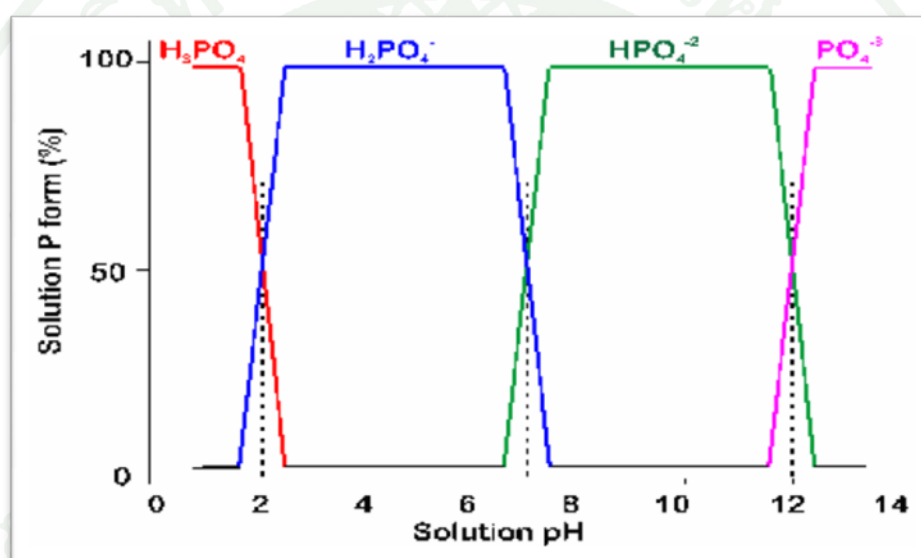
สารพวกนี้เป็น dehydrated phosphate ดังนั้นจะถูกไฮโดรไลส์ในน้ำกลับไปเป็น orthophosphate ตามเดิม อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอชที่ต่ำ การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้าถ้าอยู่ในน้ำสะอาด 4-5 วัน แต่จะเกิดได้เร็วในน้ำเสียประมาณ 20 ชั่วโมง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548)

2.1.3 สารอินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) ซึ่งได้จากกระบวนการทางชีวภาพ สารฟอสฟอรัสเหล่านี้พบได้ในสารละลาย สารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าสลายหรือเป็นองค์ประกอบในร่างการสิ่งมีชีวิต ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ที่พบมาก คือ Nucleic Acid, Phospholipids และ Sugar Phosphate

2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัส

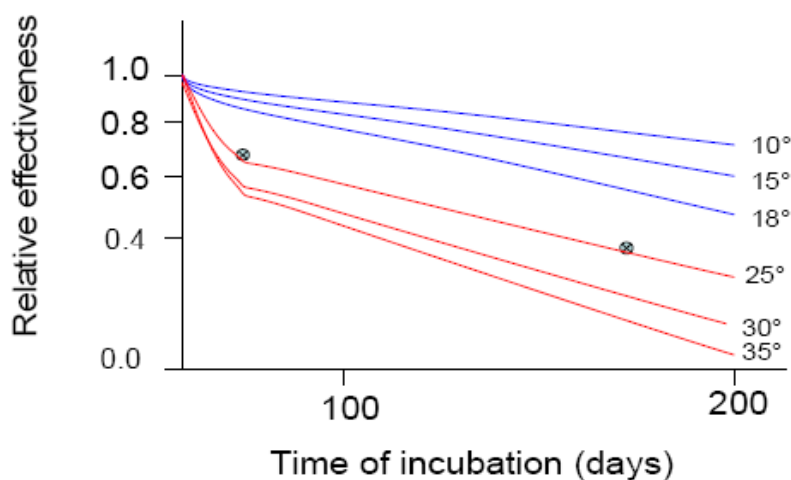
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสเฟต ไอออนจะเปลี่ยนรูปตามสภาพของค่า pH ดังภาพที่ 1

2.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัส โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 อิทธิพลของ pH ต่อปริมาณออร์โธฟอสเฟตในรูปต่างๆในสารละลาย

ที่มา: ไพรบูลย์ (2546)



ภาพที่ 2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

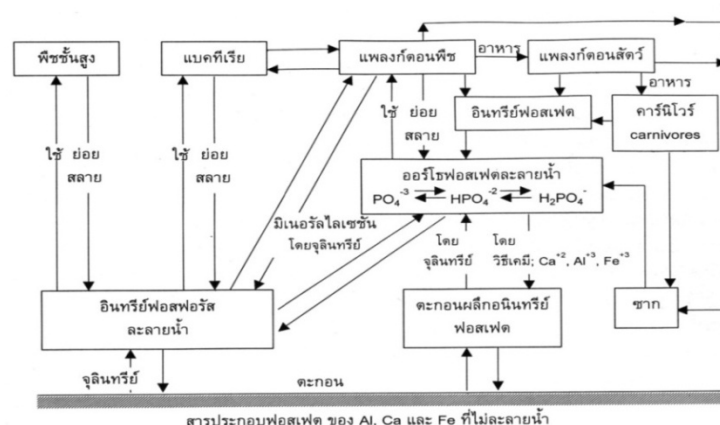
ที่มา: Barrow (1974)

2.3 แหล่งที่มาและวัฏจักรฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีอยู่ในส่วนที่เป็นดิน เป็นส่วนใหญ่ โดยอยู่ในหินแร่และแหล่งสะสม (deposit) อื่นๆ (ยงยุทธ และ ศรีเดช, 2521) ซึ่งมักจะไม่ใช่ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดซับได้โดยตรง โดยพืชจะดูดฟอสฟอรัสในรูป H_2PO_4^- มากกว่า HPO_4^- ประมาณ 10 เท่า (Tisdale และ Nelson, 1975) ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินและในน้ำได้มาจากตะกอนดินที่ถูกพัดพามายังบริเวณนั้นๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมข้างเคียง จากของเสียและสิ่งขับถ่ายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำจากทางระบายน้ำที่ผ่านพื้นที่เกษตรกรรม จากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร (Zajic, 1971) และจากน้ำทิ้งที่มาจากแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งเมือง (Devey และ Harkness, 1975) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ แคลเซียมฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต (Chang และ Jackson, 1975) โดยที่มักจะพบอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที คือ มักถูกดูดซับอยู่กับตะกอนหรือตกตะกอนกับไอออนบางชนิดและบางส่วนถูกตรึงอยู่กับอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นรูปที่พืชใช้ไม่ได้ ในการละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชนั้น แคลเซียมฟอสเฟตละลายได้ง่ายกว่าอะลูมิเนียมฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟตละลายได้ง่ายกว่าเหล็กฟอสเฟต (Sanchez, 1976) ซึ่งฟอสฟอรัสทั้ง 3 รูปนี้ สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้โดยถูกควบคุมด้วย pH ของดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 5.5 รูปของแคลเซียมฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็ก

ฟอสเฟต ส่วนดินที่มี pH สูงกว่า 9 นั้น รูปของอะลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟตจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Hesse, 1971) อินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ฟอสฟอรัสไอออนอยู่ในรูปที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เพราะเมื่อใส่อินทรีย์วัตถุลงไปดินอินทรีย์วัตถุจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบพวซิเตรท (citrate) และออกซาเลท (oxalate) สารพวกนี้เป็นตัวการในการป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตไอออนถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินัม (Knott, 1949)

วัฏจักรฟอสฟอรัสเริ่มต้นจากการปลดปล่อยฟอสเฟตจากหิน และแร่มาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ในดิน ซึ่งมักมีความเข้มข้นต่ำ พืชและจุลินทรีย์ที่ใช้ฟอสเฟตเป็นอาหาร (phosphate fixing bacteria) จะดูดฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ไปสร้างโปรโตพลาสซึม เมื่อพืชตายหรือถูกกินโดยสัตว์ในห่วงโซ่อาหารและสัตว์ตายลง ฟอสเฟตก็จะกลับสู่ดินเข้าสู่วัฏจักรเช่นเดิม ในการปลดปล่อยฟอสเฟตจากหินและแร่แม้ว่าจะเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ปริมาณของธาตุนี้ส่วนใหญ่ก็ถูกน้ำพัดพาไปสู่ทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำอื่นๆ และตกตะกอนอยู่ในแหล่งน้ำนั้นมากมาย เหลือของฟอสเฟตบางส่วนจะตกตะกอนในที่ตื้นๆ และบางส่วนก็ลงสู่ทะเลลึก แล้วกลับขึ้นมาบนบกได้ในรูปมูลนกทะเลหรือปลาทะเล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่กลับเข้าสู่วัฏจักรแล้วพบว่าไม่สมดุลกับส่วนที่เสียไปโดยจะพบว่า พืชบกจะได้รับปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเรื่อยๆ นอกจากนี้มนุษย์ยังมีส่วนช่วยเร่งการสูญเสียฟอสฟอรัส โดยการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการชะล้าง และพังทลายสูง การใส่ปุ๋ยที่ละลายน้ำง่ายในไร่และนา ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลเพิ่มขึ้น (Odum, 1971) แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วัฏจักรฟอสฟอรัส

ที่มา: ธงชัย (2545)

2.4 แหล่งของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ ด้วยกันดังนี้ (อุบลวรรณ, 2536)

2.4.1 แหล่งธรรมชาติ เช่น การละลายหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศ ซึ่งถูกฝนพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ รวมถึงฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มีฟอสเฟตลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลของนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมในแหล่งน้ำ เป็นต้น จากการสะสมดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำได้

2.4.2 แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม แม้ว่าจะมีการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวแล้วยังคงมีฟอสฟอรัสปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำในปริมาณสูง อย่างไรก็ตามเราสามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำเหล่านี้ด้วยสาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ ซึ่ง (ธงชัย, 2536) ได้ประมาณการปล่อยสารประกอบฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

2.5 ยูโทรฟิเคชัน

2.5.1 ยูโทรฟิเคชัน เป็นสภาวะที่แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหาร (โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงกว่าปกติ ซึ่งเกิดจากการชะล้างของปุ๋ยและแหล่งธาตุอาหารต่างๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำและทะเล เป็นสาเหตุให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดบริเวณชายฝั่งในอ่าวไทย หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า จีบลาวพ โดยเกิดจากแพลงก์ตอนบางชนิดได้รับสารอาหารหรือสภาวะเหมาะสมจึงเจริญเติบโตขยาย เป็นจำนวนมากและรวดเร็ว

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในรูปของคาร์บอน สารอนินทรีย์ในโตรเจน ฟอสฟอรัส แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ โดยแหล่งคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปคาร์บอนเนตและแหล่งของไนโตรเจนนั้นได้มาจากการชะล้างของปุ๋ยจากพื้นดิน และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสมาจากหินฟอสเฟตที่มาจากการทำเหมืองแร่ อูจจาระสัตว์

ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้น อาจสรุปได้ว่าการเกิดยูโทรฟิเคชัน คือการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำ ขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง (ธงชัย, 2536)

2.6 ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

การเกิดภาวะน้ำเสียหรือมลพิษทางน้ำเป็นเหตุสำคัญประการหนึ่ง ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบหรือความเสียหายต่อทรัพยากรและคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารของพืชและเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลต่างๆในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตนอกจากนี้ยังทำหน้าที่พื้นฐานในกลไกการสังเคราะห์แสงด้วย ย่อมส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

ผลกระทบที่เกิดจากยูโทรฟิเคชัน ปัจจุบันยูโทรฟิเคชัน กำลังกลายเป็นปัญหาสำคัญของแหล่งน้ำ ทั่วโลกอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การพัฒนาทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศและคุณภาพของแหล่งน้ำ รวมทั้งความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ จากระบบนิเวศ ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อีกทั้ง แพลงก์ตอนพืชบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) สามารถสร้างสารพิษในกลุ่ม (Cyanotoxin) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chorus and Bartram (1999) ที่ได้รวบรวม การสำรวจสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษ รวมทั้งแหล่งที่พบและผู้ที่อ้างถึงในหนังสือ Toxic cyanobacteria in water ซึ่งการรวบรวม ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปัจจุบันสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษได้ถูกพบว่ามี จำนวนชนิดเพิ่มขึ้น และพบมากขึ้นในทุกพื้นที่ทั่วโลก นอกจากนี้ ยังพบว่าสาหร่ายพิษหลายชนิดมีความสามารถสร้างสารพิษได้มากกว่า 1 ชนิด และสารพิษจากสาหร่ายเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำก็จะเป็น สาเหตุการตายของปลาและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ หากรับประทานปลาที่มีสารพิษในกลุ่มดังกล่าว ผลกระทบโดยทั่วไปของยูโทรฟิเคชันต่อระบบนิเวศมีความเชื่อมโยงกับสุขภาพของมนุษย์ กิจกรรมสันทนาการ ทศนิยภาพเชิงพื้นที่ และเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของยูโทรฟิเคชันที่มีความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงต่อระบบนิเวศ มนุษย์ สันทนาการ ทศนิยภาพ และเศรษฐกิจ โดยเมื่อเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ จะส่งผลให้ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไปเพราะแพลงก์ตอนพืชบางชนิดจะสร้างสารพิษและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำปลาและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ จะกินเข้าไปและสะสมสารพิษไว้และตายในที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความ

หลากหลายทางชีวภาพของแหล่งน้ำ นั้น ๆ ลดลง และเมื่อมนุษย์นำ ปลาหรือสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นั้นไปรับประทานก็จะได้รับสารพิษที่สะสมอยู่ในปลาหรือสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นั้นส่งผลต่อสุขภาพทา เกิดการเจ็บป่วยต้องเสียเงินในการรักษาซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น นอกจากนั้นเมื่อแพลงก์ตอนพืชสร้างสารพิษและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำ ให้ลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำ เปลี่ยนแปลงไป (กลิ่น และสีของแหล่งน้ำ) ทำ ให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเมื่อเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำแล้วไม่ส่งผลดีต่อ สังคมเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (Smith *et al*, 1999)

ฟอสฟอรัส เป็นสารอาหารตัวหนึ่งที่ปริมาณความเข้มข้นของมันเป็นตัวจำกัดความเจริญของสาหร่ายในทะเลสาบ พบว่าสาหร่ายใช้ฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต ได้โดยการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของสาหร่ายโดยตรง ส่วนฟอสฟอรัสในรูปอื่นสาหร่ายจะใช้ได้หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ด้วยเอนไซม์จำพวกฟอสฟาเทสที่สาหร่ายผลิตเองหรือแบคทีเรียต่างๆ เอนไซม์นี้จะอยู่ที่ผนังเซลล์ของสาหร่าย แต่อาจพบภายนอกเซลล์ก็ได้ ในพวกไดอะตอมบางชนิดในทะเล โดยธรรมชาติแบคทีเรียกับสาหร่ายจะแย่งชิงอาหารกัน รวมทั้งฟอสฟอรัสด้วย ถึงแม้ว่าแบคทีเรียจะมีประสิทธิภาพในการแย่งชิงมากกว่า แต่แบคทีเรียมีช่วงชีวิตสั้นเมื่อแบคทีเรียตายลงจะปล่อยฟอสฟอรัสออกมาให้สาหร่ายอีก (สิทธิชัย, 2549)

สาหร่ายที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นนั้นเมื่อตายลงจะเป็นตะกอนจมลงสู่เบื้องล่างและจะเกิดการย่อยสลายโดยกระบวนการเติมออกซิเจน ในตะกอนนั้นทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำที่ระดับความลึกต่างๆกันถูกใช้ไป ปลาน้ำลึกหลายชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณค่อนข้างมาก จะถูกแทนที่ด้วยปลาน้ำลึกชนิดอื่นที่ต้องการออกซิเจนน้อยมาก ผลลัพธ์คือทำให้อาหารสัตว์น้ำและถ้าขาดออกซิเจนมากก็จะเกิดจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic micro-organisms) ในกระบวนการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลเสียต่อคุณภาพน้ำ

ผลกระทบต่อการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ คือ แม่น้ำ ลำคลอง เมื่อเกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นในแหล่งน้ำนั้น จะทำให้ออกซิเจนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาเพื่อการบริโภคและค่าใช้จ่ายเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆจะต้องเพิ่มสูงขึ้น (วรรณิกา , 2532)

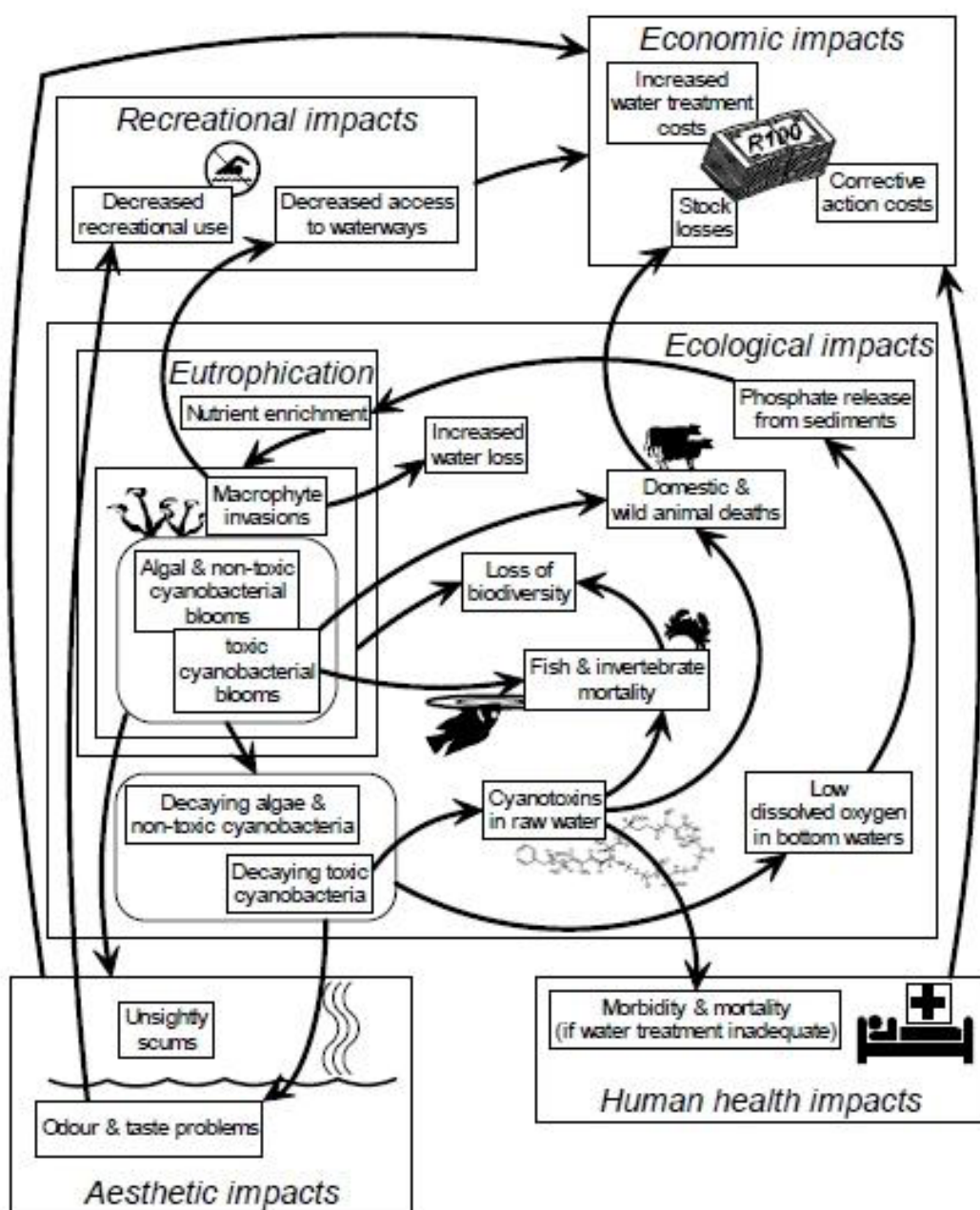
ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข พิชิต (2531) อธิบายว่า น้ำโสโครกหรือน้ำเสียอาจทำให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคและแมลง เนื่องจากอาจมีเชื้อโรคปนเปื้อนติดตามมาแล้วเจริญพันธุ์เพิ่มจำนวนมากขึ้นโดยอาศัยสารอาหารจากอินทรีย์สารในน้ำเสีย และเมื่อมีการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำ โอกาสที่เชื้อโรคจะแพร่กระจายก็จะมีมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การรวบรวมและกำจัดน้ำเสียไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ก็จะก่อให้เกิดแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงรบกวนได้อีกด้วย

ก่อให้เกิดเหตุรำคาญ เหตุรำคาญที่เกิดขึ้นที่สำคัญ คือ กลิ่นเหม็น ทั้งที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียโดยตรงและที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำเสียรวมทั้งกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ โดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีเหตุรำคาญเนื่องจากการท่วมขังของน้ำเสีย ที่มีผลกระทบต่อการอาศัยและการสัญจรไปมา 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

Potential negative impacts of eutrophication



ภาพที่ 4 ผลกระทบของยูโทรฟิเคชันต่อระบบนิเวศ มนุษย์ สัตว์น้ำ การทัศนียภาพ และเศรษฐกิจ

ที่มา: Smith *et al.* (1999)

2.6 เทคโนโลยีในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

2.6.1 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องมีอาหารเพียงพอในการสร้างเซลล์ซึ่งแบ่งสารอาหารของจุลินทรีย์ได้เป็น 4 จำพวก คือ 1. สารประกอบซึ่งให้คาร์บอนในโตรเจน ฟอสฟอรัส 2. สารประกอบซึ่งให้พลังงานในการดำรงชีวิต 3. สารอนินทรีย์ 4. สารที่ต้องการเพียงพอล็กน้อย โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการแร่ธาตุหลักได้แก่ โปรตัสเซียม แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โคบอลต์ แมกนีเซียม และทองแดง ซึ่งในน้ำเสียชุมชนจะมีสารอาหารเหล่านี้เพียงพอในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ถ้าน้ำเสียอุตสาหกรรมอาจขาดแร่ธาตุบางอย่างไป จึงจำเป็นต้องเติมลงไป เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ออกซิเจนมีสูตรโมเลกุล $C_3H_7O_2 NP_{0.2}$ ประกอบด้วยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยน้ำหนักในสัดส่วนร้อยละ 11.2 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำเอาไนโตรเจนมาใช้ได้แอมโมเนีย ไนเตรตแลไนไตรท์ ส่วนฟอสฟอรัสนั้นแบคทีเรียจะใช้รูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายในน้ำได้ (PO_4^{3-}) โดยอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 : 5 : 1 (Metcalf and Eddy, 1991)

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยทางชีวภาพ โดยการดูดซับออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปแบบของเนื้อเยื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในรูปตะกอน มีร้อยละ 10-30 ของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัด (ธงชัย, 2536) โดยจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่ใช้ฟอสฟอรัสในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ สังเคราะห์สาร และถ่ายทอดพลังงานของเซลล์นั้น แต่ยังสามารถเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เป็นพลังงานสะสมที่ใช้โอกาสและสภาวะไร้โอกาสสามารถทำได้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เรียกว่า “Mainstream” ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสในตะกอนจุลินทรีย์ที่สูบกลับ (Return Sludge) เรียกว่า “Sidestream”

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่นิยมใช้กันมาก มีหลักการในสภาวะไร้โอกาสซึ่งมีค่าการคงสูง จุลินทรีย์จะใช้พลังงานในรูปสารประกอบโพลีฟอสเฟตและจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกจากเซลล์ เพื่อที่จะใช้สารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่ายคือกรดไขมัน แต่เมื่อจุลินทรีย์ถูกป้อนเข้าสู่บริเวณที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์จะพยายามสะสมฟอสฟอรัสในรูปของ

โพสฟอรัสเฟดไว้ในเซลล์ในปริมาณมากกว่าปกติ (uptake) นั่นคือ ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดออกจากน้ำในรูปตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้หลักการสร้างสภาวะที่เปลี่ยนแปลงระหว่างไร้อากาศและใช้อากาศ

เพื่อให้ได้รับที่ต่อเนื่อง จะต้องมีการเคลื่อนที่ของเซลล์จุลินทรีย์ไปพร้อมกับน้ำเสียที่จะบำบัดในถังที่สร้างสภาวะต่างกัน ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีวภาพจึงใช้ประกอบได้กับระบบเดิมที่เป็นระบบเอ เอส แต่ไม่สามารถใช้กับระบบโปรยกรอง (tricking-filter) หรือไม่เหมาะสมเมื่อระบบเดิมเป็นระบบคลองหมุนเวียน ระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพนี้สามารถปริมาณฟอสฟอรัสให้เหลือระดับความเข้มข้น 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เช่น ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งระบบบำบัด (effluent) เนื่องจาก ในตะกอนมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่ประมาณร้อยละ 5 นอกจากนี้ยังขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (BOD) ต่อฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ซึ่งควรมีมากกว่า 10:1 (ธงชัย, 2536)

2.6.2 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี ที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลายในมาอยู่ในรูปของตะกอน ซึ่งจะแยกออกจากสารละลายนั้นได้ การตกตะกอนทางเคมีขึ้นอยู่กับสภาวะที่สมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายในน้ำของสารนั้นๆ ซึ่งการตกตะกอนทางเคมีมีหลายวิธี โดยมีกระบวนการเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกันดังนี้ (อุบลวรรณ, 2536)

ก. ใส่สารเคมีสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย

ข. ใส่สารซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของการละลายน้ำ ให้เลื่อนมาถึงจุดที่สารละลายในน้ำไม่สามารถได้อีกต่อไป จึงเกิดการรวมตัวและตกตะกอน

ค. เปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิมตัว หรือเกือบอิมตัวไปในทิศทางที่ทำให้ค่าการละลายลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะของแข็ง เนื่องจากค่าการละลายน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ

กระบวนการการตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการที่แตกต่างจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เพราะการตกตะกอนทางเคมีเป็นการเติมสารที่ใหญ่และหนักจนตัวได้ ส่วนใหญ่ โคแอกกูเลชันเป็นการเติมสารเคมีเพื่อให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ ในทางปฏิบัติการตกตะกอนทางเคมีมักถูกเรียกรวมๆ กันไปเป็นโคแอกกูเลชัน

ในปัจจุบันสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสมีหลายชนิด (จารุวรรณ, 2538) ได้แก่

1) เบนโทไนท์ (Bentonite) เบนโทไนท์ร้อยละ 55 และสารอินทรีย์ร้อยละ 45 ซึ่งอยู่ในรูปแบบอูมิเนียมออกไซด์, เฟอรัสออกไซด์, ซิลิกอนออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มีข้อดีคือ ใช้น้ำที่มีความขุ่นเพื่อเพิ่มเป่าสัมผัสในน้ำสามารถดูดซับประจุบวกได้ดี ราคาถูก หาได้ง่าย ตะกอนที่มีน้ำหนักจึงตกตัวลงเร็ว พิเศษไม่มีผลต่อตะกอน มีแต่ข้อเสียคือมันจะจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว เมื่อใส่ลงไปใต้น้ำทีเดียว ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนิยมหรือกวนให้ก้อนดินแตกก่อนแล้วค่อยผสมลงในน้ำ

2) ปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีข้อดีคือ มีราคาถูก สร้างตะกอนได้ดี ทำให้พิเศษหลังตกตะกอนมีค่าสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะเกิดตะกอนมาก ทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดได้โดยปูนขาวทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างและฟอสฟอรัสในน้ำเสียเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์อาพาไทต์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

3) อูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม มีข้อดีดังนี้ ราคาถูก หาซื้อง่าย จับตัวเป็นก้อนกับคอลลอยด์ได้ดี ใช้งานง่าย สะดวกสบาย ละลายน้ำได้ 86.9 ส่วนต่อน้ำ 100 ส่วนที่ 0 องศา แต่ข้อเสียคือ เป็นเกลือของกรดที่ละลายน้ำได้ดี เกิดสภาพกรดทำให้เกิดการกัดกร่อน ภาชนะที่ใช้งานตลอดจนคอนกรีต ทำให้เกิดสภาวะกระด้างถาวร ต้องเพิ่มความเป็นกรดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน แต่ถ้าเพิ่มความเป็นด่างมากเกินไปจะเกิดความคงทนของสีในน้ำได้ เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เพิ่มการกัดกร่อน ปฏิกิริยามักจะเกิดไม่สมบูรณ์ ถ้าในน้ำมีปริมาณคอลลอยด์มาก บ้างครั้งอาจไปขัดขวางปฏิกิริยาได้ สารส้มที่เหลือทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดมากทำให้อุดตัน

4) เฟอร์รัสซัลเฟต หรือ Copperas มีข้อดีดังนี้ ตะกอนที่ได้ที่พีเอชกว้างประมาณ 4-11 เวลาในการตกตะกอนและรวมตัวให้เกิดตะกอนจะสั้นกว่าสารส้ม ตะกอนที่ได้จะมีขนาดใหญ่ มีเหล็กออกสู่น้ำทิ้งน้อย ประหยัดกว่าสารส้ม ราคาถูกกว่า แต่มีข้อเสีย มักให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง เกิดการกัดกร่อน

2.6.3 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางกายภาพ

จะใช้กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) โดยใช้สารดูดซับ (Adsorbent) เป็นตัวดูดซับฟอสเฟต adsorbent ที่ใช้ เช่น Activated Alumina (เพ็ญ, 2543) นอกจากนี้ยังมีการใช้ adsorbent อื่นๆ มากำจัดฟอสฟอรัสซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 99 ในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย อีกทั้งวิธีการยังไม่ยุ่งยากจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญที่จะประยุกต์ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพในการบำบัดน้ำเสีย เช่นการดูดซับฟอสเฟตออกจากน้ำเสียโดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากของเสียจากการผลิตคอนกรีต และการกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เศษถ่านหินจากเตาหลอม เป็นต้น

2.7. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติ

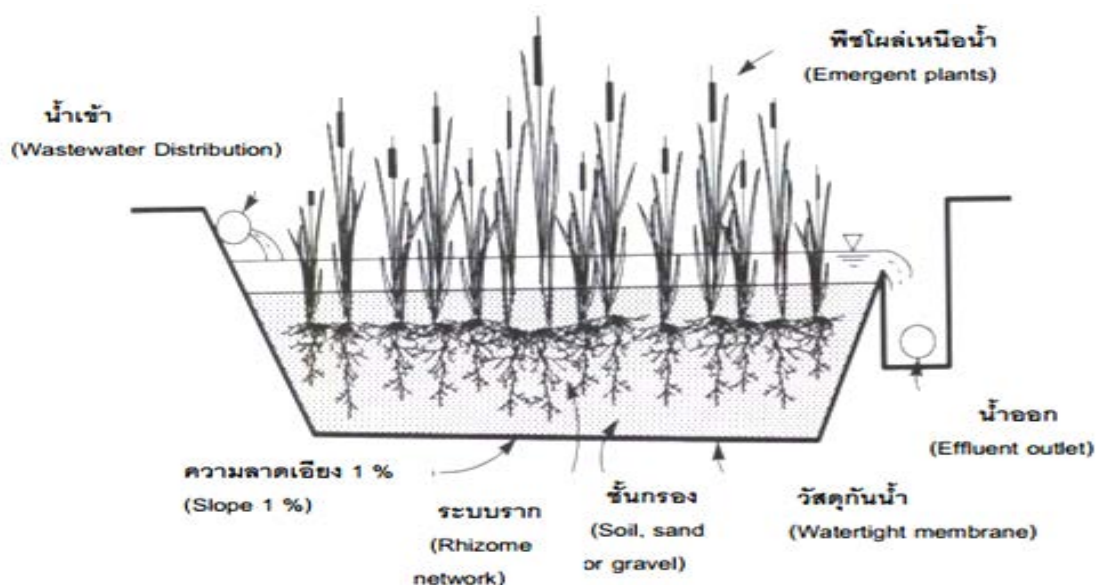
2.7.1 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ระบบการบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เป็นการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา โดยอาศัยพืชน้ำ และจุลินทรีย์ ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย โดยพืชและดินช่วยดูดซับมลสาร ส่วนจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเปลี่ยนให้เป็นสารอนินทรีย์ที่เป็นธาตุอาหารของพืช ซึ่งพืชจะดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง (ลักษณี, 2539) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะมี 2 ประเภท คือ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากกว่า สามารถออกแบบ ควบคุมสถานที่ตั้ง การไหลของน้ำ และระยะเวลาเก็บกักน้ำได้ (Bastain, 1989) โดยจะนิยมปลูกพืชประเภทโผล่พ้นน้ำ (Emergent Plant Constructed Wetland) ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นี้ เช่น หญ้าสตาร์ หญ้าโคสโครส แวนแกว่ ฐปญาธิ กกกกลม กกอียิปต์ แพงพวนน้ำ เป็นต้น โดยคุณลักษณะเด่นของพืชโผล่พ้นน้ำที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียคือ

ลำต้นมีลักษณะแข็งแรงกว่าพืชใต้น้ำ ใบด้านบนจะมีคิวติน (Cutin) และปากใบ (Stomata) มีระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง (Vascular system) ประกอบไปด้วยไซเลม (Xylem) และโฟลเอ็ม (Phloem) ที่เด่นชัด ทำให้มีลักษณะการทำงานเหมือนเครื่องปั๊มอากาศ (Air pump) คือลำเลียงออกซิเจนจากอากาศลงสู่ราก สามารถบำบัดบีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ฟอสเฟต (Total Phosphate) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) และสารมลพิษอื่นๆ ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบพืชไหลผ่านน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลาง (ลักษณะ, 2539; ศุวศา, 2546) ดังนี้

2.7.2 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland; FWS)

เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่น้ำเสียไหลผ่านผิวน้ำดินหรือตัวกลาง สัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นจึงไหลซึมลงสู่พื้น มีระดับน้ำลึกประมาณ 0.1 – 0.6 เมตร แต่โดยทั่วไปจะมีระดับความลึกประมาณ 0.3 เมตร พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในรูปแบบนี้อาศัยการทำงานของพืชในการบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก ซึ่งจะปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างช้าๆ ผ่านก้านต้นพืช และรากพืช เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกันอย่างช้าๆ (Plug-Flow) น้ำเสียจะไหลตามแนวขนานกับพื้นดินซึ่งมีการบดอัดดินให้แน่นหรือปูด้วยวัสดุกันซึม โดยพืชน้ำจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ เป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลินทรีย์ เกิดการตกตะกอนโดยพืช และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ค่าบีโอดีลดลง (ศุวศา, 2546) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวแสดงในภาพที่ 5



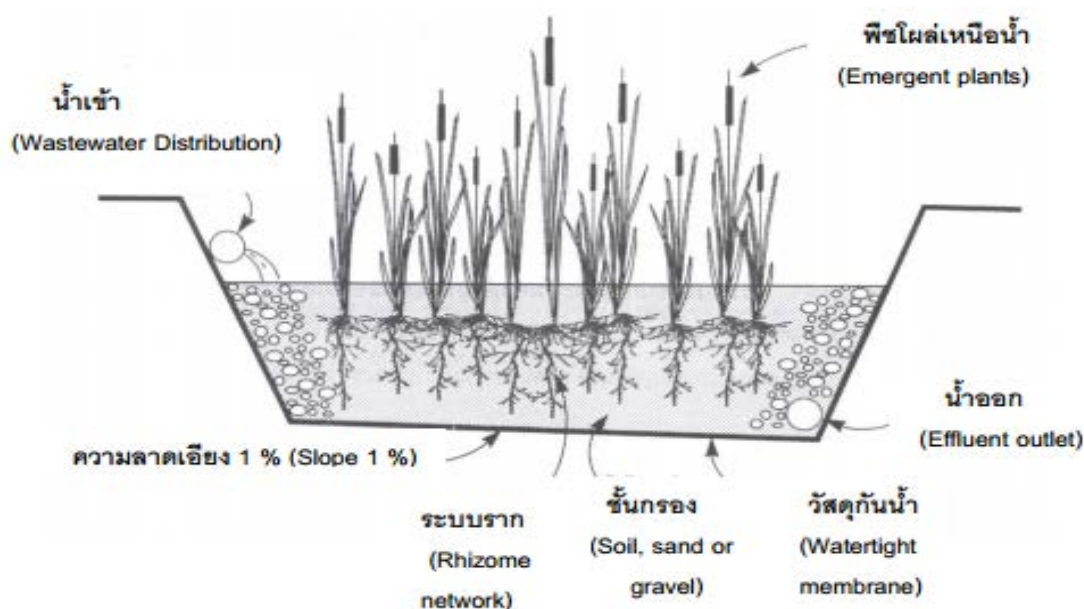
ภาพที่ 5 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Flow Constructed Wetland; FWS)

ที่มา: สุชาดา (2548)

2.7.3 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow Constructed Wetland; SF)

เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยผ่านลงไปในพื้นที่ที่มีพืชน้ำขึ้นอยู่ ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกหินบด กรวด หรือดินชนิดต่างๆ ซึ่งตัวกลางอาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันได้ (ลักขณิ, 2539) ความหนาแน่นตัวกลางประมาณ 0.6 – 0.7 เมตร ด้านล่างอัดด้วยดินเหนียวหรือวัสดุกันซึม เพื่อรักษาระดับน้ำซึ่งจะต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (สุชาดา, 2546) โดยที่ทางน้ำเข้าจะไหลผ่านข้างใต้ชั้นตัวกลางในแนวนอนหรือแนวตั้งได้ และทางน้ำออกอยู่ลึกจากผิวดินตัวกลางประมาณ 0.3 – 0.6 เมตร (ระดับน้ำอยู่เท่ากันหรือต่ำกว่าผิวดิน) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ระบบนี้ น้ำเสียที่ผ่านเข้าระบบจะถูกบำบัดระหว่างสัมผัสพื้นผิวดินตัวกลางและรากพืชซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่ โดยสารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์จะตกตะกอนภายในตัวกลาง ส่วนสารที่ละลายได้จะถูกดูดซับที่ผิวของตัวกลางและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ธาตุอาหารในน้ำเสียจะลดลงเนื่องจากกลไกการดูดซึมของพืช (วัชรพงษ์, 2554) ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีปริมาณ

สารอินทรีย์ปานกลาง ที่มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 30 – 175 มิลลิกรัม/ลิตร (United States Environmental Protection Agency, 2000) โดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลาง แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลาง (Subsurface Flow Constructed Wetland; SF)

ที่มา: สุชาดา (2548)

3. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูด

ซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่นการเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับ จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การย่อยสลายด้วยแสง หรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และคณะ, 2550)

3.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

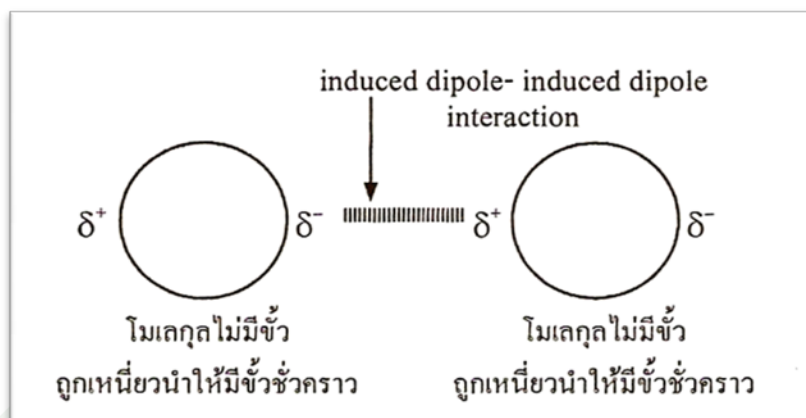
3.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

3.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

3.2 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

3.2.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับการดูดซับแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal force) คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โคเวเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โคเวเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้วต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น โดยแรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

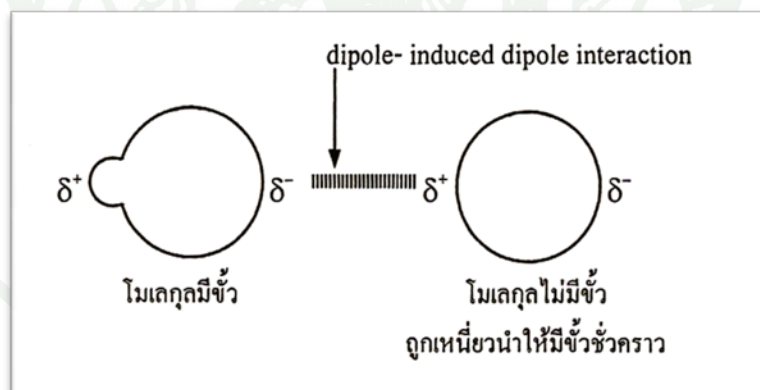
ก. แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งเรียกว่า แรงลอนดอน หรือแรงแผ่กระจาย (Dispersion force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีอำนาจขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราวขึ้นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

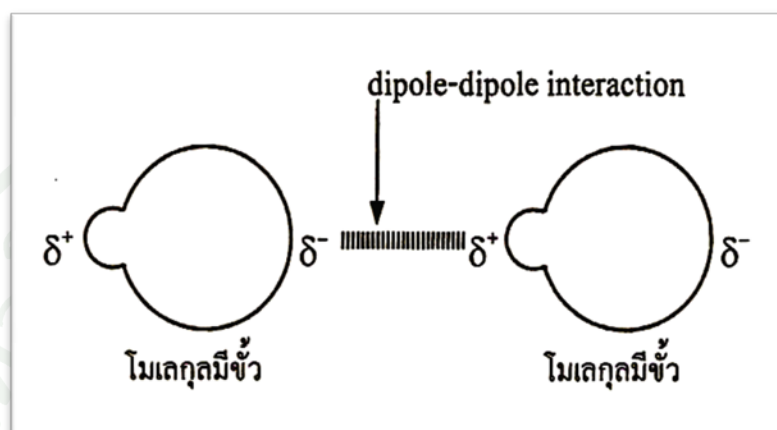
ข. แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลมีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ค. แรงแวนเดอร์วาลส์ ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก และอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจไฟฟ้าลบจึงดึงดูดกัน เรียกว่า แรงไดโพลไดโพล ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

3.2.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี

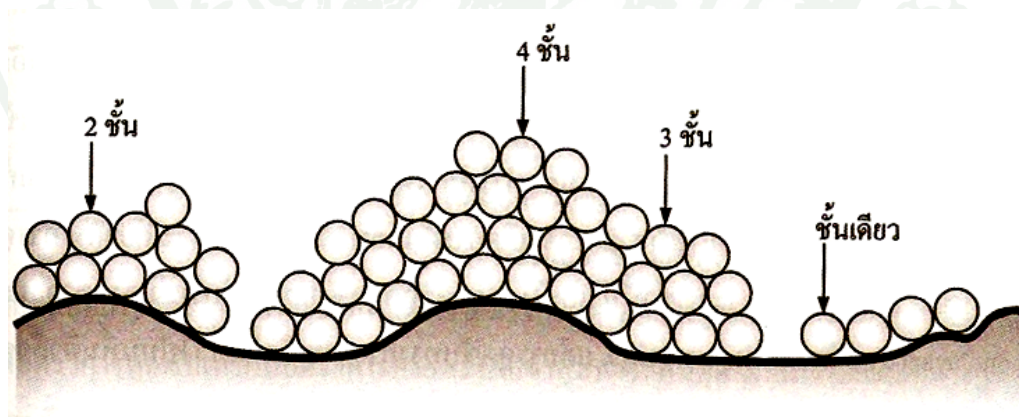
แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโคเวเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกันโดยเกิดสมมูลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน) การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible process) จึงไม่เกิดการคาย

3.3 รูปแบบของการดูดซับ

สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

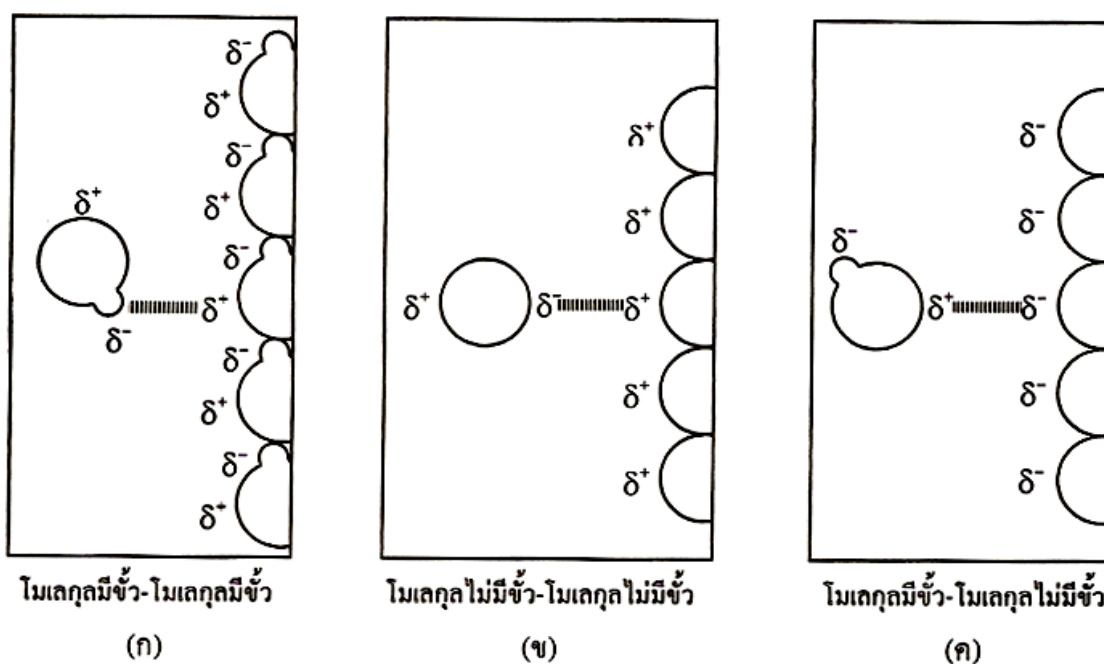
3.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Physical Adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพลและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลง เป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้นดังภาพที่ 10 และ 11

3.3.2 การดูดซับแบบเคมี (Chemisorption) คือ การเกิดพันธะเคมีหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ในลักษณะเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป ดังนั้น การดูดซับประเภทนี้จึงต้องการพลังงานกระตุ้นเช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทั่วไป ดังนั้น การดูดซับจึงมักเกิดขึ้นได้ช้าหรือเกิดขึ้นได้เร็ว ณ อุณหภูมิสูงๆ และการดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น



ภาพที่ 10 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 11 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ

- หมายเหตุ ภาพ (ก) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็นโมเลกุลมีขั้วทั้งคู่ภาพ
- (ข) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่ ภาพ
- (ค) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และกณิตา (2550)

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

3.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่พื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น

คาร์บอนผง(Powder Activated Carbon,PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon,GAC)

3.4.2 ขนาดและลักษณะของตัวดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับเช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายใน ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง

3.4.3 อัตราเร็วการปั่นกว่น อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่การปั่นกว่นของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกว่นต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้น การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับในตรงกันข้าม ถ้าการปั่นกว่นสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

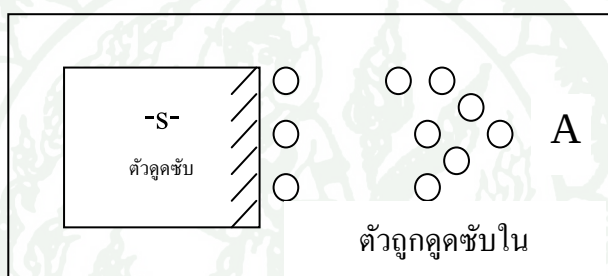
3.4.4 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้น จึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

3.4.5 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

3.4.6 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสกับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

3.5 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในการละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย สถานะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

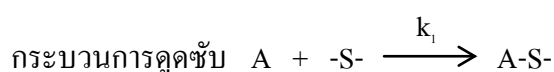
ที่มา: นิพนธ์ และกณิดา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมลต่อลิตรในการละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

$(1 - q)$ เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = k_1[C](1-q)$$



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$r_2 = k_2(q)$$

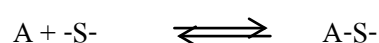
ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

$$k_1[C](1-q) = k_2(q)$$

$$\frac{q}{(1-q)} = \frac{k_1}{k_2}[C] = K[C]$$

$$q = \frac{K[C]}{1+K[C]} \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



$$\text{ณ สภาวะสมดุล} \quad K = \frac{q}{C} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$q_W = V(C_i - C_e) \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น มิลลิกรัม หรือ มิลลิกรัม

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม กรัม หรือ กิโลกรัม

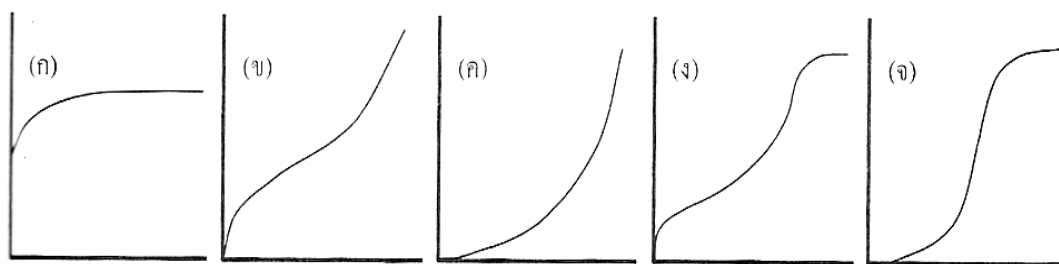
V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลิตร

C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายหน่วยความเข้มข้นเป็น โมลาร์

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยความเข้มข้นเป็น โมลาร์

3.6 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และกนิดา (2550)

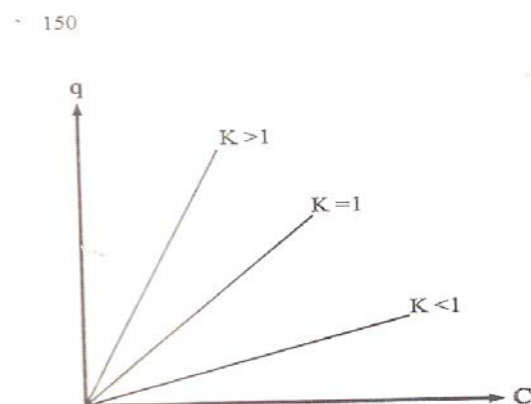
จากภาพที่ 12 (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะกล่าวถึง 4 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

3.6.1 สมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C

$$\text{จะได้} \quad K = \frac{q}{C}$$

$$q = KC$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

3.6.2 สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Adsorption Surface พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรอนด์ลิช (Freundlich Constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป

$1/n$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง เมื่อจัดรูปสมการที่ (4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(5)$$

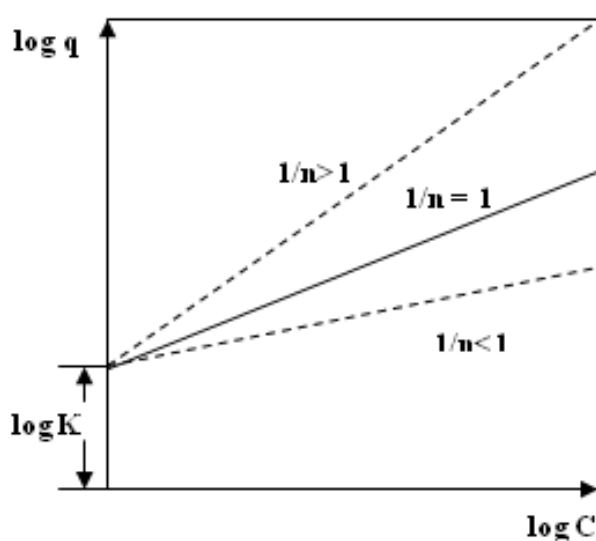
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลื่ออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

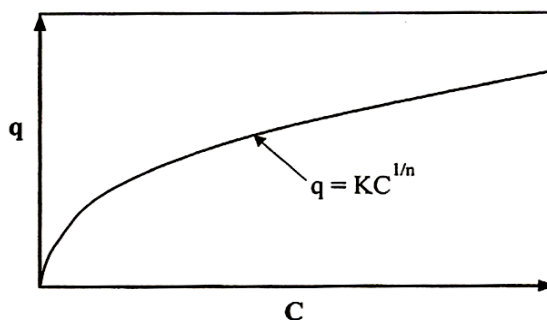
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่ามีบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (5) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถเกิดการซ้อนทับกันได้ ดังภาพที่ 16

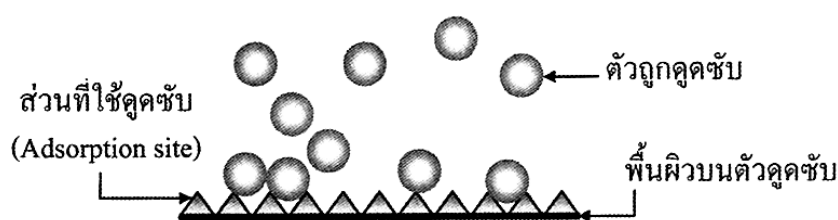


ภาพที่ 16 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

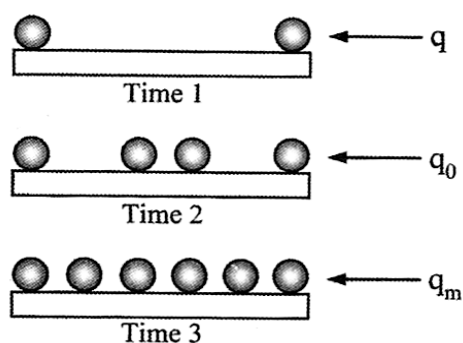
3.6.3 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีข้อกำหนดว่าพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะ

จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ不会再มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18



ภาพที่ 17 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 18 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมการการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์ จะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \dots\dots\dots(6)$$

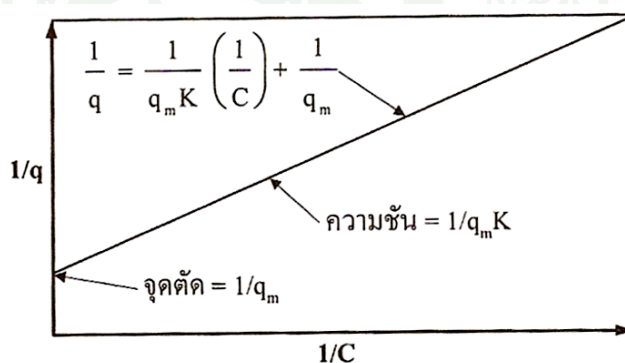
เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \dots\dots\dots(7)$$

q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{K q_m}$ และจุดตัดบนแกน

ตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

3.6.4 สมการดูดซับแบบเบท (Brunauer Emmett Teller หรือ BET adsorption isotherm)

ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่านในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett และ Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

ก. การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบหลายชั้น

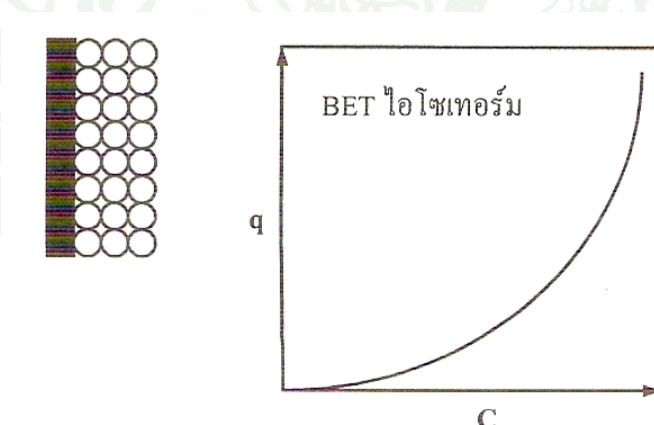
ข. โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ค. ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน

ง. แต่ละชั้นของการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป โดยสมการการดูดซับแบบแบดส์ถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$Q = \frac{q_m K C}{[C_0 - C][1 + (K-1)C/C_0]} \quad \dots\dots\dots(8)$$

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท

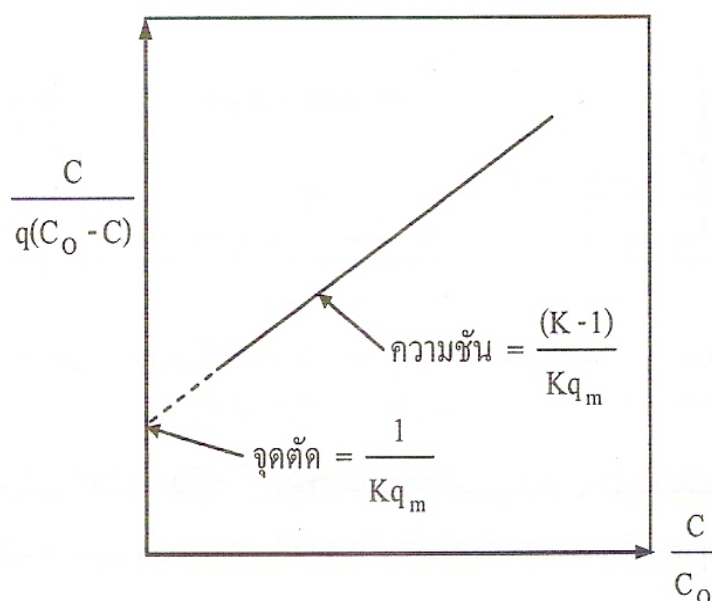
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (8) ใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_0 - C)} = \frac{1}{q_m K} + \frac{K-1}{q_m K} \left(\frac{C}{C_0} \right) \quad \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q[C_0 - C]}$ กับ ค่า $\frac{C}{C_0}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ

$$\frac{(K-1)}{Kq_m} \text{ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ } \frac{1}{Kq_m} \text{ ดังภาพที่ 21}$$



ภาพที่ 21 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

4. แก๊สละลายในน้ำ

4.1 สภาพของแก๊สละลายในน้ำ

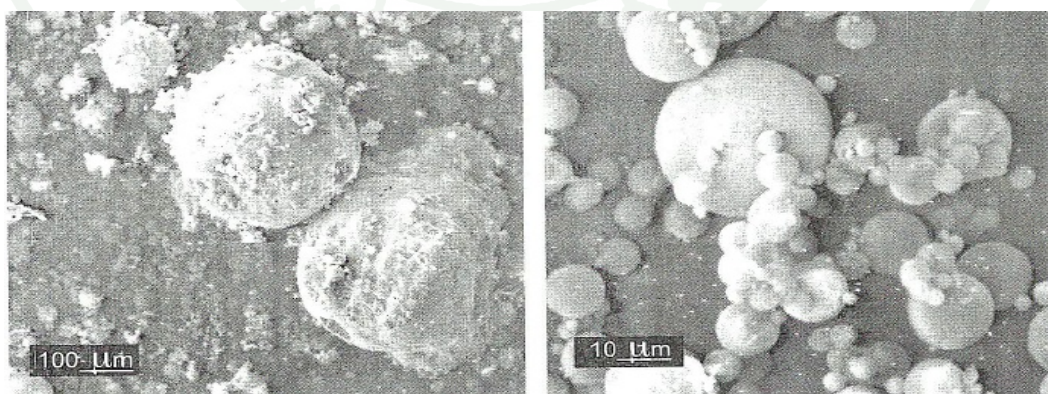
แก๊สละลายในน้ำเป็นของเสียจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ ถ่านหินลิกไนต์เมื่อถูกบดละเอียดและส่งเข้าไปในเตาเผาไหม้ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ความร้อนในเตาเผาจะช่วยให้ปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุที่มีอยู่ให้เป็นแร่ธาตุในรูปของออกไซด์ของโลหะที่ซับซ้อนหลายชนิด โดยแก๊สละลายในน้ำจะมี 2 สภาพ คือ

4.1.1 เถ้าหนัก (Bottom ash หรือ Wet ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการปะทะของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาป อุณหภูมิบริเวณนี้สูงพอที่จะหลอมเถ้าที่จะปะทะกันเป็นเม็ดหรือก้อนตกลงสู่กันเตา บางส่วนของเถ้าปะทะกับผนังเตาและหลอมติดรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ เมื่อน้ำหนักรวมกันมากเข้าจนเกาะติดผนังไม่ไหวก็จะหล่นลงสู่กันเตา

4.1.2 เถ้าลอย (Fly Ash ,Pulverized Fuel Ash หรือ dry ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการเผาถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เถ้าจะถูกแยกออกจากลมร้อนที่พัดไปสู่ปล่องควัน และถูกจับไว้ที่เครื่องตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้า แล้วถูกรวบรวมไว้ที่เก็บขี้เถ้าปริมาณของเถ้าหนักและเถ้าลอยที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหินในเตาจะมีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักถ่านหินที่เผา

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

เมื่อเถ้าถ่านหินที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้ ถ่านหินจะสันดาปและหลอมละลายที่อุณหภูมิสูง เถ้าถ่านหินจะเริ่มเย็นลง หลังออกจากเตาเผา ผลจากการที่หลอมละลายทำให้เถ้าลอยที่ได้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลมและอยู่ในสถานะแก้ว เถ้าลอยส่วนหนึ่งเกิดจากการปะทะกันของเถ้าถ่านหินขนาดเล็ก ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ขนาดยังคงไม่ใหญ่มากนักจึงสามารถลอยตามอากาศร้อนไปได้ มีรูปร่างไม่แน่นอน ผิวขรุขระและมีรูเล็กๆที่ผิว เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูง ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 รูปร่าง และลักษณะผิวของเถ้าลอย

ที่มา: ปริญญา (2547)

4.3 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

จากการส่งตัวอย่างของเถ้าลอยลิกไนต์ไปตรวจสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่าในเถ้าลอยลิกไนต์ประกอบด้วย ซิลิกอนออกไซด์ร้อยละ 40.89 โดยน้ำหนัก แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 14.54 โดยน้ำหนัก อะลูมินัมออกไซด์ร้อยละ 13.33 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบอื่นๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าลอยลิกไนต์ (ร้อยละ)
SiO ₂	40.89
CaO	14.54
Al ₂ O ₃	13.33
SO ₃	2.71
K ₂ O	2.25
MgO	2.08
MnO	0.39
Fe ₂ O ₃	19.79
P ₂ O ₅	0.57
TiO ₂	0.48
LOI	0.35

หมายเหตุ LOI (Loss On Ignition) คือ ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา หรือคาร์บอนที่มีในเถ้าลอย

ที่มา: วรวิทย์ และคณะ (2553)

4.3.1 หญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*)

หญ้าแฝก เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลหญ้าชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ ข้าวโพดข้าวฟ่าง อ้อย ขึ้นเป็นกอ หน่อเบียดกันแน่น ใบของหญ้าแฝกมีลักษณะแคบยาวขอบขนานปลายสอบ

แหลม ด้านท้องใบจะมีสีจางกว่าด้านหลังใบ มีรากเป็นระบบรากฝอยที่สานกันแน่นยาวห้อยลึก แผ่กระจายลงดินในแนวดิ่ง จึงช่วยอุ้มน้ำและยึดเหนี่ยวดินได้มั่นคง และเมื่อนำมาปลูกเป็นแถวชิดติดกันอย่างแน่นหนา จะช่วยคักตะกอนดิน รักษาหน้าดินได้ดี เพิ่มคุณภาพดินโดยการฟื้นฟูโครงสร้างดินที่สูญเสียธาตุอาหารให้กลับคืนสู่ความสมบูรณ์ ซึ่งพบกระจายอยู่ทั่วไปหลายพื้นที่ตามธรรมชาติ ลักษณะรากหญ้าแฝก แสดงดังภาพที่ 4 และจากการสำรวจพบว่ามีกระจายอยู่ทั่วโลกประมาณ 12 ชนิด โดยสำรวจพบในประเทศไทย 2 ชนิด ได้แก่

ก. กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกกลุ่ม(*Vetiveria zizanioides*) พบในพื้นที่ลุ่ม กอเป็นพุ่มสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเหนียวรากยาวได้ถึง 3 เมตร ได้แก่ พันธุ์สุราษฎร์ธานี กำแพงเพชร 2 ศรีลังกา สงขลา 3 และพระราชทาน

ข. กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกดอน(*Vetiveria nemoralis*) พบในพื้นที่แล้ง ปลายใบแผ่โค้งลงคล้ายตะไคร้ ใบเขียวซีด เนื้อใบหยาบมีรากยาวสุดแค่ 1 เมตร ได้แก่ พันธุ์ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด กำแพงเพชร 1 นครสวรรค์ และเลย เป็นต้น



ภาพที่ 23 ลักษณะรากของหญ้าแฝก

ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาหญ้าแฝก (2554)

กรมพัฒนาที่ดิน (2541) กล่าวว่า ผลของอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้น และกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์บริเวณรากหญ้าแฝก รวมทั้งการมีความชื้นที่ยาวนานขึ้น สภาพดินจึงมีการพัฒนาและความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในดินช่วยให้พืชดูดธาตุอาหาร

จากดินได้เพิ่มขึ้นและยังสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีโลหะหนัก ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงมีการนำหญ้าแฝกมาปลูก เพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทและดูดซับโลหะหนักจากดิน

4.3.2 รูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.)

รูปฤาษีเป็นพืชล้มลุก มีเหง้าแข็ง เป็นใบเดี่ยวแตกแบบสลับกันเป็นสองแถว ด้านข้างลักษณะใบรูปแถบแบน กว้าง 1-2 ม. แผ่นใบบนนูนโค้งขึ้นเล็กน้อย ดังภาพที่ 5 ดอกสีน้ำตาลออกเป็นช่อ แยกเพศก้านเดียวกันก้านช่อดอกเรียวแข็งสูงเกือบเท่าใบ ดอกเพศผู้เป็นกลุ่มหลวมๆ ที่ปลายช่อ ยาว 15 -30 ซม.ดอกย่อยมีเกสรเพศผู้ 2-3 อันและมีขนรูปช้อน 3 เส้น ดอกเพศเมียอยู่ด้านล่าง ดอกย่อยอัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอก ยาว 28 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ซม. รังไข่มีก้านยาวและขนสีขาวจำนวนมาก ผล เมื่อแก่แตกตามยาวมีขนาดเล็กมาก มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาและยุโรป ปัจจุบันแพร่กระจายไปทั่วโลก พบตามที่ชื้นแฉะหรือแหล่งน้ำตื้น



ภาพที่ 24 ลักษณะลำต้นรูปฤาษี

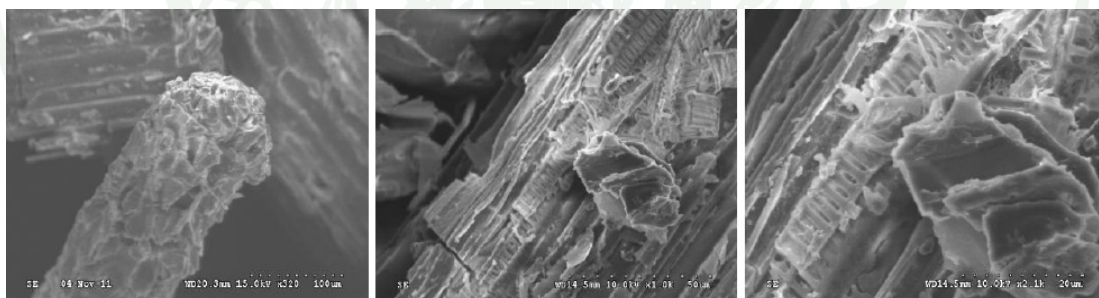
ที่มา: สำนักงานหอพรรณไม้ (2557)

สุมล (2557) ได้ทำการวิจัยพบว่ารูปฤาษีช่วยลดค่าพีเอชจากโรงงานฟอกย้อมที่มีความเป็นด่างสูงประมาณ 10-11 ให้เหลือเพียง 7-8 ซึ่งเป็นสภาพที่มีค่าความเป็นกลางมาก นอกจากนี้ลักษณะสีที่ไม่พึงประสงค์ที่ปล่อยออกจากโรงงานหลังจากผ่านการบำบัด น้ำที่เคยมีสีแดงหรือสีน้ำตาลแดงจะจางลง และยังลดความเป็นพิษในน้ำได้ จากการศึกษาโครงสร้างภายในของ

ต้นรูปถาญี ซึ่งมิกุณสมบัติในการคูดน้ำและธาตุอาหารเบรียบดงเซลล์ฟองน้ำ (Spongy cell) เมื่อทำ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ SEM-EDX และ XRD พบว่าภายในมืองค์ประกอบของหมู่อซิลิกอน และ หมู่แคลเซียมปะปนอยู่ ซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบในการคูดซับสี จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของ สีจากน้ำที่ผ่านการบำบัด สามารถอธิบายได้ว่า ต้นรูปถาญีจะเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสีที่มี ขนาดใหญ่ให้เล็กลง และคาดว่าจุลินทรีย์ตามธรรมชาติภายในดินจะสามารถย่อยสลายโมเลกุลของ สีให้หมดได้

Boyde (1970) พบว่ารูปถาญีมีความสามารถในการเจริญเติบโตในน้ำที่มีความ เป็นกรดเป็นด่างและความเค็มได้ และด้วยลำต้นรูปถาญีทำให้มีความสามารถในการคูดน้ำและธาตุ อาหารอย่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง

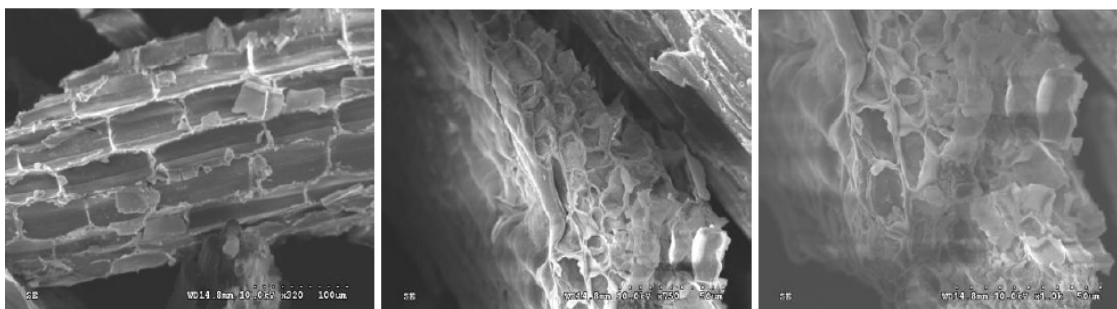
อารยา และ วริดา (2554) ได้ใช้รูปถาญีเป็นตัวคูดซับโลหะหนัก Ni^{2+} , Cd^{2+} และ Pb^{2+} จึงได้มีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวคูดซับ ด้วยเครื่องมือ Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่ารูปพรุนของรูปถาญีที่ไม่ปรับสภาพ ที่กำลังขยาย 320, 1,000 และ 2,100 เท่า มีลักษณะดังภาพที่ 25 ตามลำดับ



ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของต้นรูปถาญีที่ปรับสภาพ

ที่มา: อารยา และวริดา (2554)

นอกจากนี้แล้ว เมื่อทำการทดลองปรับสภาพของต้นรูปถาญีที่กำลังขยาย 320,750 และ 1,000 เท่า ดังภาพที่ 7 ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการปรับสภาพตัวคูดซับจะทำให้มีรูปพรุน ที่ใหญ่และมีความสม่ำเสมอของรูปพรุนมากขึ้น เป็นเหตุให้มีประสิทธิภาพในการคูดซับดีขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 26 ลักษณะทางกายภาพของดินรูปภาณีที่ปรับสภาพ

ที่มา: อารยา และวิศา (2554)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดฟอสเฟต

รัตนกร (2554) งานวิจัยนี้นำเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งมาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงว่าเมื่อเปลือกหอยนางรมถูกเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยที่อุณหภูมิสูง (≥ 873 K) แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนางรมจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยชนิดของแก๊สและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและค่าความจุฟอสเฟตของวัสดุดูดซับที่ได้ ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์หรือฟรุนดลิช ทั้งนี้ค่าคงที่ในแบบจำลองขึ้นกับสภาวะที่ทำการสังเคราะห์ วัสดุดูดซับที่มีค่าความจุฟอสเฟตสูงเตรียมได้จากการเผาเปลือกหอยนางรมภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่ 873 เคลวิน โดยการดูดซับฟอสเฟตสูงสุด (583.5 mg-P/g)

ทศรัตน์ (2555) งานวิจัยได้นำถั่วลยถิกไนต์และถั่วลยปาล์มน้ำมันมาเป็นตัวดูดซับใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยการศึกษาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาสภาวะเหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัส ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ พีเอช (5.0-8.0) อุณหภูมิสูง (30-60 องศาเซลเซียส) ความเร็วในการเขย่า (0-200 รอบ/นาที) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (10-50 มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณตัวดูดซับ (1-5 กรัม) พบว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดในสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 7 อุณหภูมิสูง 30 องศาเซลเซียส ความเร็วในการเขย่า 150 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที สำหรับถั่วลยถิกไนต์และถั่วลยปาล์มน้ำมัน ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้สามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 99.91 และ 99.22 ตามลำดับ รูปแบบกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถั่ว

ลอยลิกไนต์และถ่านลิกไนต์น้ำมันโดยการทดลองแบบเบตซ์สอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนดิช ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพชรบุรี โดยใช้ถ่านลิกไนต์และถ่านลิกไนต์น้ำมัน ตามสภาวะที่เหมาะสมสามารถบำบัดได้ร้อยละ 94.47 และ 76.64 ตามลำดับ

Hultman (1993) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนพร้อมกันในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยการทดลองใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามด้วยการกรองแบบไหลย้อนขึ้น พบว่าสามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียให้เหลือต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

Wu Deyi (2007) ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลาย พบว่าซีโอไลต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟต โดยซีโอไลต์ที่มีปริมาณแคลเซียมมากจะดูดซับได้ดีกว่าซีโอไลต์ที่มีปริมาณที่มีแคลเซียมน้อยอีกทั้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH และการแลกเปลี่ยนประจุ โดยอุณหภูมิสูงซีโอไลต์จะดูดซับฟอสเฟตได้ดีกว่าแอมโมเนีย และซีโอไลต์แอมโมเนียได้ดีช่วง pH 5.5-10.5 และซีโอไลต์จะดูดซับฟอสเฟตได้ดีช่วง pH ต่ำกว่า 5 และ pH สูงกว่า 9 ทั้งนี้ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นมีผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 1.2 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ DO-Meter, pH-Meter, Turbidity-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 0.00 กรัม
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 0.0001 กรัม
- 1.5 ตู้อบ (Oven)
- 1.6 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
- 1.7 ชุดคอลัมน์แก้วพร้อมแคมป์และขาตั้ง
- 1.8 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ Whatman
- 1.9 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2. สารเคมี

- 2.1 โพแทสเซียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4)
- 2.2 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid; H_2SO_4)
- 2.3 แอมโมเนียม โมลิบเดต (Ammonium Molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_4\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 2.4 แอนติโมนี โพแทสเซียม ทาร์เตรต (Antimony potassium tartrate, $\text{KSbO C}_4\text{H}_4\text{C}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)
- 2.5 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

3. เถ้าลอยลิกไนต์

เป็นเถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ 100% ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด

4. วัสดุปลูกและกระบะปลูก

4.1 วัสดุปลูกได้แก่ ดินนาผสมทราย, กรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด

4.2 กระบะปลูกมีลักษณะเป็นกระบะพลาสติกสี่เหลี่ยมขนาด 51x51x54 เซนติเมตร

5. พืชที่ใช้ปลูก

ได้แก่ ต้นหญ้าแฝกและรูปถ่าย

6. น้ำเสีย

น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายมาตรฐานสต็อกฟอสเฟตเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1098 กรัม (ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง) ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิตร ด้วยน้ำกลั่น ในขวดปริมาตร ควรเตรียมใช้ใหม่ทุกครั้ง

1.2 สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต็อกฟอสเฟต จากข้อ 1.1 มา 10.0 มิลลิลิตร ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 100.0 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับปริมาตร

1.3 รีเอเจนต์ A (reagent A)

1.3.1 สารละลายซัลฟิวริก

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริก 138.9 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 1.0 ลิตร

1.3.2 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 4% w/v

ชั่งแอมโมเนียมโมลิบเดต 12 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางจนปริมาตรเป็น 250.0 มิลลิลิตร

1.3.3 สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต

ชั่งแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต 0.298 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางจนปริมาตรเป็น 100.0 มิลลิลิตร

1.3.4 นำสารละลายข้อ 1.3.1 1.3.2 และ 1.3.3 มาเทรวมกันในขวดปรับปริมาตรให้เป็น 2.0 ลิตร

1.4 รีเอเจนต์ (reagent B)

ชั่งแอสคอร์บิก 1.056 กรัม ผสมด้วยรีเอเจนต์ A 200.0 มิลลิลิตร

2. การเตรียมตัวดูดซับ

นำแก้วลอยลิกันต์ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อและกระดาษ อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น เพื่อไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 ppm ปริมาตร 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0 และ 50.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50.0 มิลลิลิตร แต่ละขวดเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟตเข้มข้น 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 10.0 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมรีเอเจนต์ B ปริมาตร 8.0 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด เขย่า เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จะเกิดสีน้ำเงิน นำสารละลายมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายแบล็ก(ใช้น้ำกลั่น 10.0 มิลลิลิตร แทนสารละลายมาตรฐานและทำการทดลองเช่นเดียวกัน)

3.3 เขียนกราฟมาตรฐานฟอสเฟตโดยแกน X คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและแกน Y คือค่าดูดกลืนแสง

4. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และไอโซเทอร์มการดูดซับโดยการทดลองแบบแบตช์

4.1 ศึกษาปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสม

ชั่งเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เติมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน วิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต เช่นเดียวกับข้อ 3.2 และเปรียบเทียบหาความเข้มข้นฟอสเฟตจากกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 3.3 และคำนวณประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต

4.2 ศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ถ้ำลอยลิกไนต์บำบัดฟอสเฟต โดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิตรต่อปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ที่ศึกษาได้ในข้อ 4.1 ทุกการทดลองแปรผันระยะเวลาสัมผัสเป็น 10, 20, 30, 60 และ 90 นาที ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 4.1

4.3 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 แต่ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาข้อ 4.2 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ เขียนไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

4.4 ศึกษาปริมาณดิน

ดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นดินนาผสมทรายในอัตราส่วน 1:3 ทำการทดลองโดยชั่งดินนาปนทรายปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อสารละลายฟอสเฟต 50.0 มิลลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาสัมผัสที่ศึกษาได้จากการทดลองข้อ 4.2 และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต

4.5 ศึกษาอัตราส่วนถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินที่เหมาะสม

ทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิตรแปรผันอัตราส่วนโดยน้ำหนักถ้ำลอยลิกไนต์ต่อดินเป็น 1:2, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:40 ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 4.1

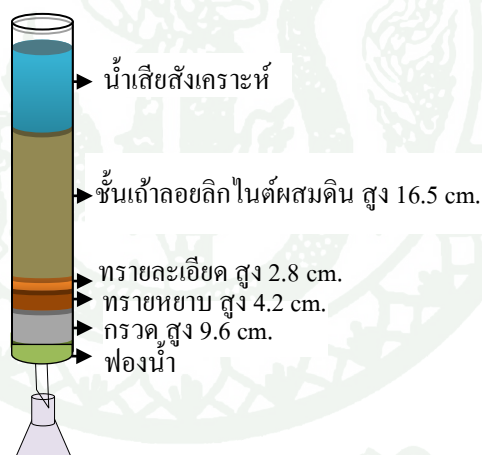
5. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบ่อรวบรวมของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1 ทำการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้น ดังต่อไปนี้ พีเอช, ดี, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ, การนำไฟฟ้า, ความขุ่น, ความเค็ม, บีโอดีและซีโอดี เป็นต้น ส่วนพารามิเตอร์ที่มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด คือ ฟอสเฟต

5.2 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อรวบรวมของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์น่านน้ำเสียมากรองด้วยกระดาษกรองและทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 3.2

6. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ้ำลอยลิกไนต์ ในสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียจากบ่อรวบรวมของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการทดลองแบบคอลัมน์

6.1 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทรายหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2.8 เซนติเมตร และถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินที่ได้จากการศึกษาข้อที่ 4.5



ภาพที่ 27 ลำดับชั้นของวัสดุปลูกในคอลัมน์

6.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบบำบัดแบบไหลต่อเนื่อง

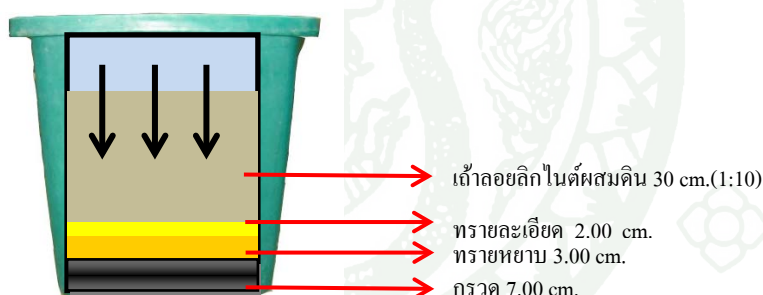
6.2.1 ทำการทดลองโดยการเติมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่เตรียมได้จากข้อ 6.1 อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตจนประสิทธิภาพลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

6.2.2 ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียจากบ่อรวบรวมของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2,000 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่เตรียมได้จากข้อ 6.1 อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตจนประสิทธิภาพลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

6.2.3 ชุดควบคุม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 6.2.1 และ 6.2.2 แต่ชั้นบนสุดใช้ดินเพียงอย่างเดียว ไม่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ เพื่อให้เป็นชุดควบคุมผลการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

7. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียจากบ่อรวบรวมของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์



ภาพที่ 28 กระบะปลูกพืช และชั้นวัสดุเพาะปลูก

ทำการทดลอง โดยใช้กระบะพลาสติกกรุปลีเหลี่ยมขนาด 52×52×54 เซนติเมตร บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทรายหยาบ 3 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2 เซนติเมตร และเถ้าลอยลิกไนต์ผสมดินที่ได้จากการศึกษาข้อที่ 4.4 และปลูกพืช 2 ชนิดคือ หญ้าแฝกและรูปฤาษี คนละกระบะจนเจริญเติบโต

7.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 150 ลิตร อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจาก กระบะทุกๆ ครึ่งชั่วโมง นำมาหาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต ทำการทดลองจน ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

7.2 ชุดควบคุม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 7.1 แต่ชั้นบนสุดใช้ดินอย่างเดียวเพื่อใช้เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองแบบเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านลอยลิกไนต์ร่วมกับระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ การทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษา ปริมาณของตัวดูดซับถ่านลอยลิกไนต์ และระยะเวลาสัมผัส และวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยใช้สมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมทั้งนำสภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ไปใช้ในการทดลองการบำบัดฟอสเฟต ส่วนที่สองเป็นการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชั้นวัสดุปลูกที่จำลองจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นกรอง และส่วนที่สามเป็นการจำลองบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ โดยนำถ่านลอยลิกไนต์มาผสมกับดินเป็นวัสดุปลูก และปลูกพืช คือ ต้นหญ้าแฝกและรูปถาวยี่ ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

1. ผลการเตรียมตัวดูดซับ

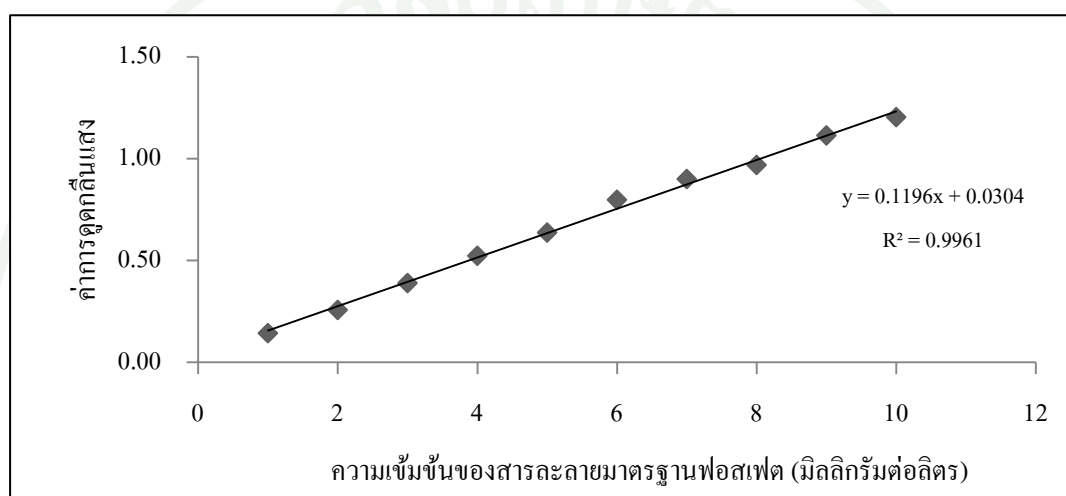
ถ่านลอยลิกไนต์ เป็นถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ 100 % ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อนำถ่านลอยลิกไนต์มาล้างน้ำ ตากให้แห้งและ อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ได้ถ่านลอยลิกไนต์มีลักษณะเป็นสีเทา ดังภาพที่ 29 ซึ่งถ่านลอยลิกไนต์นี้ถูกใช้เป็นตัวดูดซับในการศึกษาวิจัยต่อไป



ภาพที่ 29 ถ่านลอยลิกไนต์

2. กราฟมาตรฐานฟอสเฟต

กราฟมาตรฐานฟอสเฟต ที่เตรียมได้จากการทดลองข้อที่ 3.1 ดังภาพที่ 30 มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีสมการเชิงเส้นถดถอย คือ $y = 0.1196x + 0.0304$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9961 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.0200)

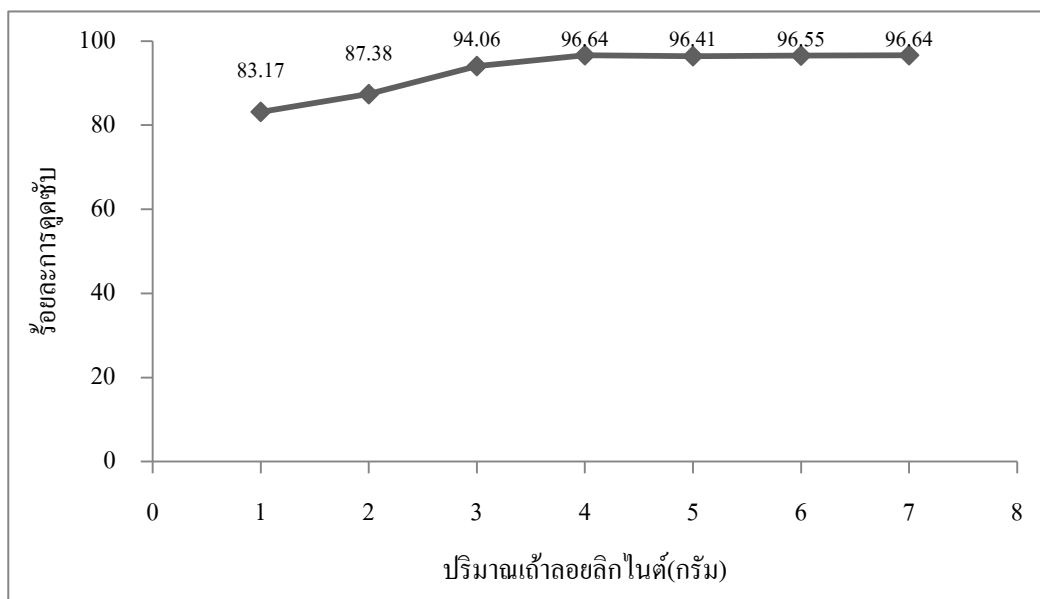


ภาพที่ 30 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต

3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสเฟตด้วยการดูดซับของถ่านลอยลิ้นไต้ โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

3.1 ผลการศึกษาปริมาณถ่านลอยลิ้นไต้

จากการทดลองในวิธีการทดลองข้อที่ 4.1 แปรผันปริมาณถ่านลอยลิ้นไต้ตั้งแต่ 1 ถึง 8 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50 มิลลิลิตร และระยะเวลาสัมผัส 20 นาที พบว่าถ่านลอยลิ้นไต้มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต ดังแสดงในภาพที่ 31 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านลอยลิ้นไต้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ปริมาณถ่านลอยลิ้นไต้ 4 กรัม มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตสูงสุดคือร้อยละ 96.64 แสดงในภาพที่ 31 ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณถ่านลอยลิ้นไต้ 4 กรัมในการศึกษาและทดลองปัจจัยอื่นๆ ต่อไป



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟต กับปริมาณธาตุฟอสฟอรัส

3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส

จากการทดลองในวิธีการทดลองข้อที่ 4.2 ใช้ธาตุฟอสฟอรัสปริมาณ 4 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร แปรผันระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 10, 20, 30, 60 และ 90 นาที พบว่าธาตุฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตได้ผลดีตั้งแต่เริ่มสัมผัสเนื่องจากธาตุฟอสฟอรัสมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูง จึงทำให้ธาตุฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสาร โดยผลการทดลองระยะเวลาสัมผัสพบว่าธาตุฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตร้อยละ 99.00 ตั้งแต่ระยะเวลาสัมผัสเพียง 1 นาที เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 อธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้นทำให้มลสารมีโอกาสสัมผัส หรือถูกดูดซับด้วยธาตุฟอสฟอรัสได้มากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับมีจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550) เนื่องจากผลร้อยละการดูดซับที่ใกล้เคียงกันทุกระยะเวลาสัมผัส เพื่อประหยัดเวลาในการกำจัดและสะดวกในการทดลองแบบคอลัมน์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีบำบัดแบบไหลต่อเนื่อง

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟอสเฟตกับระยะเวลาสัมผัส

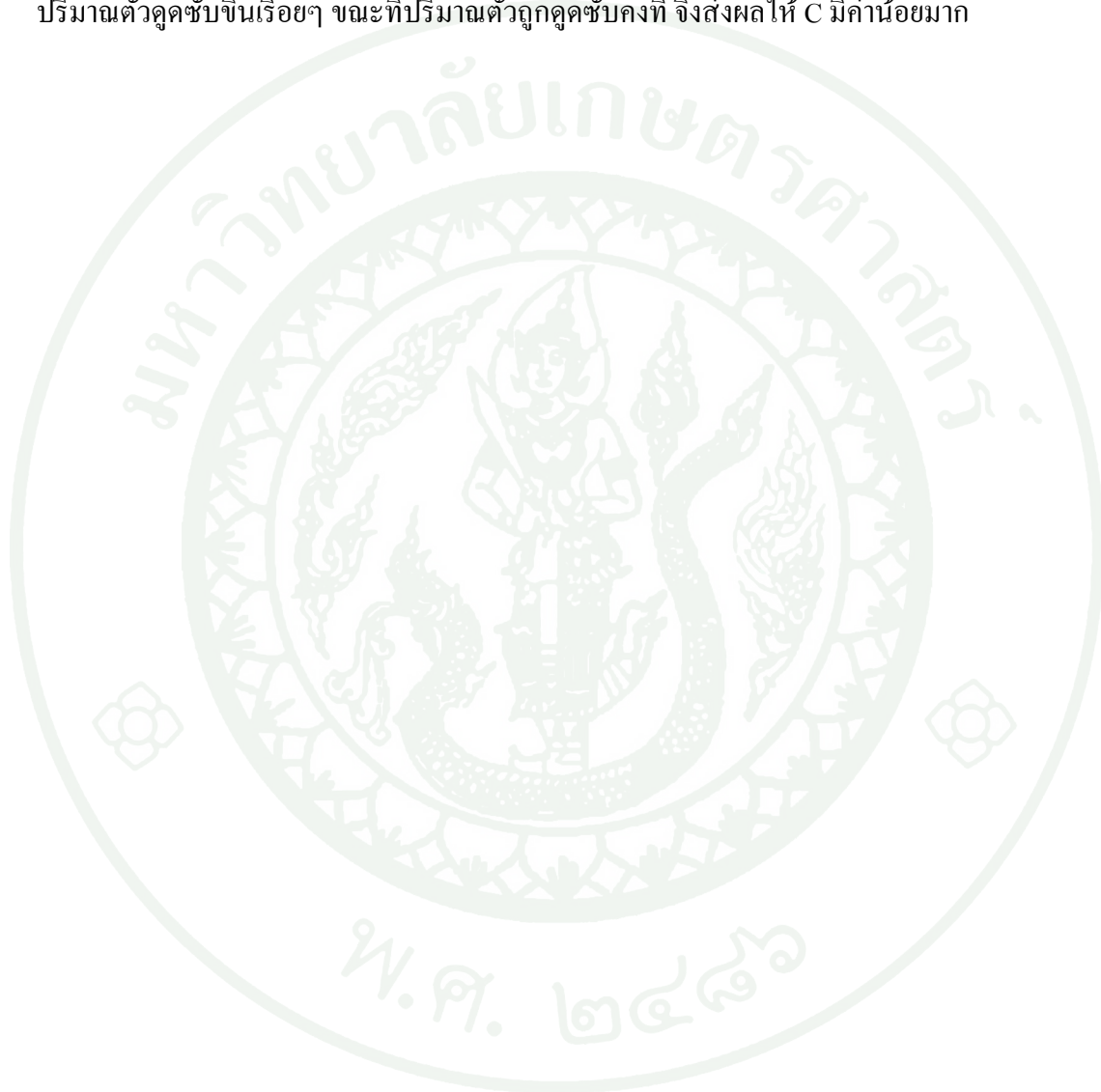
ระยะเวลาสัมผัส(นาท)	ร้อยละการดูดซับ
1	99.25
10	99.80
20	99.84
30	99.70
60	99.50
90	99.40

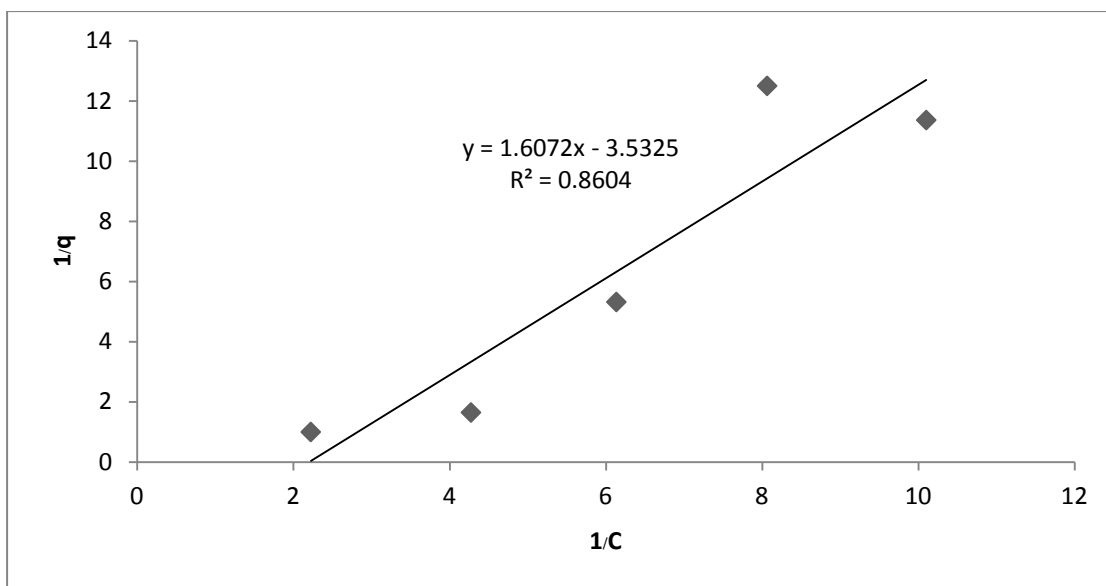
3.3 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

จากการทดลองที่ 4.3 นำผลการทดลองจากการศึกษาการดูดซับของเถ้าลอยลิกไนต์ โดยแปรผันปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ ต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร และระยะสัมผัสเท่ากับ 20 นาที มาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช ดังภาพที่ 32 (ก.) และ (ข.) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดลิชมีค่า 0.8604 และ 0.9145 ตามลำดับ แสดงว่ากลไกการดูดซับสอดคล้องกับสมการดูดซับฟรุนดลิช มากกว่า โดยกลไกการดูดซับของฟรุนดลิช คือการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Buckley, 1992) และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวหลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับโดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเกิดการซ้อนทับกันได้ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550) เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน จำนวนมาก ดังนั้นฟอสเฟตจะถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนและซ้อนทับกันได้

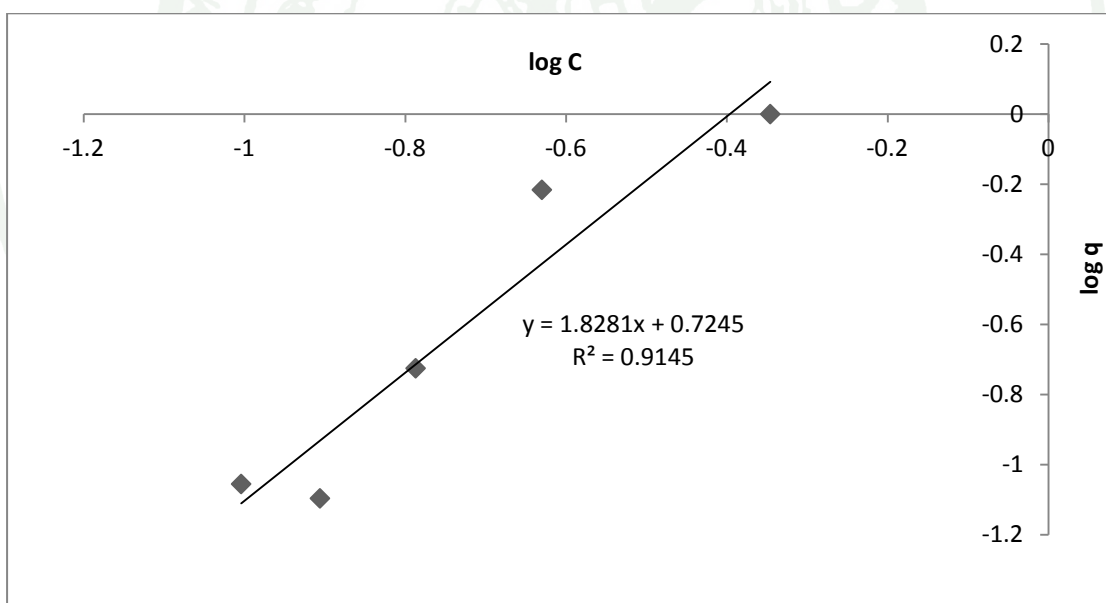
สมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดลิชมีจุดตัดแกน y ติดลบ เนื่องจากปริมาณตัวถูกดูดซับที่มีอยู่ในสารละลายมีปริมาณคงที่แต่เพิ่มปริมาณตัวดูดซับ จึงทำให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้เกือบทั้งหมด ส่งผลให้ปริมาณตัวดูดซับที่เหลือ (C) มีอยู่น้อย ในขณะที่เดียวกันซึ่งค่า q คือปริมาณตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนผิวตัวดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ q และ c ลดลงอย่างไม่สอดคล้องกันเป็นเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิด (0,0) ของกราฟ คือ C ลดลงเร็วกว่า q จึงทำให้จุดตัดแกน y ของกราฟติดลบ และจากที่จุดตัดแกนติดลบ นั่นคือกราฟตัด

แกน X ที่จุด $1/C$ มีค่ามากกว่าศูนย์ นั้นหมายถึง C ซึ่งหมายความว่าเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลือน้อยอยู่ในสารละลายมีค่าน้อยนั่นเอง ประกอบกับ ณ จุดนี้ $1/q$ มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง q ซึ่งคือปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับมีค่ามาก ซึ่งสอดคล้องกับค่า C ที่มีค่าน้อย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวถูกละลายมีความสามารถในการดูดซับ ตัวถูกละลายชนิดนั้น ได้มาก ประกอบกับการทดลองมีการเพิ่มปริมาณตัวถูกละลายขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณตัวถูกละลายคงที่ จึงส่งผลให้ C มีค่าน้อยมาก





(ก.)

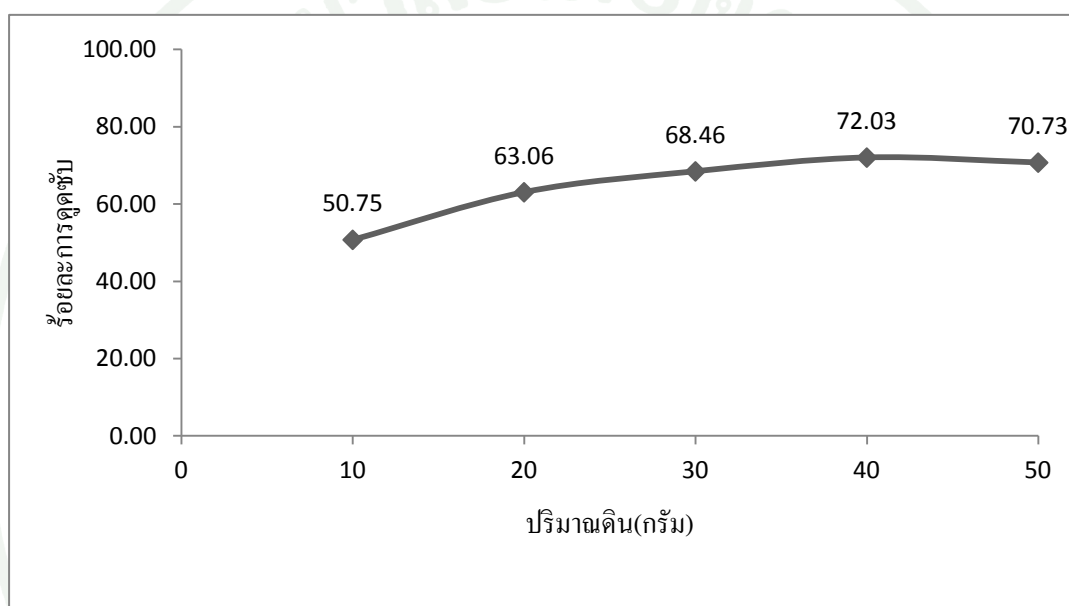


(ข.)

ภาพที่ 32 ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (ก) และฟรุนดลิช (ข)

3.4 ผลการศึกษาปริมาณดินในการบำบัดฟอสเฟต

จากการทดลองข้อที่ 4.4 โดยใช้ปริมาณดินที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร และระยะเวลา สัมผัส 20 นาที พบว่าดินมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตแต่น้อยกว่าถ้ำลอยลิกไนต์ และ ความเข้มข้นฟอสเฟตยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แสดงดังภาพที่ 33



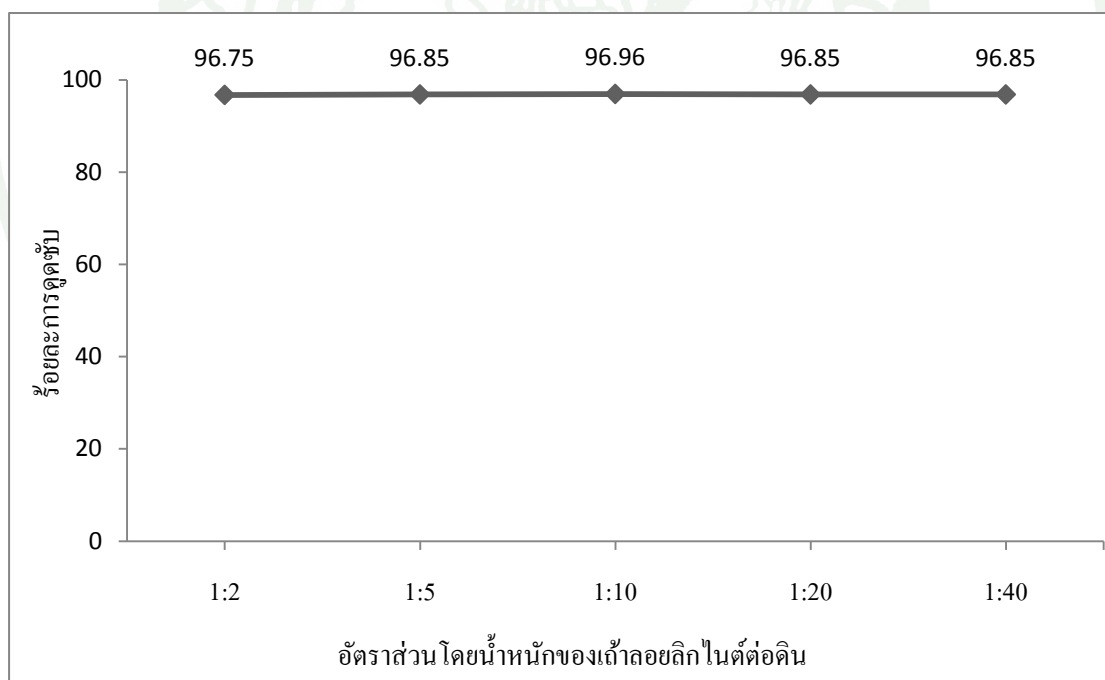
ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตกับปริมาณดิน

3.5 ผลการศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์กับดิน

จากการทดลองในวิธีการทดลองข้อที่ 4.5 โดยแปรผันอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณ ถ้ำลอยลิกไนต์ผสมกับดินเป็นอัตราส่วน 1:2, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:40 ต่อสารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร และระยะสัมผัสเท่ากับ 20 นาที พบว่าถ้ำ ลอยลิกไนต์ผสมดินในอัตราส่วนดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 34 พบว่าที่อัตราส่วนถ้ำลอยลิกไนต์ต่อดิน 1:10 ให้ ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตสูงที่สุด ร้อยละ 96.96 โดยที่อัตราส่วนถ้ำลอยลิกไนต์ต่อดินที่ แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณดินที่เพิ่มขึ้นมี

ผลการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตไม่มาก ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณดิน แต่ปริมาณแกลบยลิกไนต์คงที่ แสดงดังภาพที่ 34

จากภาพที่ 34 แสดงว่าแต่ละอัตราส่วนของแกลบยลิกไนต์ต่อดินให้ ร้อยละการดูดซับที่ไม่แตกต่างกันมาก ผู้วิจัยจึงพิจารณาในการเลือกใช้อัตราส่วนด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ อัตราส่วนที่ 1:2 และ 1: 5 ไม่เลือกใช้เหตุผลเพราะว่า เนื่องจากจะต้องใช้ดินผสมแกลบยลิกไนต์ไปเป็นวัสดุปลูกต่อไปและ อัตราส่วนข้างต้นมีอัตราส่วนที่มีดินผสมอยู่น้อยเกินไป อีกทั้งแกลบยลิกไนต์มีความเป็นด่างสูง จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ เป็นวัสดุปลูก อัตราส่วน 1:40 แต่เมื่อมาเปรียบเทียบกับเวลาการใช้งานจริงแล้วการนำไปใช้คือแปลงขนาดใหญ่ ส่วนผสม 1:40 ก็สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีแต่อาจจะใช้งานได้ในระยะสั้น ดังนั้น อัตราส่วน 1:10 และ 1:20 ,มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากกว่า แต่ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ 1:10 เนื่องจาก พืชสามารถเจริญเติบโตในอัตราส่วนนี้ได้ อีกทั้งสามารถบำบัดฟอสเฟตได้นานกว่าอัตราส่วนอื่นๆ



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตแกลบยลิกไนต์ต่อดิน

4. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียรวมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียชุมชนจากบ่อบรรณน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ออร์โธฟอสเฟต เป็นส่วนหนึ่งของฟอสฟอรัสทั้งหมด) นอกจากนี้ บีโอดี และซีโอดี ก็มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เช่นกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการบำบัดฟอสเฟต

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำเสียจากบ่อบรรณน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

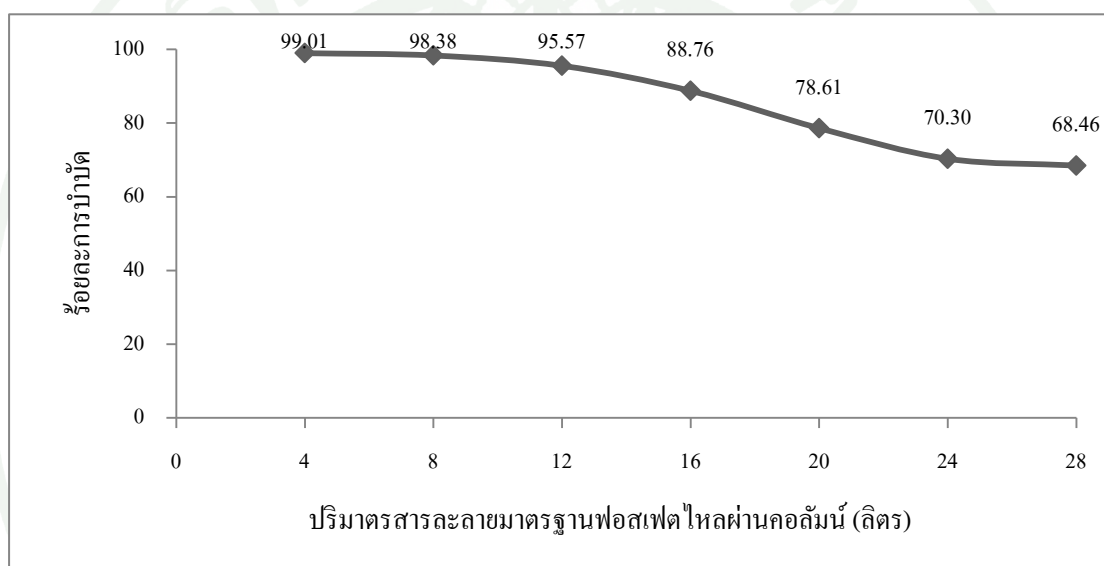
พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งน้ำเสียชุมชน
pH	7.5	5.5 - 9.0
TDS(mg/l)	936	ไม่เกิน 3,000
Sal(ppt.)	0.4	-
ออร์โธฟอสเฟต(mg/l)	3.17	Total phosphate $\leq$ 2 mg/L
ความขุ่น(NTU)	40.9	-
อุณหภูมิ	28.9°C	-
BOD(mg/l)	128	ไม่เกิน 20
COD(mg/l)	352	ไม่เกิน 120

5. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสเฟตด้วยการดูดซับของถ้ำลอยลิกไนต์ โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

ลักษณะคอลัมน์ที่ได้จากการบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับ โครงการศึกษา วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทราวยหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทราวยละเอียด 2.8 เซนติเมตร และถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินที่อัตราส่วน 1:10 ความสูง 16.5 เซนติเมตร

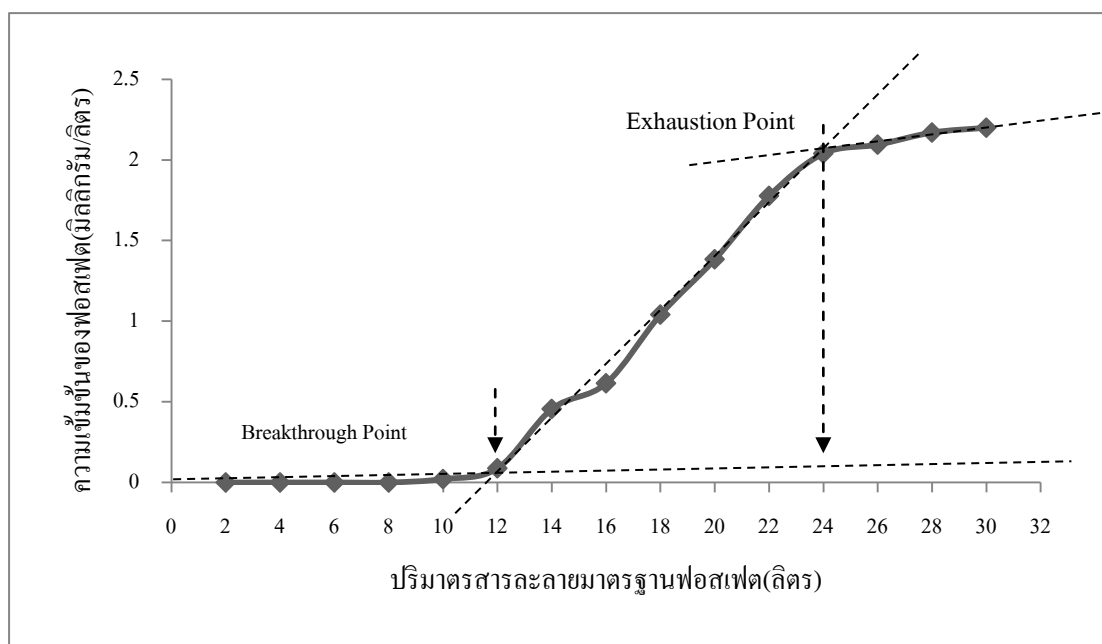
5.1 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบธรรมชาติแบบคอลัมน์โดยทดลองด้วยสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในวิธีการทดลองข้อที่ 6.2.1 ทำการบรรจุวัสดุปลูกลงในคอลัมน์เป็นลำดับชั้น โดยชั้นบนสุดเป็นถั่วลยถิกในดินผสมดินในอัตราส่วน 1:10 ปล่ยสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 200 มิลลิลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 35 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตในสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 4.0 ลิตรแรก สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตร้อยละ 99.01 และประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อสารละลายผ่านคอลัมน์แล้ว 28.0 ลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตเริ่มคงที่ ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟตกับปริมาณสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ไหลผ่านคอลัมน์แบบต่อเนื่อง

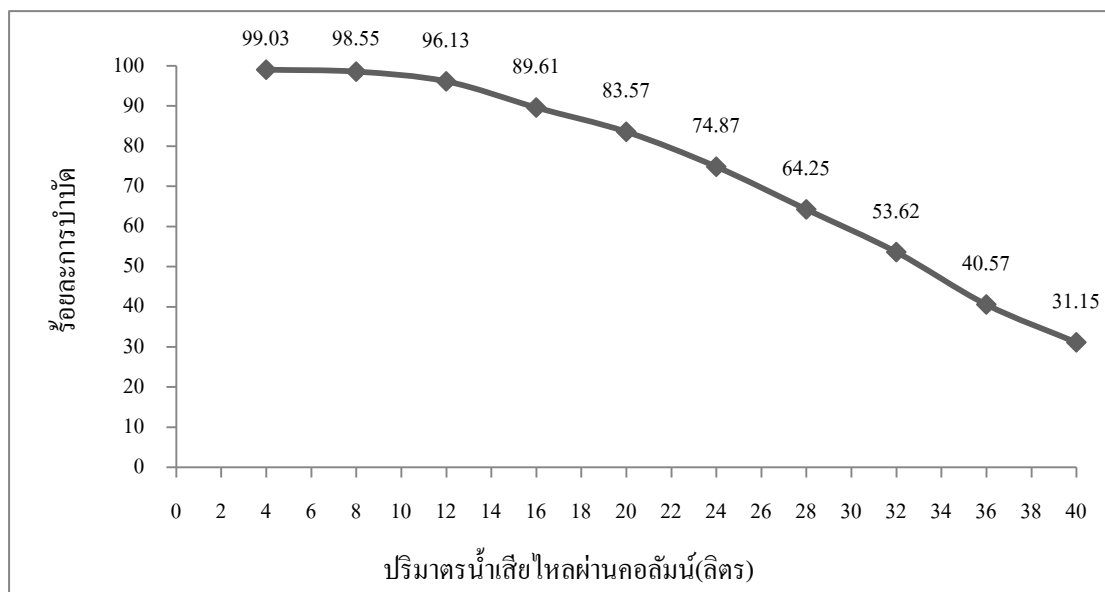
เมื่อคำนวณปริมาณสารละลายฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในน้ำที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 2.0 ลิตร และสร้างกราฟเบรคทรูจ (Breakthrough Curve) ดังภาพที่ 36 พบว่าจุดเบรคทรูจ (Breakthrough Point) อยู่ที่ปริมาตรฟอสเฟต 12.0 ลิตร มีปริมาณสารละลายฟอสเฟตเหลือ 0.088 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดหมดสภาพ (Exhaustion Point) อยู่ที่ปริมาตรฟอสเฟต 24.0 ลิตร มีปริมาณสารละลายฟอสเฟตเหลือ 2.04 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 36 กราฟเบรคทรูจ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ กับปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ผ่านคอลัมน์แบบแบบไหลต่อเนื่อง

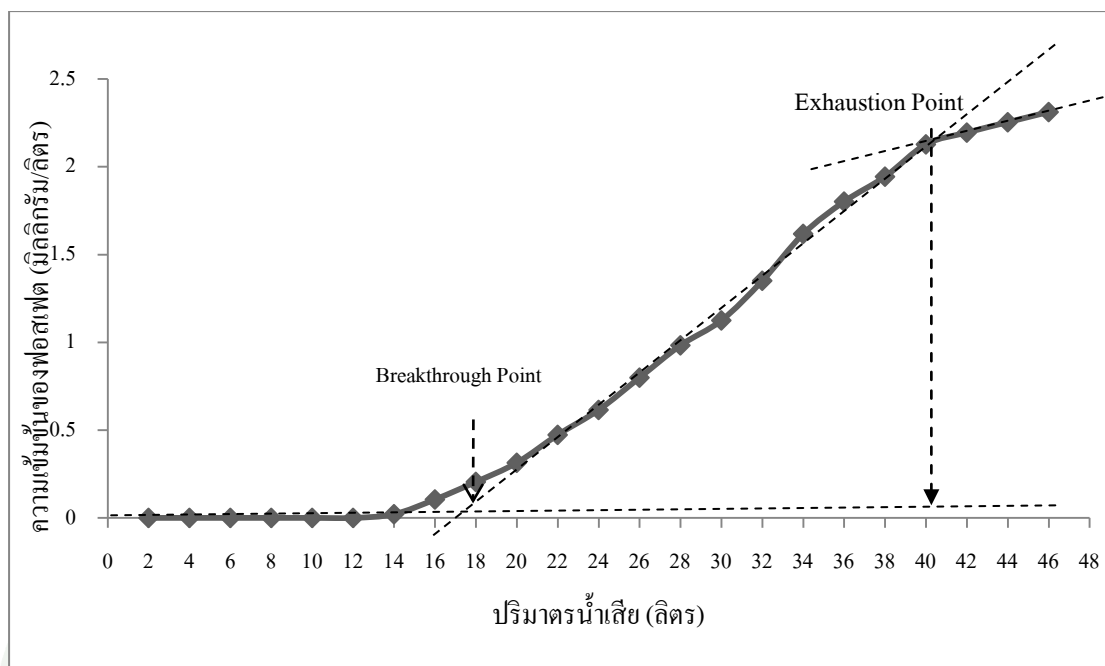
5.2 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบธรรมชาติแบบไหลต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในวิธีการทดลองข้อที่ 6.2.2 ทำการบรรจุวัสดุปลูกลงในคอลัมน์เป็นลำดับชั้น โดยชั้นบนสุดเป็นถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินในอัตราส่วน 1:10 ปล่อยน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลออกจากคอลัมน์ทุกๆ 200 มิลลิลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 37 โดยสามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีที่สุด ที่ปริมาตรน้ำเสีย 4 ลิตรแรก ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 99.03 และประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อน้ำเสียผ่านคอลัมน์แล้ว 40.0 ลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 31.15 ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟตกับปริมาณน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ไหลผ่านคอลัมน์แบบต่อเนื่อง

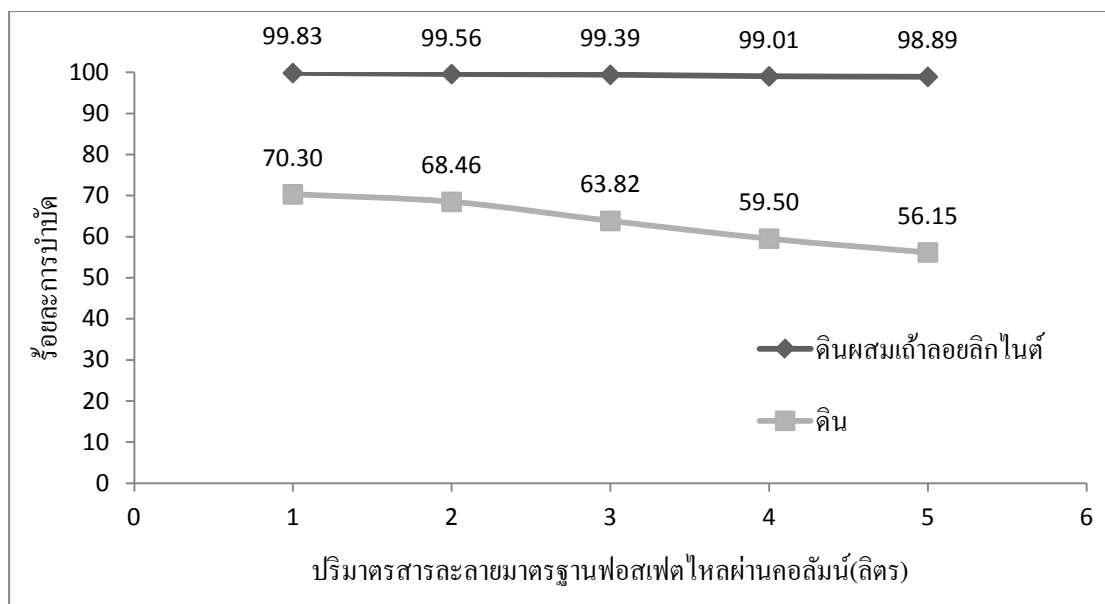
เมื่อคำนวณปริมาณน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เหลืออยู่ในน้ำที่ไหลออกมาจากคอลัมน์ทุกๆ 2.0 ลิตร และสร้างกราฟเบรคทรูจ พบว่าจุดเบรคทรูจอยู่ที่ปริมาณน้ำเสีย 18.0 ลิตร มีปริมาณฟอสเฟตเหลือ 0.205 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดหมดสภาพอยู่ที่ปริมาณน้ำเสีย 40.0 ลิตร มีปริมาณฟอสเฟตเหลือ 2.128 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพที่ 38



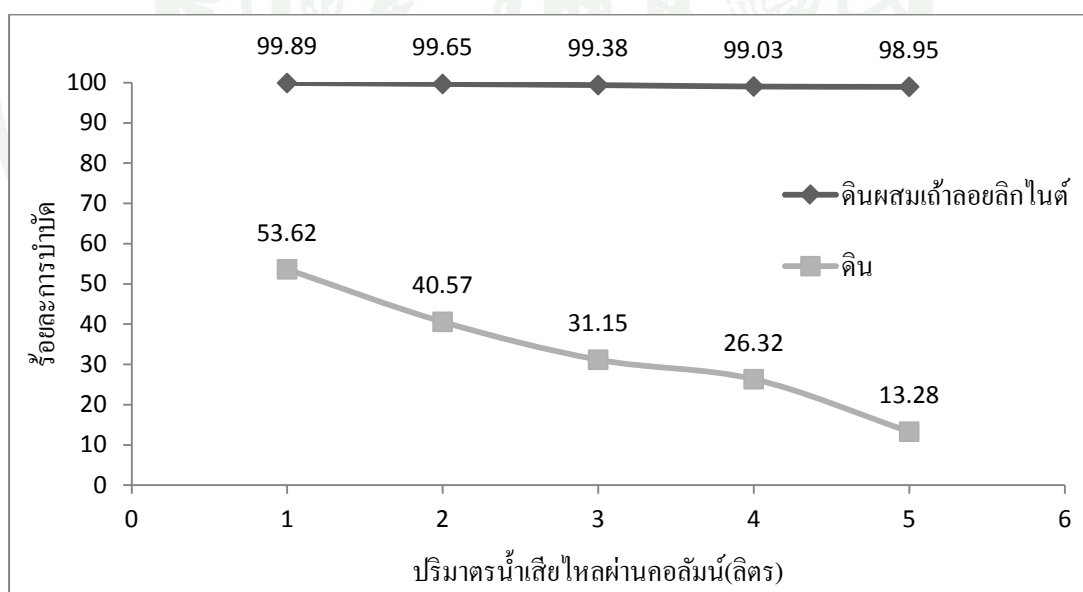
ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ กับปริมาณน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ผ่านคอลัมน์แบบแบบไหลต่อเนื่อง

5.3 ชุดควบคุม

จากการทดลองในวิธีการทดลองข้อที่ 6.2.3 บรรจุวัสดุปลูกลงในคอลัมน์แก้ว โดยไม่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ เพื่อใช้เป็นชุดควบคุมการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง พบว่าชุดควบคุมที่ไม่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในชั้นวัสดุปลูกมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตต่ำกว่าชุดตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในชั้นวัสดุปลูก แสดงว่าเมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์มาผสมดินในชั้นวัสดุปลูกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตได้ดีขึ้น แสดงดังภาพที่ 39 และ 40



ภาพที่ 39 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดฟอสเฟต แบบคอลัมน์ ระหว่างใช้ดินผสมแกลบยลิกไนต์ กับชุดควบคุมที่ใช้ดินอย่างเดียว



ภาพที่ 40 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดฟอสเฟต แบบคอลัมน์ ระหว่างใช้ดินผสมแกลบยลิกไนต์ กับชุดควบคุมที่ใช้ดินอย่างเดียว

6. ผลการทดลองแบบการจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

จำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในกระบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด $51 \times 51 \times 54$ เซนติเมตร บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทราวยหยาบ 3 เซนติเมตร ทราวยละเอียด 2 เซนติเมตร และถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินที่อัตราส่วน 1:10 ความสูง 30 เซนติเมตร ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ ต้นธูปฤาษีและหญ้าแฝกดังภาพที่ 41 เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียจากบ่อรวบรวมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยปล่อยผ่านอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำจะซึมลงในแนวตั้งไหลผ่านยังตัวกลางลงมาและไหลออกจากกระบะทางรูเปิดด้านล่าง เก็บน้ำที่ไหลผ่านกระบะทุกๆ 20 ลิตร โดยผลการทดลอง ดังนี้

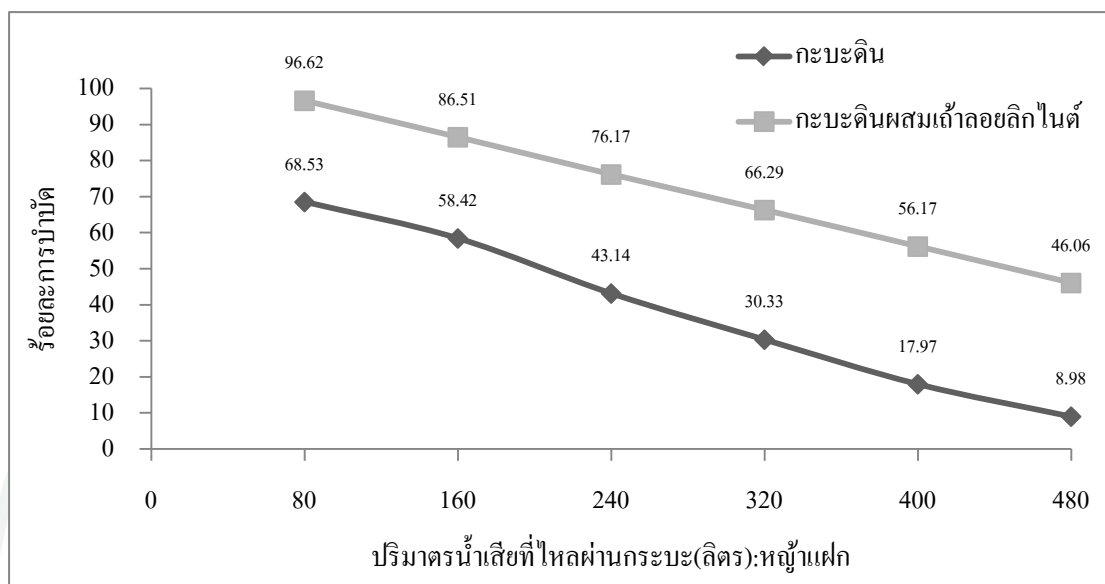


ภาพที่ 41 กระบะเพาะปลูกจำลองระบบแบบบึงประดิษฐ์โดยปลูก ธูปฤาษี และหญ้าแฝก

6.1 กระบะปลูกหญ้าแฝก

จากการทดลองข้อที่ 7.1 และ 7.2 จำลองการบำบัดน้ำเสียของระบบแบบบึงประดิษฐ์ โดยปลูกต้นหญ้าแฝก ที่ชั้นบนสุดของวัสดุปลูกเป็นถ้ำลอยลิกไนต์ผสมกับดินในอัตราส่วน 1:10 และหุ้ดควบคุม ชั้นบนสุดคือดินอย่างเดียวและปลูกหญ้าแฝก พบว่ากระบะที่มีดินผสมถ้ำลอยลิกไนต์มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตได้ดีกว่ากระบะที่มีดินเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 42 โดยให้ประสิทธิภาพ ดีที่สุดในการบำบัด 80.0 ลิตรแรก คือร้อยละ 96.62 จากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องจนหมดประสิทธิภาพ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระบะควบคุมพบว่า 80

ลิตรแรกบำบัดได้ ร้อยละ 68.53 และจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว กระบะที่ผสมเถ้าลอยลิกไนต์สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีกว่า แสดงดังภาพที่ 42

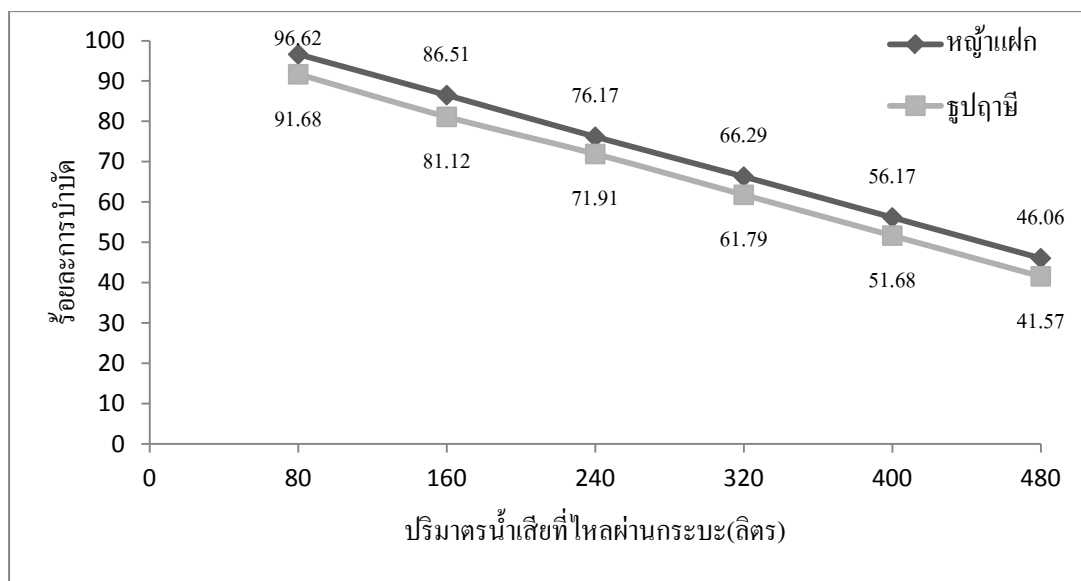


ภาพที่ 42 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ระหว่างกระบะที่ใช้วัสดุปลูกเป็นดินผสมเถ้าลอยลิกไนต์กับกระบะที่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูกเพียงอย่างเดียว ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก

6.2 กระบะที่ปลูกหญ้าแฝก

จากการทดลองเช่นเดียวกับกระบะที่ปลูกหญ้าแฝก ได้ผลดังภาพที่ 43 โดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟต สูงที่สุดในการบำบัด 80.0 ลิตรแรก คือร้อยละ 91.68 จากนั้นประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องจนหมดประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าแฝก ดังภาพที่ 43 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดของพืชทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน แต่หญ้าแฝกให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตดีกว่ารูปถ่ายประมาณร้อยละ 5 เนื่องจาก รากของหญ้าแฝกมีรากฝอยที่แข็งแรงและแตกรากมาก จึงมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวให้อยู่รอดในน้ำเสียได้ดี (Xia et al., 2003) ดังนั้น เมื่อเถ้าลอยลิกไนต์ดูดซับมลสารต่างๆ ไว้ในรูปของอินทรีย์วัตถุและถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปเป็นอนินทรีย์วัตถุ รากของหญ้าแฝกจะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้สามารถบำบัดฟอสเฟตได้ดีกว่ารูปถ่ายที่มีระบบรากที่กระจายน้อยกว่า



ภาพที่ 43 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ระหว่างกระเบที่ใช้วัสดุปลูกเป็นดินผสม เถ้าลอยลิกไนต์ ร่วมกับการปลูกหนูฝ้าและหนูฝ้า

7. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ มาวิเคราะห์ คุณภาพน้ำได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์						
	ก่อน บำบัด	การบำบัดร่วมกับหญ้า แฝก		การบำบัดร่วมกับ รูปถ่าย		หน่วยทดลองควบคุม	
		หลัง บำบัด	ร้อยละ การบำบัด	หลัง บำบัด	ร้อยละ การบำบัด		
pH	7.5	7.8	-	7.9	-	7.6	
ออร์โท ฟอสเฟต (mg/l)	3.17	0.11	96.62	0.26	91.68	0.91	68.53
TDS (mg/L)	936	5.53	99.40	5.70	99.39	6.10	99.34
ความเค็ม (ppt.)	0.40	0.10	75.00	0.10	75.00	0.10	75.00
ความขุ่น (NTU)	40.90	10.50	74.32	10.20	75.06	12.05	70.53
COD (mg/L)	352	85.20	75.79	105.50	70.02	155.01	55.96

พบว่าคุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยการจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ร่วมกับปลูกหญ้าแฝกและรูปถ่าย มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งทุกพารามิเตอร์ โดยเฉพาะฟอสเฟตสามารถบำบัดได้ดีถึง ร้อยละ 96.62 สำหรับกระบะที่ปลูกหญ้าแฝก และ ร้อยละ 91.68 สำหรับกระบะที่ปลูกรูปถ่าย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟต ของถ้ำลอยลิกไนต์จากอุตสาหกรรมผลิตเชื้อและกระดาษ พบว่า ถ้ำลอยลิกไนต์ 4 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาสัมผัส 20 นาที ให้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 96.64 กลไกการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอร์มของฟรุนดิชและแลงเมียร์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ้ำลอยลิกไนต์ต่อดินที่เหมาะสมคือ 1:10 จากการทดลองแบบคอลัมน์ ซึ่งเป็นการจำลองชั้นวัสดุปลูกของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์โดยชั้นบนเป็นถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดินให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตในสารละลายฟอสเฟต เท่ากับ ร้อยละ 99.01 และ ในน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เท่ากับ ร้อยละ 99.03 ส่วนการทดลองการบำบัดแบบประยุกต์สำหรับใช้งานจริงโดยจำลองระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ในกระเบพลาสติกขนาด 51x51x54 เซนติเมตร ชั้นบนเป็นถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดิน ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด บำบัดน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า หญ้าแฝกให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟต ดีกว่าธูปฤาษี โดยกระเบที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกสามารถบำบัดฟอสเฟตได้ ร้อยละ 96.62 และกระเบที่ปลูกด้วยธูปฤาษีสามารถบำบัดฟอสเฟตได้ ร้อยละ 91.68 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ้ำลอยลิกไนต์มีประสิทธิภาพที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เพื่อใช้กับน้ำเสียชุมชนที่ยังคงมีปัญหาเรื่องฟอสเฟตเกินค่ามาตรฐาน ส่วนกระเบควบคุมที่ชั้นบนมีดินเพียงอย่างเดียว สามารถบำบัดฟอสเฟตได้แต่ยังมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ถ้ำลอยลิกไนต์สามารถบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประยุกต์ใช้กับน้ำเสียประเภทอื่นได้เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากปศุสัตว์ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากถ้ำลอยหินในดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียได้ดี จึงควรศึกษานำถ้ำลอยหินไปบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นได้ เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรม น้ำเสียจากปศุสัตว์ และน้ำเสียจากการทำการเกษตร นอกจากนี้แล้วยังสามารถศึกษาประสิทธิภาพของถ้ำลอยหินในการบำบัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าบีโอดี ซีโอดี ไนเตรน และแอมโมเนีย เป็นต้น ได้อีกด้วย ทั้งนี้ถ้ำลอยหินที่ได้จากอุตสาหกรรมอาจจะหายาก ควรหาวัสดุอื่นมาแทนถ้ำลอยหิน เช่น ถ้ำลอยปาล์มน้ำมัน ถ้ำลอยขานอ้อย และถ้ำลอยแกลบ ที่เหลือจากการใช้งานทางการเกษตร ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าและประโยชน์การใช้งานที่เหลือจากการทิ้งซากทางการเกษตรด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทย. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระเบียบระบายน้ำมลพิษน้ำ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2554. การปลูกหญ้าแฝกเพื่อการฟื้นฟูทรัพยากรดินและสภาพแวดล้อม. สถาบันวิจัยและพัฒนาหญ้าแฝก กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือเรื่องการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกเพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพฯ.

เกษม จันทรแก้ว. 2530. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

จารุวรรณ เกษมทรัพย์. 2538. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิระวิทย์ รัตนพันธ์. 2548. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทศรัตน์ ไชยรัตน์. 2555. ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2536. แนวทางการลดปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการชักฟอก.
กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

_____. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. สมาคม
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทาง
เคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

บริษัท เอสซีจี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน). 2555. การพัฒนาสิ่งแวดล้อมของโรงงานอย่างยั่งยืน.
แหล่งที่มา: <http://paper.scg.co.th/th/home/content/3/12/Environmental.html>, 14 ตุลาคม
2556.

ปริญญญา จินดาประเสริฐ. 2547. ปล่อยในงานคอนกรีต (ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคม
คอนกรีตแห่งประเทศไทย.

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม .2535. กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง
จากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชน. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

พิชิต สกุลพราหมณ์. 2531. การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม. ธนะการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญ สุขมาก. 2543. การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลกระป๋องโดย
ระบบเอส บี อาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไพโรบลย์ วิวัฒนวงศ์วนา. 2546. เคมีดิน. พิมพ์ครั้งที่1. ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย,
เชียงใหม่.273 หน้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548. ฟอสฟอรัส. แหล่งที่มา :
<http://www.kmutt.ac.th/ev/inmage/phosphorus.pdf>, 3 ตุลาคม 2556

รัตนกร ขวงสวัสดิ์, วลัยรัตน์ จันทอัมพร และดวงกมล ณ ระนอง. 2554. การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย. วิศวกรรมลาดกระบัง, 28(4).

ลักษณี คณานิธินันท์. 2539. ประสิทธิภาพของกอกกลูรูปถาญี้อและแหว้ทรงกระเทียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

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

วรวิมล มัธยันต์, โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และ โจเซฟ เคดารี. มปป. 2553. การเพิ่มประสิทธิภาพปลูกดินดิบด้านการรับแรงด้วยปูนขาวและเถ้าปาล์มน้ำมัน. แหล่งที่มา : http://rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupEconomic/43Worawut_mat/template.html. 18 ตุลาคม 2554

วรรณภา สุกริพงศ์. 2532. วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมสำหรับครูประถมศึกษา. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วัชรพงษ์ สุรคุปต์. 2554. ผลของความลึกชั้นตัวกลางต่อการกำจัดไนโตรเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวในแนวดิ่ง. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 25 (3): 71-78.

ศุวสา กานตวนิชกุล. 2546. การกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดินแบบไหลขึ้นตามด้วยแบบไหลลง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 11 (2): 46-55

สถาบันวิจัยและพัฒนาหญาแฝก. 2554. พันธุ์หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์. 2548. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุมด นิลรัตน์นิศากร. 2557. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยต้นรูดาย. วิทยานิพนธ์
ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

สำนักงานหอพรรณไม้. 2557. สารานุกรมพืช. รูดาย. แหล่งที่มา : [http:// web3.dnp.go.th](http://web3.dnp.go.th),
20 ตุลาคม 2557

อารยา เจริญวิทยานนท์ และ วชิรา บุญวงศ์. 2554. การใช้ประโยชน์จากต้นกกและรูดายเป็นตัว
ดูดซับในกระบวนการดูดซับ Ni^{2+} , Cd^{2+} และ Pb^{2+} . วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ. 2536. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแอร์
เรเตลากลูโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bastain, R.K. 1989. Using Constructed Wetland Systems to Remove Solids from Highly
Polluted River Water. **Water Science and Technology**. 1 (1): 89–96.

Barrow, N.J. 1974. **The slow reactions between soil and anions**. I. Effects of time, temperature
and water contents of a soil on the decrease in the effectiveness of phosphate for plant
growth. *Soil Science* 118: 380-386.

Boyd, C.E. 1970. **Vascular aquatic plants for mineral nutrients removal from polluted
water**. *Econ. Bot.* 2444: 94-103.

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

- Chorus I. and Bartram J. 1999. **Toxic cyanobacteria in water**. Published on behalf of world Health Organization, E&FN Spon, an imprint of Routledge, London and New York.
- 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 Technology. Vol. 2** Phosphorus in Fresh water and the Marine Environment. Pergamon Press Ltd., Great Britain.
- Knott, J.E. 1949. **Vegetable Growing**. 4th ed., Lea & Febiger, Philadelphia. 314 p.
- Meneely R.N., V.P. Neimanis. And L Dwyer. 1979. **Water Quality Sourcebook : A Guide to Water Quality Parameters**. Inland Water Directorate Water Quality Branch, Ottawa, Canada. 89 p.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. **Wastewater engineering : Treatment, disposal and reuse**. 3^{ed}., McGraw-Hill, Inc., New York. 1334 p.
- Odum, E.P. 1971. **Foundamental of Ecology**. 3d ed., Saunders, Philadelphia. 574 p.
- Hesse, J.R. 1971. **A textbook of Soil Chemical Analysis**. John Murry, London. 362p.
- Hultman B., 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.
- Smith, V.H. ; G. D. Tilman and J. C. Nekola. 1999. **Eutrophication : Impact of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems**. Environmental Pollution. 100. Pp. 179 -196

- 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. 699 p.
- United States Environmental Protection Agency. 2000. **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. Available Source: <http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/constructed-wetlands-design-manual.pdf>, October 29, 2013.
- Wu Deyi, Zhanbo Hu, Xinze WANG, Shengbing HE and Hainan KONG. 2007. Use of zeolitized Coal fly ash in the simultaneous removal of ammonium and phosphate from aqueous Solution. **Front. Environ. Sci. Engin**, China. 1(2) : 213-220.
- Xia, H., H. Ke, Z. Deng, P. Tan and S. Liu. 2003. Ecological effectiveness of vetiver constructed wetlands in treating oil-refined wastewater. pp. 115-127. **In the Third International Conference on Vetiver and Exhibition – Vetiver and water**. Guangdong Academy of Agriculture Sciences, South China Institute of Botany, Chinese Academy Sciences, South China Agricultural University, Guangdong Association of Grass Industry and Environment, Guangz.
- 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.



ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ้ำลอยลิกไนต์กับค่าปริมาณถ้ำลอย

ปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.150	0.149	0.151	0.150	83.17
2	0.103	0.104	0.102	0.103	87.38
3	0.053	0.055	0.052	0.053	94.06
4	0.040	0.039	0.041	0.040	96.64
5	0.041	0.042	0.040	0.041	96.41

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอสเฟตด้วยถ้ำลอยลิกไนต์กับระยะเวลาในการสัมผัส

ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	0.006	0.007	0.008	0.007	99.25
10	0.001	0.001	0.002	0.002	99.8
20	0.001	0.001	0.001	0.001	99.84
30	0.002	0.002	0.002	0.002	99.7
60	0.003	0.004	0.005	0.004	99.5
90	0.003	0.006	0.004	0.005	99.4

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต ของดินในอัตราส่วนต่างๆ

ปริมาณดิน	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	0.455	0.456	0.457	0.456	50.75
20	0.342	0.342	0.342	0.342	63.06
30	0.292	0.291	0.293	0.292	68.46
40	0.258	0.260	0.259	0.259	72.03
50	0.270	0.272	0.271	0.271	70.73

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต ของเถ้าลอยลิกไนต์ผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน เถ้าลอยลิกไนต์ : ดิน	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:2	0.029	0.032	0.031	0.031	96.75
1:5	0.031	0.030	0.030	0.030	96.85
1:10	0.029	0.029	0.029	0.029	96.96
1:20	0.031	0.029	0.030	0.030	96.85
1:40	0.030	0.030	0.030	0.030	96.85

ตารางผนวกที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ้ำลอยลึกไนต์

ปริมาณถ้ำลอย (กรัม)	Co	C	V	q	1/q	1/C	log q	log C
1	10	1	0.05	0.450	2.222	1	-0.346	0
2	10	0.607	0.05	0.234	4.273	1.647	-0.630	-0.216
3	10	0.188	0.05	0.163	6.134	5.319	-0.787	-0.725
4	10	0.08	0.05	0.124	8.064	12.500	-0.906	-1.096
5	10	0.088	0.05	0.099	10.101	11.363	-1.004	-1.055

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ควบคุม ดินอย่างเดียว) ใช้สารละลายมาตรฐาน ฟอสเฟต

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.274	0.275	0.276	0.275	70.3
2	0.292	0.290	0.294	0.292	68.46
3	0.334	0.335	0.336	0.335	63.82
4	0.375	0.375	0.375	0.375	59.50
5	0.404	0.407	0.407	0.406	56.15

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ควบคู่ม ดินอย่างเดียว) ใช้น้ำเสียบ่อรวบรวมน้ำเสียจากโรงบำบัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.191	0.192	0.193	0.192	53.62
2	0.246	0.245	0.247	0.246	40.57
3	0.284	0.285	0.286	0.285	31.15
4	0.305	0.306	0.304	0.305	26.32
5	0.359	0.359	0.359	0.359	13.28

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ดินผสมแกลบยลิกไนต์) ใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
2	0.008	0.007	0.009	0.008	99.01
4	0.015	0.014	0.016	0.015	98.38
6	0.040	0.042	0.041	0.041	95.57
8	0.102	0.105	0.107	0.104	88.76
10	0.199	0.197	0.198	0.198	78.61
12	0.273	0.276	0.276	0.275	70.3
14	0.291	0.292	0.293	0.292	68.46

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกวัน(คอลัมน์ดินผสมเถ้าลอยลิกไนต์)ใช้น้ำเสียบ่อรวบรวมน้ำเสียจากโรงบำบัดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
2	0.003	0.004	0.005	0.004	99.03
4	0.005	0.006	0.007	0.006	98.55
6	0.014	0.017	0.017	0.016	96.13
8	0.043	0.043	0.043	0.043	89.61
10	0.069	0.068	0.067	0.068	83.57
12	0.105	0.104	0.103	0.104	74.87
14	0.148	0.149	0.147	0.148	64.25
16	0.192	0.192	0.192	0.192	53.62
18	0.244	0.247	0.246	0.246	40.57
20	0.283	0.286	0.286	0.285	31.15

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (หญ้าแฝก) ระยะเวลาทุกวัน

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	0.139	0.141	0.140	0.140	68.53
8	0.183	0.186	0.186	0.185	58.42
12	0.252	0.254	0.253	0.253	43.14
16	0.310	0.310	0.310	0.310	30.33
20	0.363	0.367	0.365	0.365	17.97
24	0.403	0.407	0.405	0.405	8.98

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับดินผสมถั่วลอยลิกไนต์
รวมกับการปลูกพืช (หญ้าแฝก) ระยะเวลาทุกวัน

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	0.015	0.016	0.014	0.015	96.62
8	0.060	0.0600	0.060	0.060	86.51
12	0.104	0.107	0.107	0.106	76.17
16	0.150	0.150	0.150	0.150	66.29
20	0.194	0.195	0.196	0.195	56.17
24	0.240	0.239	0.241	0.240	46.06

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดฟอสเฟต กับดินผสมถั่วลอยลิกไนต์
รวมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ระยะเวลาทุกวัน

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	0.037	0.036	0.038	0.037	91.68
8	0.083	0.084	0.085	0.084	81.12
12	0.123	0.126	0.126	0.125	71.91
16	0.170	0.170	0.170	0.170	61.79
20	0.215	0.214	0.216	0.215	51.68
24	0.260	0.260	0.260	0.260	41.57

ตารางผนวกที่ 13 เกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	
พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 -9.0
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) *	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย(Suspended Solids) **	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

อัตราส่วนจากการบรรจุชั้นวัสดุปลูก

ลักษณะกระบะที่ได้จากการบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับ โครงการศึกษา วิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย โดยการแปลงอัตราส่วนจากหน่วยพื้นที่ใหญ่(แปลงทดลอง)เทียบ บัญญัติไตรยางค์มาเป็นหน่วยย่อยขนาดเล็กและคอตมันน์

ลักษณะกระบะที่ได้จากการบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับ โครงการศึกษา วิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย ใช้กระบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดภายในเท่ากับ 42×42×54 เซนติเมตร บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทรายหยาบ 3 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2 เซนติเมตร และถ้า ลอยลิกในคัสสมดิน ความสูง 30 เซนติเมตร ได้มาจากการคำนวณน้ำหนักของชั้นวัสดุปลูก

ตัวอย่างเช่น การคำนวณน้ำหนักของชั้นทรายหยาบ



จากสูตรปริมาตรสี่เหลี่ยมของชั้นทรายหยาบ $V = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

$$42 \times 42 \times 3 = 5,292 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

$$\text{ความหนาแน่นทรายหยาบ} = 1.54$$

$$\text{มวล} = \text{ความหนาแน่น} \times \text{ปริมาตร}$$

$$M = 1.54 \times 5,292$$

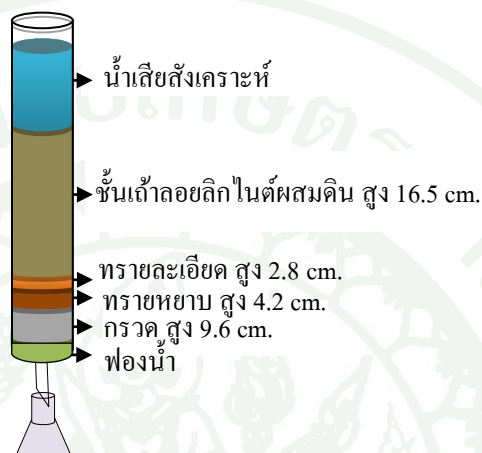
$$= 8,149.68 \text{ g.} \Rightarrow 8,149.68 / 1,000 \text{ (g} \Rightarrow \text{kg.)}$$

$$= 8.14 \text{ kg. ประมาณ } 8.2 \text{ kg.}$$

ดังนั้นจากการคำนวณความหนาแน่นจะได้น้ำหนักดังต่อไปนี้

- กรวด 7 cm. $\Rightarrow 12.4 \text{ kg.}$
- ทรายหยาบ 3 cm. $\Rightarrow 8.2 \text{ kg.}$
- ทรายละเอียด 2 cm. $\Rightarrow 5.9 \text{ kg.}$
- ดิน + วัสดุ 30 cm. $\Rightarrow 90 \text{ kg.}$

ลักษณะคอลัมน์ที่ได้จากการบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับ โครงการศึกษา วิจัยและพัฒนา
สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทรายหยาบ 4.2 เซนติเมตร
ทรายละเอียด 2.8 เซนติเมตร และถ้ำลอยลิกไนต์ผสมดิน ความสูง 16.5 เซนติเมตร



จากสูตรปริมาตรคอลัมน์ $V = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

ตัวอย่าง ชั้นทรายหยาบ $3.14 \times 3.25 \times 3.25 \times 3 = 99.49$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อมาเทียบกับกระบะ

ชั้นทรายหยาบ 5,292 ลูกบาศก์เซนติเมตร = 8,200 กรัม

คอลัมน์

ชั้นทรายหยาบ 99.49 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างกระบะกับคอลัมน์ของชั้นทรายหยาบโดยปรับหน่วยเป็น(กรัม)

$$\frac{99.49 \times 8,200}{5,292} = 154.16 \text{ กรัม}$$

$$5,292$$

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวนรินทร์ ม่วงสาร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 เมษายน 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดนครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-