



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด โดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

Tertiary Treatment of UASB Treated Effluent of Elastic Rubber Factory by Coconut Shell Charcoal Adsorption in Combination with Grass Filtration System and Constructed Wetland

نامผู้วิจัย นายจิรพล บุญด้วยตาน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้าย
ยางยืดโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

Tertiary Treatment of UASB Treated Effluent of Elastic Rubber Factory by Coconut Shell
Charcoal Adsorption in Combination with Grass Filtration System and Constructed Wetland

โดย

นายวชิรพล บุญด้วยตาน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

วชิรพล บุญด้วยลาน 2557: การบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด โดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับระบบ หล้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ดังคณานุรักษ์, Ph.D. 75 หน้า

น้ำที่ออกจากระบบบำบัด UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับสี เหลืองน้ำตาลของน้ำ และค่า COD ที่สูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ หล้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับ จากการทดลองแบบ แบตช์ พบว่า ถ่านกะลามะพร้าว 4 กรัมต่อน้ำเสีย 50 มิลลิลิตรและระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละ การกำจัดสีมากที่สุดเท่ากับ 44.21 และซีโอดีเท่ากับ 95.77 นอกจากนั้นรูปแบบการดูดซับเป็น ตามไอโซเทอร์มฟรุนดิชมากกว่าแลงเมียร์ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกะลามะพร้าวกับดินที่ เหมาะสมคือ 1:50 จากการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง พบว่า ระบบบำบัดแบบหล้ากรองน้ำเสียมี ประสิทธิภาพในการลดสีและซีโอดีสูงกว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม นอกจากนั้นได้ทดลองโดยใช้ เทคนิคการกรองในหน่วยทดลองขนาดเล็ก เพื่อเลียนแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบ หล้ากรองน้ำเสีย โดยการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็นวัสดุปลูกและ ปลูกกกกล่มและหญ้าแฝก ผลการทดลองพบว่า ระบบหล้ากรองน้ำเสียที่ปลูกหญ้าแฝกให้ ประสิทธิภาพในการลดสีและซีโอดีได้สูงสุดคือที่ร้อยละ 88.89 และ 66.67 ตามลำดับ

Wachirapon Boondouylarn 2014: Tertiary Treatment of UASB Treated Effluent of Elastic Rubber Factory by Coconut Shell Charcoal Adsorption in Combination with Grass Filtration System and Constructed Wetland. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 75 pages.

Effluent from UASB treatment of elastic rubber factory have a problem of yellow-brown color and high COD. Therefore, this research was to investigate the improvement efficiency of a grass filtration system and constructed wetland by using coconut shell charcoal as adsorbent. The batch experiments were carried out and found that coconut shell charcoal 4 g. per 50 ml of wastewater and 3 hr. of contact time gave the maximum removal percentage of color was 44.21 and COD was 95.77. Moreover the adsorption model fit to Freundlich Isotherm more than Langmuir isotherm. The ratio by weight of coconut shell charcoal to soil at 1:50 was the suitable ratio. From the continuous flow experiments revealed that the grass filtration treatment system had a higher color and COD removal efficiency than the constructed wetland. Furthermore, the filtrated lysimeter technique were conducted to simulate the constructed wetland and the grass filtration system by using the suitable ratio of coconut shell charcoal and soil as growing material and growing *Cyprus alternifolius* and *Vetiveria zizanioides*. The results were found that the grass filtration system with growing *Vetiveria zizanioides* had the highest removal efficiency of color and COD percentage at 88.89 and 66.67 respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ ที่
ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำสั่ง
สอนแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต ตลอดจนขอขอบพระคุณ
โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ รวมถึง
ขอขอบพระคุณคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์สถานที่ วัสดุและอุปกรณ์
ในการทำวิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท คณะสิ่งแวดล้อม รุ่น 35 ที่ให้ความ
ช่วยเหลือทั้งกำลังใจและกำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวบุญด้วยลาน ที่คอยเป็น
กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้อบรม สั่งสอนและคอยให้ความรู้ ตลอดจนสนับสนุน
ทุนการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วชิรพล บุญด้วยลาน

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานทำยาง	5
2	ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว	20
3	การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	40
ตารางผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว	62
2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว	62
3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีกับระยะสัมผัส(ชั่วโมง)	63
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับระยะเวลาสัมผัส(ชั่วโมง)	63
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีกับระยะเวลาสัมผัส(วัน)	63
6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับระยะเวลาสัมผัส(วัน)	64
7	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสี ของปริมาณถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน ในอัตราส่วนต่างๆ	64
8	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน ในอัตราส่วนต่างๆ	64
9	ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว	65
10	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ ที่ผ่านการบำบัด(ชั่วโมง)	65
11	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ ที่ผ่านการบำบัด(ชั่วโมง)	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ ที่ผ่านการบำบัด(สัปดาห์)	66
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ ที่ผ่านการบำบัด(สัปดาห์)	67
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	67
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	67
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	68
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	68
18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	69
19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	70
20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	70
21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี กับการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	70
22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	71
23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	71
24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	72
26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	73
27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	73
28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	74
29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียว กับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	74

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กรรมวิธีการผลิตยางพารา	4
2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน)	7
3 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้นและ สี่ชั้น	9
4 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	12
5 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	15
6 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	15
7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	16
8 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	18
9 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรุนดลิช	19
10 ถ่านกะลามะพร้าว	21
11 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองและหญ้ากรอง	23
12 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	24
13 คอลัมน์บรรจุวัสดุปลูกตามพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบ หญ้ากรองน้ำเสีย	36
14 กระบะบรรจุชั้นวัสดุปลูกตามพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบ หญ้ากรองน้ำเสีย	37
15 กราฟมาตรฐานซีแพดทินัม-โคบอลต์	39
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซีและซีโอดี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว	41
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซีและซีโอดีกับระยะเวลาสัมผัสเป็นชั่วโมง (ก.) และเป็นวัน(ข.)	42
18 ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์(ก.)และ ไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช(ข.)	44
19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซีและซีโอดีกับปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ ผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ที่ผ่าน การบำบัด(สัปดาห์)	46
21	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ที่ผ่าน การบำบัด(ชั่วโมง)	47
22	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.)ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกกกกลม	48
23	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.)ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก	49
24	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.)ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกครึ่งชั่วโมงร่วมกับการปลูกกกกลม	51
25	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.)ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกครึ่งชั่วโมงร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก	52
26	การทดลองชุดควบคุม โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสีย ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ก.) และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ข.)	54
27	การทดลองชุดควบคุม โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสีย ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ก.) และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ข.)	55

**การบำบัดน้ำเสียขั้นตติยภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิต
เส้นด้ายยางยืด โดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสีย
และพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม**

**Tertiary Treatment of UASB Treated Effluent of Elastic Rubber Factory by
Coconut Shell Charcoal Adsorption in Combination with Grass Filtration System
and Constructed Wetland**

คำนำ

ปัจจุบันการปลูกยางพาราถือได้ว่าเป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยเป็นอย่างมาก ผลผลิตของต้นยางพาราที่สำคัญคือน้ำยางที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิต อุปกรณ์และวัสดุผสมต่างๆ เช่น ยางรถ รองเท้า ยางยืด และยางลบ ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพารา ก่อให้เกิดน้ำเสียที่สร้างปัญหาอย่างมากในการบำบัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก อีกทั้งโรงงานบางแห่งยังขาดความเข้าใจทางด้านเทคโนโลยีและเงินทุนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย หรือประสิทธิภาพระบบบำบัดนั้นยังไม่สามารถบำบัดได้เพียงพอ เมื่อปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะก่อให้เกิดผลด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมและจิตวิทยาของชุมชนใกล้เคียงพื้นที่โรงงานได้

ผู้วิจัยมีความสนใจจะนำเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ปัจจุบันใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นหลัก มาบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ประกอบกับโครงการผลิตเส้นด้ายยางยืดที่มีระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน โดยใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) น้ำที่ออกมา ยังคงมีสมบัติเป็นเบส สีของน้ำยังคงเป็นที่พึงน่ารังเกียจและมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่สูงเกินค่ามาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คิดนำถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสาร มาเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดที่อาศัยกระบวนการธรรมชาติทั้ง 2 แบบ มาเป็นระบบบำบัดในขั้นที่ 3 และปลูกพืชที่ทนต่อสภาพของน้ำเสียและช่วยในกระบวนการบำบัด ร่วมกับการบำบัดแบบธรรมชาติ โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อมุ่งพัฒนาระบบมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบบำบัดหลักของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืดที่ยังคงมีปัญหา ให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดจากยางพาราที่ผ่านระบบบำบัด UASB โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับ
2. เพื่อพัฒนาระบบบำบัดแบบหมุนกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเป็นระบบบำบัดขั้นที่สามของกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางพารา



การตรวจเอกสาร

1. กรรมวิธีการผลิตยางพาราแผ่น

1.1 การรวบรวมหางน้ำยาง น้ำยางสกิมหรือหางน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นแยก จะถูกลำเลียงบนรางไถ่แอมโมเนีย เพื่อให้แอมโมเนียระเหยไปและลงสู่บ่อพักหางน้ำยางสกิม เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) ในการจับตัวเพื่อผลิตยางแท่งสกิม เนื่องจากถ้าหากหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูงจะต้องใช้กรดในการจับตัวเป็นปริมาณมาก

1.2 การจับตัวหางน้ำยาง เมื่อหางน้ำยางผ่านรางไถ่แอมโมเนียแล้วจะไหลลงสู่บ่อรับหางน้ำยางเพื่อพักหางน้ำยางแล้วจะถูกปล่อยลงสู่บ่อจับตัวซึ่งมีจำนวน 3 บ่อ หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการทำให้ยางสกิมจับตัวด้วยการเติมกรดซัลฟูริกลงในบ่อผสมน้ำยางในกรณีนี้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานต้องคอยสังเกตการณ์เปลี่ยนสีของน้ำยางจนกระทั่งน้ำยางเริ่มจับตัว ยางที่จับตัวแล้วจะทิ้งไว้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง

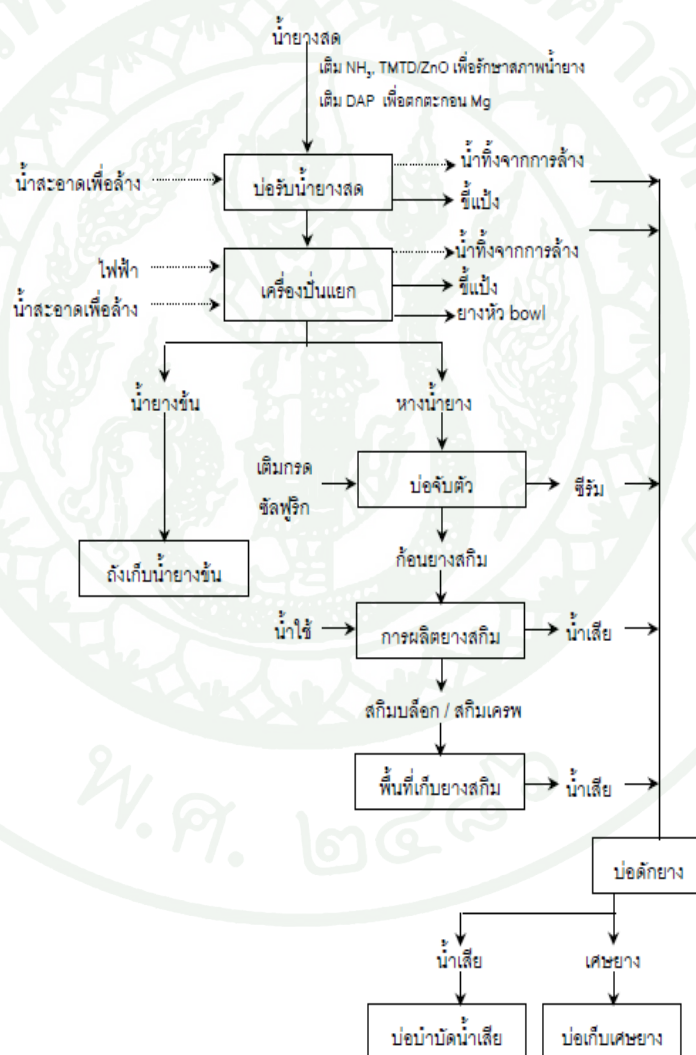
1.3 การรีดยาง ภายหลังจากที่หางน้ำยางหรือยางสกิมจับตัวเป็นก้อน ด้วยการเติมกรดซัลฟูริกแล้ว น้ำยางสกิมในสภาพที่เป็นก้อน ขึ้นมารีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องจักรรีด หลังจากนั้นยางแผ่นจะถูกบดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วเข้าสู่ขั้นตอนการล้างยางสกิม

1.4 การล้างยางสกิม เมื่อยางสกิมแผ่นที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องจักรรีดแล้ว จะถูกลำเลียงเข้าเครื่องตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วลงสู่บ่อล้างยางสกิมเพื่อล้างกรดซัลฟูริกและสิ่งสกปรกออกจากเนื้อยางที่ติดมากับเนื้อยาง โดยมีเจ้าหน้าที่คอยใช้ไม้กวาดยางสกิมที่ย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วในบ่อล้าง

1.5 การอบยาง ยางสกิมฝอยที่ผ่านการล้างกรดซัลฟูริกเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงลงกระบะรองรับลำเลียงเข้าสู่ตูบ ความจุของเตาอบสามารถบรรจุได้ 14 ตะแกรง โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาทีต่อตะแกรง ภายในเตาอบประกอบด้วย 2 หัวฉีด (Burner) คือหัวฉีดตัวที่ 1 ปรับอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส โดยอบเพื่อไล่น้ำออกไปก่อน หัวฉีดตัวที่ 2 ปรับอุณหภูมิที่ 125 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 2-3 ชั่วโมง ภายในเตามีพัดลมขนาดใหญ่ เพื่อจะทำให้ความร้อนกระจายได้ทั่วทั้งเตา หลังจากนั้นผ่านเครื่องดูดความร้อนเพื่อทำให้เย็นสามารถที่จะเอาออกมาแล้วทำการอัดแท่ง

1.6 การอัดแท่งการบรรจุ หลังจากที่ยางสลิมนผ่านการอบด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้ว เจ้าหน้าที่จะนำยางที่อบเสร็จซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งออกจากกระบะเพื่อนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งแพ้ละ 33.33 กิโลกรัม เมื่อได้ยางที่มีน้ำหนักตามต้องการแล้ว เจ้าหน้าที่ก็จะนำยางที่ผ่านการชั่งเข้าสู่เครื่องอัดเพื่ออัดเป็นแท่งเพื่อให้ได้รูปทรงและขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ

1.7 การบรรจุ ยางแท่งที่ผ่านการอัดแท่งและชั่งน้ำหนักตามรูปทรงและขนาดแล้วจะถูกบรรจุลงถังพลาสติก แล้วเก็บไว้ในพาเลทเพื่อรอการส่งออกไปให้ลูกค้าต่อไป ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตยางพารา

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2. มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิต

2.1 น้ำเสีย

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพาราเกิดขึ้นจากหลายขั้นตอนในการผลิต เช่น เกิดจากบ่อรับน้ำเสีย การปั่นยาง เป็นต้น โดยจะองค์ประกอบของน้ำเสีย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานทำยาง

Types	Percentage (%)
(1) Carbohydrates	2.3
(2) Proteins	1.0
(3) Free amino acids.	0.018
(4) Other organic acids	0.04
(5) Nitrogenous bases	0.08
(6) Inorganic anions	trace amounts
(7) Metallic ions	trace amounts
(8) Formic acid (used for latex coagulation)	0.12
(9) Uncoagulated rubber	1.0
Total	4.45

ที่มา: พิเชษฐ (2543)

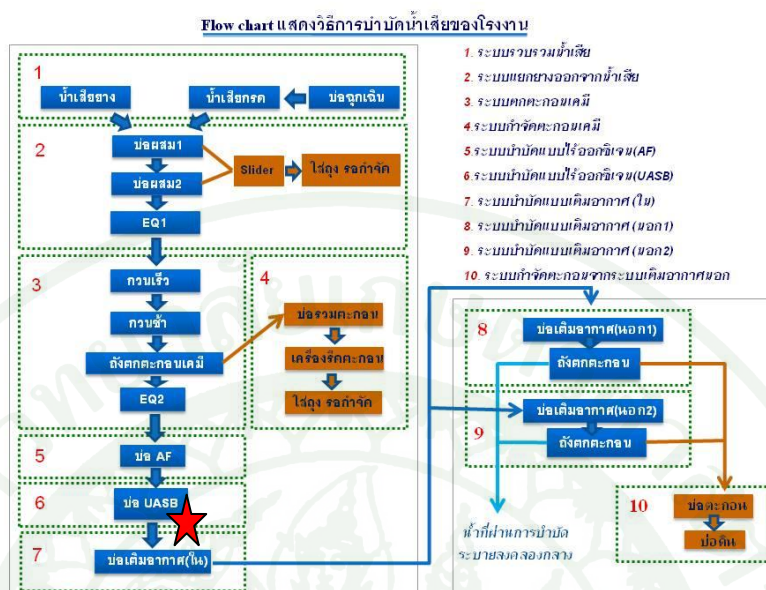
2.2 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี

การวิเคราะห์ค่าของ COD ใช้สำหรับประมาณปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั่วไป โดยที่สารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์โดยปริมาณที่มากเกินพอของสารเคมีประเภทออกซิไดซิงเอเจนต์อย่างแรงที่นิยมใช้คือ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในสภาพของความเข้มข้นสูง โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ Silver Sulfate โดยทั่วไปแล้วค่าของ COD จะมีค่ามากกว่าค่าของ BOD_5 เสมอและใช้เวลาในการหาประมาณ 3 ชม. ซึ่งรวดเร็วกว่าการหาค่า BOD

และปริมาณของสารที่ถูกออกซิไดซ์โดยวิธีทางเคมีจะมีปริมาณมากกว่าสารที่ถูกออกซิไดซ์โดยวิธีทางชีวภาพหรือกล่าวได้ว่า 20 ปริมาณสารอินทรีย์ที่วัดในเทอมของ COD เป็นการวัดสารอินทรีย์ทั้งหมด (ทั้งที่ย่อยสลายได้ ย่อยสลายได้ช้า และย่อยสลายไม่ได้ด้วยจุลินทรีย์) เช่น กลูโคส ลิกนิน และเซลลูโลส น้ำมัน ไขมันจากเนย พืชและสัตว์ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมนอกจากนี้ยังมีสารอนินทรีย์อื่น ๆ เช่น เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}), แมงกานีสไอออน (Mn^{2+}), คลอไรด์ไอออน (Cl^-), ซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) สารประกอบในรูปคอลลอยด์ที่แขวนลอยและสารละลายในน้ำเสียของสารประกอบเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ในขณะที่ BOD เป็นการวัดสารอินทรีย์เฉพาะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้เท่านั้น การที่ค่า COD สูงกว่า BOD เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยการดูดซึมทางชีวโดยจุลินทรีย์ เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะถูกออกซิไดส์อย่างแรง และถ้ามีสารที่ไม่สามารถถูกย่อยทางชีวอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลส จะทำให้ค่า COD ยิ่งสูงกว่าค่า BOD มากขึ้น (พริตต์, 2547)

3. บริษัทไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน)

บริษัทไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน) ผู้ประกอบกิจการธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตเส้นด้ายยางยืด จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นของบริษัทไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน) ผลปรากฏว่ามีความสกปรกในรูปซีโอดีอยู่ประมาณ 3,500 จากข้อมูลคุณภาพน้ำพบว่า การผ่านกระบวนการดูดซับโดยใช้เมฆาของถ่านหินมีนัสสามารถช่วยลดในส่วนของสี (Color) แต่ไม่สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ (บริษัท ไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน), 2556)



ภาพที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน)

หมายเหตุ: ★ คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากระบบบำบัด

ที่มา: บริษัท ไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน) (2556)

4. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมาโดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น

การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดันทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับเช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

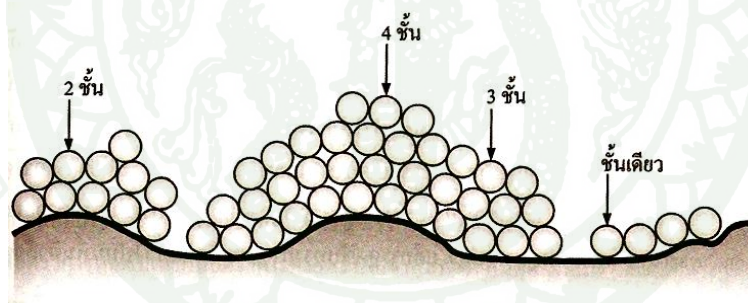
4.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

4.1.3 ปฏิริยาพื้นผิว ปฏิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับดูดติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิริยาพื้นผิวด้วย

4.2 รูปแบบของการดูดซับ

สำหรับรูปแบบการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

4.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Physical Adsorption หรือ Van Der Waals Adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับจัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันหลายชั้น (Multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3 เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวตัวถูกดูดซับด้วย ในระหว่างชั้นอาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไป จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น



ภาพที่ 3 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้นและสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) มีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมี มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณที่จำเพาะ

เจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าวจะเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงแต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20–100 กิโลแคลอรีต่อโมล ของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

4.3.1 ความดัน ปั่น อัตรารวดเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันของระบบถ้ามีความดันต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความดันสูงจะเกิดฟิล์มบางทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

4.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะนั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

4.3.3 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดี้ (พอดี้เข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้างอาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับนั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดซับได้ดี

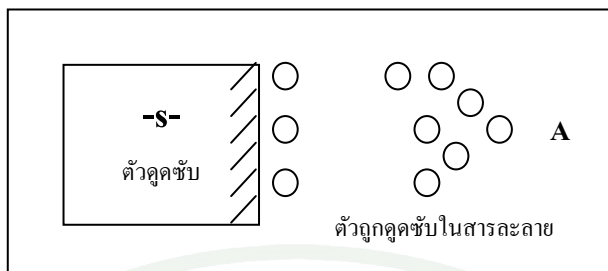
4.3.5 pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

4.3.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับกล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

4.3.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้นซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้วจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

4.4 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในตัวทำละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้นในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่า อัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายสถานะสมดุลของการดูดซับจะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมลต่อลิตรในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

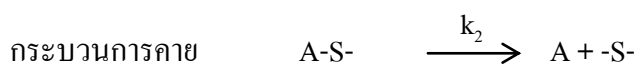
(1-q) เป็นสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายหรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

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



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$r_2 = k_2(q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

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

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

$$q = \frac{K[C]}{1+K[C]} \quad \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



ณ สภาวะสมดุล $K = \frac{q}{C} \quad \dots\dots\dots(9)$

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_i - C_e) \quad \dots\dots\dots(10)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับหน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม หรือ โมลต่อกรัม

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม กรัม หรือกิโลกรัม

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรหรือลิตร

C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายหน่วยเป็นความเข้มข้นเป็น โมลาร์

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็น โมลาร์

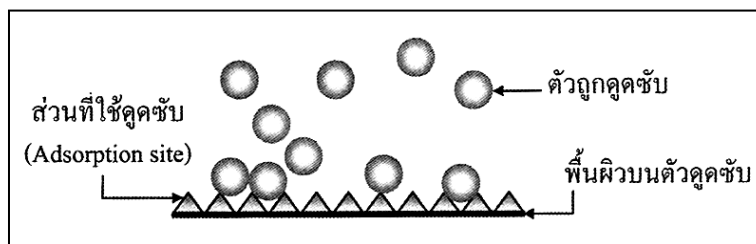
4.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับการดูดซับ ไอโซเทอร์มที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm)

4.5.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์

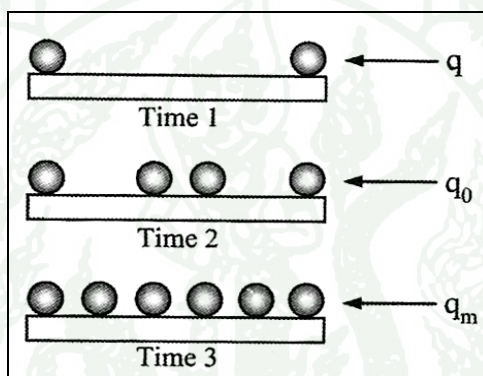
สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวถูกดูดซับ แต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว แต่ละพื้นผิวของตัวถูกดูดซับมีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน ดังภาพที่ 5 ตัวดูดซับมีพลังงานในการดูดซับเหมือนกัน และโมเลกุลของตัวดูดซับไม่สามารถเกิดข้ามพื้นผิวหรือไม่สามารถเกิดขึ้นกับโมเลกุลที่อยู่ติดกันได้ (Faust and Aly, 1987)

พื้นผิวตัวถูกดูดซับจะปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว ดังภาพที่ 6 (ถูกดูดซับได้มากที่สุด)



ภาพที่ 5 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)



ภาพที่ 6 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมการการดูดซับ และจากสมการที่ (8) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์จะใช้สมการที่ (8) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \quad \dots\dots\dots(11)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (11) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \dots\dots\dots(12)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ
ความสามารถการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

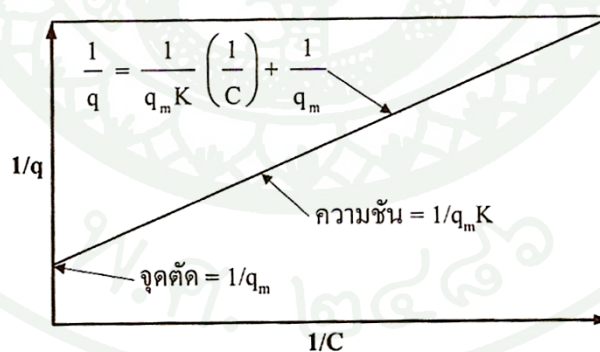
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

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

และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.5.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดิช

สมการแบบฟรุนดิช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลังมีรูปแบบดังสมการที่ (13)

$$q = KC^{1/n} \quad \dots\dots\dots(13)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนดิช (Freundlich Constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป $1/n$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (13) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(14)$$

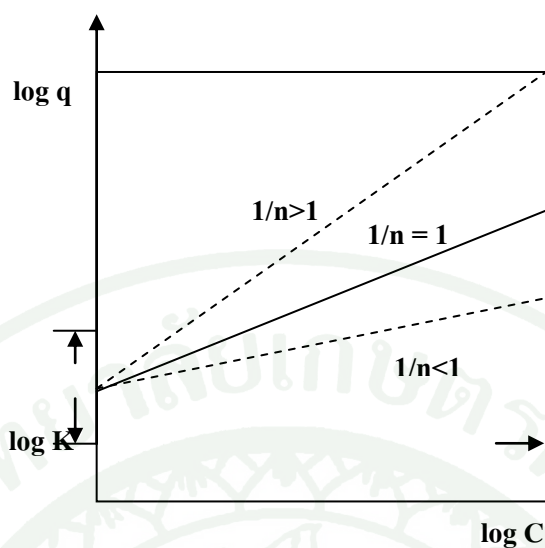
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

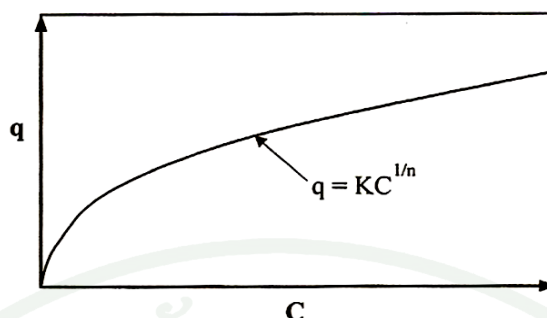
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

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 (14) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการช้อนทับกันได้ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 9 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.6 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ

4.6.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอกติเวเตดซีลิกา (Zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

4.6.2 ถ่านกัมมันต์ เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

4.6.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

4.6.4 วัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีเลอซไคโตซาน (Chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (Rice Straw) เปลือกไม้ (Bark) ถั่วแกลบดำ เป็นต้น

4.6.5 สารดูดซับชีวภาพ (Biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือ ราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

5. ถ่านกะลามะพร้าว

กะลามะพร้าวเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นแอคติเวตเตดคาร์บอน กะลามะพร้าวเป็นวัสดุพื้นบ้านที่พบได้ทั่วไป เพราะในประเทศไทยใช้มะพร้าวในการประกอบอาหารเป็นประจำ และจำนวนมากทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ประโยชน์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันที่ชาวบ้านนำมาใช้คือ นำมาเป็นเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่โดยไม่ทราบถึงคุณค่า โดยเฉพาะนำมาทำแอคติเวตเตดคาร์บอน ดังนั้นการนำถ่านกะลามะพร้าวมาใช้เป็นตัวดูดซับร่วมกับวัสดุปลูกจึงมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแบบเทคโนโลยีอย่างง่าย เพราะมีราคาถูกและเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำประโยชน์ (อวยพร, 2531)

5.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว

ถ่านกะลามะพร้าวเป็นถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีลักษณะเป็นเกล็ดเกรด PHO 8×30 (ผ่านการทดสอบมาตรฐานตาม (American Society for Testing and Material, ASTM) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทางกายภาพ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว

สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ตรวจวัด
ค่าการกระจายตัวของอนุภาค (ASTM เมช/มิลลิเมตร)	
+8 (2.36 มิลลิเมตร)	มากกว่าร้อยละ 5
8x30 (2.36-0.60 มิลลิเมตร)	มากกว่าร้อยละ 90
-30 (0.60 มิลลิเมตร)	มากกว่าร้อยละ 5
ความหนาแน่น	น้อยกว่า 0.5 กรัม/ซีซี
ความชื้น	มากกว่าร้อยละ 8 โดยมวล
ปริมาณเถ้า	มากกว่าร้อยละ 3.5 โดยมวล
พีเอช	9-11

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว (ต่อ)

สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ตรวจวัด
ไอโอดีน นัมเบอร์ (AWWA B 604)	น้อยกว่า 1,050 มิลลิกรัม/กรัม
ระดับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (ASTM 3467-88)	น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยมวล
ค่าความแข็ง (ASTM 3802-79)	น้อยกว่าร้อยละ 98

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

ถ่านกะลามะพร้าวถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดกลิ่น (Deodorization) การดูดสี (Decolourization) การลดสารคลอรีน (Dechlorination) และสารกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 10 ถ่านกะลามะพร้าว

6. เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติ

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย อาศัยกระบวนการทำงานร่วมกันระหว่างดิน น้ำ และพืชโดยทำการปลูกพืชที่ทนน้ำท่วมขังได้ในดินที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินนา 3 ส่วนต่อทราย 1 ส่วนให้มีเนื้อดินเป็นดินร่วน เพื่อช่วยเพิ่มการซึมซาบและการระบายน้ำเมื่อทำการขังน้ำเสียแล้ว จุลินทรีย์ในดินจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ และธาตุอาหารให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2543)

6.1 กระบวนการบำบัดด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลักจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะใช้ ออกซิเจน (O_2) ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อการหายใจและถูกใช้ให้หมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องเติมออกซิเจนแก่ระบบ โดยอาศัย กระบวนการ Thermo Osmosis โดยพืชที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะน้ำท่วมขังได้ ซึ่งใบอ่อนของพืชจะมีความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนจากบรรยากาศ ผ่านกาบใบมาปลดปล่อยบริเวณรากขนอ่อน ทำให้บริเวณรอบราก (Rhizosphere) มีออกซิเจนแพร่ออกมา ส่งผลให้ในบริเวณรอบรากพืชมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านชนิด และปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น สารประกอบอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียบริเวณรอบรากพืช และแบคทีเรียในดินย่อยสลายเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างเนื้อเยื่อทำให้พืชเจริญเติบโต

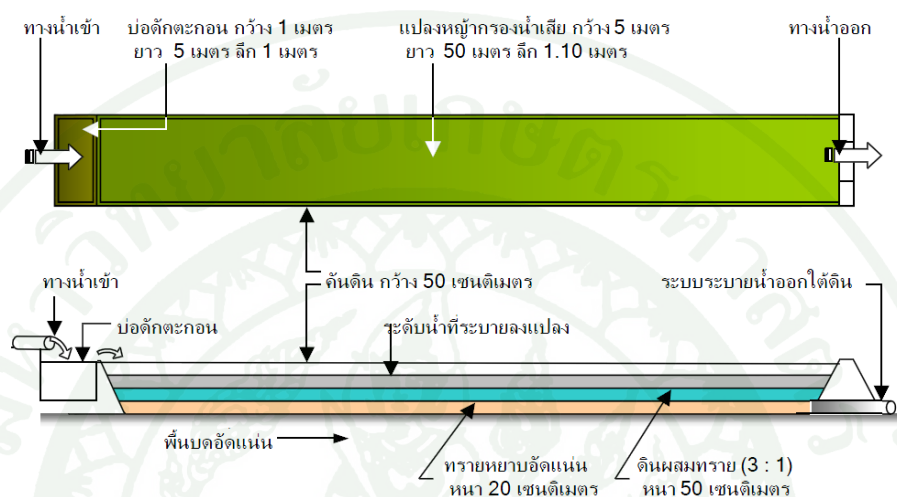
นอกจากนี้ในส่วนของน้ำเสียที่ขังอยู่บริเวณผิวดินมีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนด้วยเช่นกัน โดยอาศัยแบคทีเรียที่ลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ เพื่อให้แพลงก์ตอนพืช สาหร่ายและพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อการเจริญเติบโตและปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนออกมาละลายน้ำ ให้แบคทีเรียไว้ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป

6.2 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

6.2.1 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นระบบที่ให้พืชช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ที่พืชต้องการของจุลินทรีย์ในดิน การปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากระบบราก สาหร่าย และแพลงก์ตอนโดยการปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืชหรือหญ้า น้ำเสียจะไหลผ่านผิวดินและต้นพืช หรือหญ้า เป็นระยะทางอย่างน้อย 50 เมตร ระดับความสูงของน้ำเสียที่กักขังบริเวณท้ายแปลงเท่ากับ 30 เซนติเมตร ชั่งน้ำเสียสูง 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน ดังภาพที่ 11 เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินมีโอกาสดักจับ และระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบ โดยปล่อยระบายน้ำทางระบบท่อใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับพืชและหญ้าที่ใช้ในการบำบัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หญ้าอาหารสัตว์ได้แก่ หญ้าคาลล่า หญ้าโคสโครส และหญ้าสตาร์ พืชทั่วไป ได้แก่ กล้วย กล้วยไม้ กกอกลม

(กกจันทรบูรณ์) และหญ้าแฝกอินโดนีเซีย เมื่ออายุของหญ้าและพืชครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด จะตัดหญ้านั้นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ หญ้าที่ตัดออกเหล่านี้สามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ส่วนพืชทั่วไปนำไปใช้ในการจักสานได้เป็นอย่างดี

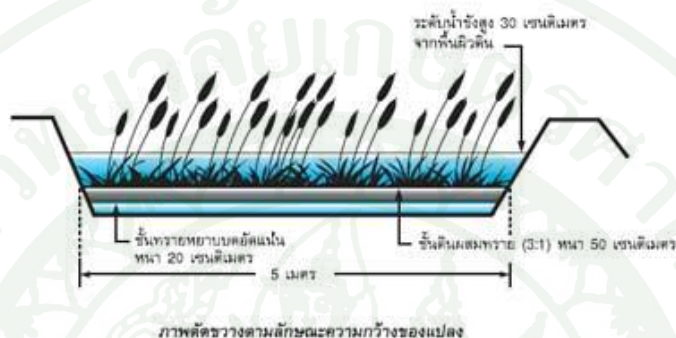


ภาพที่ 11 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองและหญ้ากรองน้ำเสีย

ที่มา: มุลนิธิชัยพัฒนา (2543)

6.2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม อาศัยการปล่อยน้ำเสียไหลต่อเนื่องในระบบ โดยขังน้ำเสียสูง 30 เซนติเมตร และควบคุมอัตราการไหลให้น้ำเสียมีระยะเวลาการกักพักภายในระบบ 24 ชั่วโมง พืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย คือ กกกลม (กกจันทรบูรณ์) และรูปถ่าย ดังภาพที่ 12 ซึ่งช่วยในการบำบัดน้ำเสียอาศัยการปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้นรวมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย อีกทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน และระยะเวลาการกักพักเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 12 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ที่มา: มุลนิธิชัยพัฒนา (2543)

Hammer and Bastian (1989) ได้ให้ความหมาย พื้นที่ชุ่มชื้นและที่ถูกก่อสร้างดัดแปลงว่าเป็นพื้นที่ที่ถูกออกแบบและมีการก่อสร้างตลอดทั้งมีการดำเนินการขังน้ำและระบายน้ำอย่างต่อเนื่องโดยการกระทำของมนุษย์ มีพรรณพืชทั้งที่ใต้น้ำและอยู่ใต้อากาศที่มนุษย์ปลูกไว้ พืชส่วนใหญ่ในพื้นที่ชุ่มชื้นและที่นำมาบำบัดน้ำเสียมักจะเป็นพืชลำต้นอ่อนเป็นส่วนมาก หลักการบำบัดน้ำเสียระบบพื้นที่ชุ่มชื้นและถูกประยุกต์เป็นการบำบัดน้ำเสีย โดยแปลงพืชกรองน้ำเสียใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โครงสร้างของระบบแปลงพืชกรองน้ำเสียสร้างเพื่อเลียนแบบธรรมชาติ โดยสร้างคันดินสูงประมาณ 1 เมตร พื้นดินเป็นดินอัดแน่นและรองพื้นด้วยทรายหยาบสูง 20 เซนติเมตรให้มีอัตราส่วนความชื้น 1 ต่อ 1,000 เพื่อให้น้ำไหลในอัตราที่เหมาะสม ดินที่ใช้ส่วนบนเป็นดินผสมทรายในอัตราส่วนดินต่อทราย เท่ากับ 3 ต่อ 1 ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการยึดเกาะของหญ้า นำหญ้ามารปลูกให้เจริญเติบโตในระดับที่เหมาะสม (สิทธิชัย, 2538) น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลาง คือ ดิน และหญ้า รากหญ้าจะทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวกลางให้แบคทีเรียเกาะเป็นตัวกรอง และยังทำหน้าที่ดูดซึมสารปนเปื้อนต่างๆในน้ำเสีย

1) หญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*)

หญ้าแฝกเป็นพืชตระกูลหญ้าอยู่ในสกุล *Vetiveria* มีถิ่นกำเนิดจากประเทศอินเดีย ตอนเหนือและได้แพร่กระจายมาสู่ประเทศเส้นศูนย์สูตร เช่น ศรีลังกา ไทย อินโดนีเซีย เป็นต้น หญ้ามีลักษณะกอเป็นพุ่มใบยาวตั้งตรงสูงชัน เป็นกระจุกหนา ไม่มีหนวด เป็นเส้น ไม่มีขน อายุข้ามปี ไม่มีรากแขนง หญ้าแฝกจะขึ้นเป็นกอใหญ่จากรากที่เป็นกระจุกใบเหมือนฟองน้ำ มีลำต้นสูง 0.5-1.5 เมตร ใบมีลักษณะค่อนข้างแข็ง ขาวและแคบ มีหลังใบโค้งปลายใบแบน ใบมีสีเขียวเข้มเป็นมัน เนื้อใบเนียนแต่ขอบใบหยาบ ช่อดอกยาว 15-40 เซนติเมตร ดอกแคบแหลมเกาะติดกันดอกและไม่มีหนวด หญ้าแฝกที่อายุประมาณ 1 ปีจะมีรากยังลึกได้ประมาณกว่า 1 เมตรซึ่งในสภาพธรรมชาติดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำได้ดี หญ้าแฝกจะให้รากยาวที่สุด (สำนักงาน กปร, 2536)

การใช้ประโยชน์จากแฝกในด้านการบำบัดน้ำเสีย พบว่า รากของแฝกสามารถดูดซับน้ำ รักษาความชุ่มชื้นในดินและดูดซับแร่ธาตุอาหารและสารพิษจากสารกำจัดศัตรูพืช ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ มนพ (2538) พบว่า หญ้าแฝกพันธุ์อินเดีย บราซิล ศรีลังกาและอินโดนีเซีย สามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยจะดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนักบางชนิดที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้และหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวให้อยู่รอดในน้ำเสียได้ดี (Xia *et al.*, 2003)

2) กกกลมหรือกกจันทบูรณ (Cyperus Corymbosus Rottb.)

กกกลม เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีอายุอยู่ได้หลายปี จัดอยู่ในตระกูล Cyperaceae ส่วนใหญ่ขึ้นตามที่ลุ่มชื้นแฉะ หนอง บึง ฯลฯ ลักษณะของลำต้นแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนลำต้นใต้ดิน มีลักษณะเป็นแง่งสั้นๆ หรือเหง้าคล้ายขิง มีสีน้ำตาลดำ เรียกว่า Rhizome ส่วนที่สองเป็นลำต้นที่ทอดยาวอยู่บนพื้นดิน มีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็กสีน้ำตาล เรียกว่า Stolon บางครั้งลำต้นส่วนนี้จะมียาวใหญ่ขึ้นเป็นที่สะสมอาหารแต่ขยายพันธุ์ และส่วนที่สาม คือ ลำต้นที่เป็นก้านยาว สีเขียวชูขึ้นไปในอากาศ เรียกว่า Aerial Stem ปลายสุดเป็นจุดกำเนิดดอก ด้านหน้าตัดขวางจะมีลักษณะกลม กกกลมจึงมีลักษณะลำต้นกลม เฉพาะลำต้นส่วนปลายใกล้ๆ กับดอกเท่านั้นที่เป็นสามเหลี่ยม ลำต้นมีสีเขียวเข้ม เป็นมัน สูง 1-2 เมตร ดอกมีขนาดเล็กเป็นฝอยอยู่รวมกันเป็นช่อดอก เมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ใบประดับของช่อดอกเป็นแผ่นยาวเรียวยาวสั้นกว่าความยาวของช่อดอก (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535)

สำหรับในประเทศไทย การนำกกกลมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ ได้มีผู้ศึกษาอยู่มาก ตัวอย่างเช่น การใช้กกกลมาปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบดินร่วมกับการปลูกพืช (สุชาติ และคณะ, 2537) เนื่องจากกกกลเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตดีและมีโอกาสใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ (Buddhawong, 1996) ได้ทดลองใช้กกกลในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่จังหวัดสกลนคร พบว่า สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา

นฤเทพ (2549) เป็นการติดตามตรวจสอบประเด็นสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราในภาคใต้ตอนล่าง โดยวิธีการสำรวจภาคสนาม ใช้แบบสอบถาม และการรวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราจากแหล่งทุติยภูมิ พบว่า โรงงานประกอบกิจการอุตสาหกรรมยางพาราทั้งสิ้น 385 โรง แบ่งเป็นประเภทโรงงานผลิตน้ำยางชั้น 5.45 % ยางสกิม 1.82 % ยางแท่ง 4.68 % ยางแผ่นรมควัน 13.0 % กลุ่มสหกรณ์กองทุนสวนยางผลิตยางแผ่น 68.3 % และโรงงานที่ผลิตยางหลายชนิดรวมกัน 6.75 % มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในการผลิตของแต่ละโรงงานกล่าวคือ การผลิตน้ำยางชั้นใช้น้ำเฉลี่ย 5.48 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิตใช้ NH_3 เฉลี่ย 14.79 กิโลกรัมต่อตัน ผลผลิตใช้ DAP เฉลี่ย 2.86 กิโลกรัมต่อตัน ผลผลิตยางสกิมใช้กรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 96.23 กิโลกรัมต่อตัน ผลผลิต น้ำมันดีเซล 39.59 ลิตรต่อตัน ผลผลิต การผลิตยางแท่งใช้น้ำเฉลี่ย 8.62 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต กรดฟอร์มิก 11.11 กิโลกรัมต่อตัน ผลผลิต และน้ำมันดีเซล 29.80 ลิตรต่อตัน ผลผลิต สำหรับน้ำใช้ในการผลิตของสหกรณ์กองทุนสวนยางเท่ากับ 7.76 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต กรดฟอร์มิก 4.75 กิโลกรัมต่อตัน ผลผลิต และไม้ฟืน 1.4 ตันต่อตัน ผลผลิต ปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา ได้แก่ น้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและน้ำล้างเครื่องจักร ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก โดยปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นมีปริมาณ 4.15 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต ยางสกิมเท่ากับ 19.39 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต ยางแท่งเท่ากับ 22.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต ยางแผ่นรมควันเท่ากับ 7.06 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต และน้ำเสียรวมเท่ากับ 12.72 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ผลผลิต ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นปนเปื้อนด้วยมลสารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะน้ำยางชั้นและยางสกิม มีค่า BOD_5 ระหว่าง 570-13,463 มิลลิกรัมต่อลิตร COD ระหว่าง 672-23,300 มิลลิกรัมต่อลิตร SS ระหว่าง 54-1,478 มิลลิกรัมต่อลิตร TKN 70-1,358 มิลลิกรัมต่อลิตร TP 2.66-5.52 มิลลิกรัมต่อลิตร และ SO_4^{2-} 16.3-1,085 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังมีของเสียที่เป็นของแข็ง ได้แก่ กากขี้เถ้าระหว่าง 1.4-50 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางชั้น และมลภาวะทางอากาศ ได้แก่ ความ

เข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียบริเวณเครื่องปั้นยางช่วง 37.08-85.8 ppm กลิ่นจากระบบบำบัดน้ำเสีย และจากการอบยาง รวมถึงมลพิษทางเสียงจากเครื่องปั้นน้ำยางระดับเสียงดังอยู่ในช่วง 84.4-91.7 dB(A) น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าการปนเปื้อนมลสารลดน้อยลง แต่ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงาน ด้วยลักษณะน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราประกอบด้วย สารอินทรีย์ที่สูงมาก ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยรวมจะสูงกว่า 90 % ก็ตาม แนวโน้มด้านการจัดการมลพิษโรงงานอุตสาหกรรมยางพารา มีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จากการนำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) และเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (CT) มาดำเนินการและภาครัฐมีนโยบายการสนับสนุนด้านเทคโนโลยีการจัดการมลพิษโรงงานมากขึ้น

จรินทร์ (2542) ทำการศึกษาโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นจะใช้น้ำยางข้นร้อยละ 60 เป็นวัตถุดิบ เพื่อแปรรูปเป็นถุงมือยาง กรรมวิธีการผลิตประกอบด้วย การทำน้ำยางข้นจากน้ำยางสดโดยการปั่นเหวี่ยง, การผสมน้ำยางกับสารเคมี, การจุ่มแบบพิมพ์, การทำแห้ง, การวัลคาไนซ์ยาง และการล้างผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 300-4,000 ลูกบาศก์เมตร มีค่าบีโอดีในช่วง 220-725 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชอยู่ในช่วง 6.58-6.6 โดยทั่วไปโรงงานประเภทนี้จะใช้การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สถานะแวดล้อม ซึ่งบ่งชี้ว่าจุลินทรีย์สามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสีย ของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้นได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น เพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำทิ้งจาก โรงงานแปรรูปน้ำยางข้นและเทียบเคียงสายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือก จากตัวอย่างน้ำเสีย 54 ตัวอย่าง เก็บจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลา สามารถแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม Purple Non-Sulfur ได้ 10 สายพันธุ์ เมื่อนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกได้มาเลี้ยงในอาหารน้ำเสียจากบ่อบำบัด น้ำเสียรวมของบริษัทสยามเซมเพอร์เมด จำกัด ซึ่งมีค่าบีโอดี, ซีโอดี, ไนโตรเจนทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย ทั้งหมดเท่ากับ 502, 1,990, 298, 1,382 และ 93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พีเอชเท่ากับ 7.45 ภายใต้อากาศ มีแสงอุณหภูมิห้อง (35-38 องศาเซลเซียส) นาน 40 ชั่วโมง พบว่า ทุกสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารน้ำเสีย โดยลดค่าซีโอดีในช่วงร้อยละ 20.0-34.1 สายพันธุ์ SS51 และ SY40 ซึ่งแยกได้จากบ่อบำบัด น้ำเสียของบริษัทสยามเซมเพอร์เมด จำกัด และบริษัทเซฟสกิน คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ตามลำดับ ลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 34.1 และ 33.9 ตามลำดับ สายพันธุ์ SS51 ให้ปริมาณเซลล์ สูงสุดและอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 1.659 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร และ 0.046 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ SY40 ให้ปริมาณเซลล์สูงสุด และอัตราการเจริญ

จำเพาะเท่ากับ 1.400 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร และ 0.044 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียและเพิ่มปริมาณเซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจึงทดลองเลี้ยงเชื้อผสม พบว่า การเลี้ยงเชื้อผสมระหว่างสายพันธุ์ SS51 และ SY40 ให้อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด 0.043 ต่อชั่วโมง ปริมาณเซลล์สูงสุดเท่ากับ 1.735 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร อัตราการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นเซลล์เท่ากับ 0.283 กรัม/น้ำหนักเซลล์แห้งต่อกรัม ซีโอดีที่ใช้ และลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 55.1 ผลการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ การลดค่าซีโอดี กรดระเหย และศึกษาคุณภาพเซลล์จากการเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงผสมสายพันธุ์ SS51 และ SY40 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การผสมแบคทีเรียสายพันธุ์ SY40 ปริมาณ 7 มิลลิตร ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังการเติมแบคทีเรียสายพันธุ์ SS51 ปริมาณ 14 มิลลิตร นาน 12 ชั่วโมง พีเอชเริ่มต้น 6.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ (หลอดทั้งสแตนด์) เชื้อผสมให้อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.045 ต่อชั่วโมง ปริมาณเซลล์สูงสุดเท่ากับ 2.996 กรัม/น้ำหนักเซลล์แห้งต่อลิตร อัตราการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นเซลล์เท่ากับ 0.64 กรัม/น้ำหนักเซลล์แห้งต่อกรัม ซีโอดีที่ใช้ ประสิทธิภาพการใช้กรดระเหย และการลดค่าซีโอดีเท่ากับร้อยละ 78.0 และ 80.5 ตามลำดับ ในเวลา 3 วัน เซลล์มีปริมาณแบคทีเรียโอฟิลล์ และ คาโรทีนอยด์เท่ากับ 19.174 และ 0.342 มิลลิกรัมต่อกรัม/น้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ SS51 และ SY40 เทียบเคียงเป็น *Rubrivivaxgelatinosus*

รุจิรัตน์ (2542) ศึกษา น้ำทิ้ง 3 ประเภท ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR5L น้ำยางข้น และน้ำทิ้งรวมจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR5L และน้ำยางข้น โดยใช้การบำบัดทางเคมีและการบำบัดทางชีวภาพการบำบัดทางเคมีทำโดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งให้เป็น 10 โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนอนุภาคยางและเกลือของสารอนินทรีย์ด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ แอนไอออนิกพอลิเมอร์และแคทไอออนิกพอลิเมอร์ ผลจากการบำบัดทางเคมีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR5L และน้ำทิ้งรวม ซึ่งมีค่า BOD ในช่วง 4,000-6,000 มก./ล. และค่า SS ในช่วง 1,000-1,600 มก./ล. สามารถลดลงเหลือ 2,700-2,800 มก./ล. และ 100-300 มก./ล. โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัด 30 บาทต่อลบ.ม. ส่วนการบำบัดทางเคมีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นสามารถลดค่า BOD และ SS ซึ่งมีค่า 200 และ 2,000 มก./ล. ลงเหลือ 70 และ 70 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าใช้จ่าย 25 บาทต่อลบ.ม. การบำบัดทางเคมีของน้ำทิ้งทั้ง 3 ประเภทสามารถลดปริมาณคอลลอยด์และอนุภาคของยางออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 90 % ทั้งยังสามารถลดปริมาณของฟอสเฟตและสังกะสีอย่างได้ผลถึง 97 % และ 84 % ตามลำดับ แต่มีข้อเสียคือ น้ำที่ได้มีความกระด้างสูงต้องบำบัดต่อจึงจะนำไปใช้ได้ ส่วนผลการคัดแยกและจำแนก

เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานยางทั้ง 3 ประเภทในระดับจิ้นส์ได้เชื้อ *Pseudomonas* sp. *Kurthia* sp. *Bacillus* sp. และ *Moraxella* sp. ซึ่งเจริญได้ดีที่มีอากาศ จึงได้บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยใช้แบคทีเรียที่มีอยู่ร่วมกับการเติมอากาศพบว่า การเติมอากาศในปริมาณ 1.5vvm. ลดค่า BOD และ SS ได้เหลือ 70 และ 65 มก./ล. ซึ่งการบำบัดทั้งวิธีเคมีและชีวภาพยังได้ค่า BOD และ SS สูงกว่าค่ามาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรมคือ 60 และ 50 มก./ล. และมีปริมาณสังกะสีสูงเกิน 5 มก./ล. จึงทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นโดยการประยุกต์ใช้น้ำชีรรมที่แยกได้จากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพาะเห็ดนางฟ้า พบว่า เมื่อเติมน้ำชีรรม 2-10 % ผสมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราจะได้ผลผลิตสูงกว่าสูตรอาหารพื้นฐาน (ขี้เลื่อย:น้ำ = 100:20) ถึง 25 % และเมื่อใช้น้ำชีรรม 3 % และรำ 5 % ให้ผลผลิตสูงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 30 % เมื่อเทียบกับสูตรอาหารปกติ (สูตรอาหารพื้นฐาน + รำ 5% + ยูเรีย 0.3 %) ปริมาณสังกะสีในดอกเห็ดมีค่าเฉลี่ย 60 มก./กิโลกรัมอาหาร ซึ่งต่ำกว่ากำหนดคือ 100 มก./กิโลกรัมอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529 จึงสรุปได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นส่วนที่เป็นชีรรมในการเพาะเห็ดนางฟ้าได้

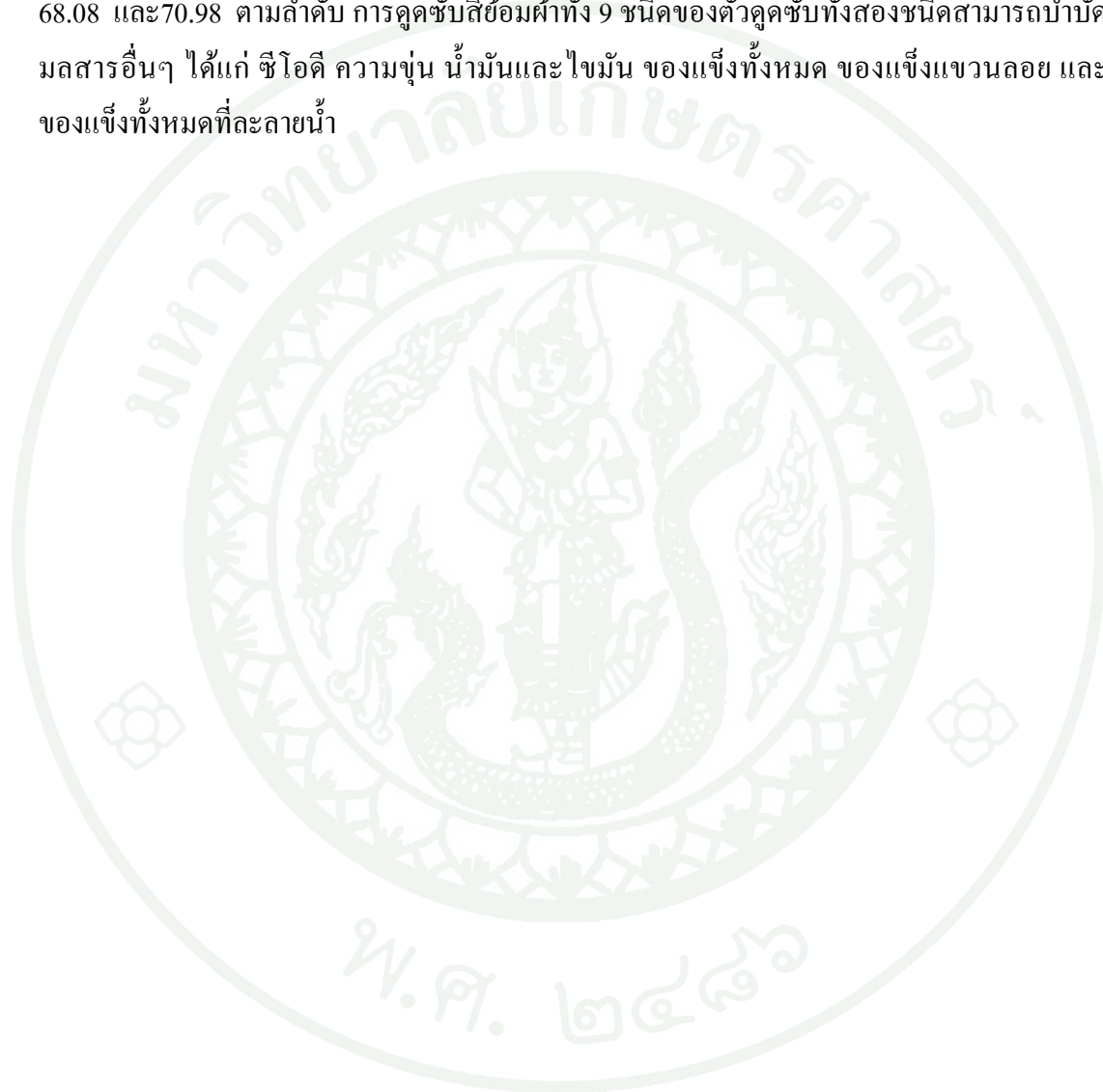
ปริญญ (2551) ปริมาณเศษไม้เหลือทิ้งจำนวนมากและการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ เป็นปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา โดยนำเศษไม้จากยางพาราจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ทำการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่อัตราส่วน 1:2 และทำการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิที่ 450 และ 550 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเผาที่ 60 90 และ 120 นาที ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ การเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 786.71 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 1,635.65 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยทั้งในห้องทดลองและที่โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ สามารถตรวจพบ สารอินทรีย์ระเหยง่าย 21 ชนิดจากกระบวนการผลิต โดยสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิดหลักที่ตรวจพบในอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์คือ Toluene Ethylenzene p-xylene และ O-xylene ซึ่งนำมาใช้เป็นสารอินทรีย์ระเหยหลักในการศึกษาครั้งนี้ ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด คือ Toluene Ethylenzene p-xylene และ O-xylene พบว่า สามารถอธิบายพฤติกรรม การดูดซับด้วยสมมุติฐานตามสมการดูดซับฟรุนดลิช แสดงให้เห็นถึงการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยบนถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารากับตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ด้วยวิธีการทางสถิติ T-test พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไม่แตกต่างกันที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่า ตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราต้นทุนต่ำสามารถใช้ดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในการศึกษามลพิษทางอากาศได้

กิตติพงษ์ (2555) ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราสามารถถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับชีวมวลที่มีต้นทุนต่ำในการกำจัดซัลไฟด์ในน้ำเสียซึ่งซัลไฟด์ในน้ำเสียที่เหลือหลังจากการดูดซับถูกตรวจวัดด้วยหัวไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ โดยศึกษาทดลองแบบเบดซ์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับซัลไฟด์และไอโซเทอร์ม ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ ได้แก่ พีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาในการเขย่า ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ เริ่มต้นและปริมาณของตัวดูดซับ ผลการศึกษาพบว่า ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราที่ปริมาณชนิดละ 1 กรัม มีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ คือ ค่าพีเอช 6.5 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 62.09 และ 83.24 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช จากการศึกษา การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 62.91 และ 80.29 ตามลำดับ สำหรับการทดลองแบบเบดซ์และสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 59.43 และ 80.29 ตามลำดับ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้จริงและยังสามารถกำจัดความขุ่นซัลเฟต ซีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไบโอมและน้ำมันในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีได้

กัญติยา (2555) การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาสีย้อมผ้าที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงย้อมผ้าดอยดงได้ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ผลของพีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาในการเขย่า เวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมมาตรฐาน และปริมาณตัวดูดซับ จากผลการศึกษา พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมผ้าด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราแตกต่างกัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมมาตรฐานเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยไม้ยางพาราปริมาณ 3 กรัม คือ พีเอช 2 ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 50 รอบ/นาที ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 60 นาที เวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะสมดุลเท่ากับ 0 นาที ในขณะที่ถ่านไม้ยางพาราปริมาณ 2 กรัม คือที่พีเอช 2 ไม่ต้องทำการเขย่า และเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะสมดุลเท่ากับ 10 นาที จากสภาวะที่เหมาะสมข้างต้นประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมผ้าของตัวดูดซับทั้งสอง

ชนิดในสารละลายสีข้อมมาตรฐานผสม มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมผ้าได้ทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ 6 % Super Black G, 2 % Turquoise H-GN, 2 % Yellow LS-4G, 2 % Yellow LS-R-01, 2 % Orange LS-BR, 4 % Navy LS-G, 2 % Red LS-B, 2 % Blue LS-3R, 2 % Br.Blue LS-G มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 73.85 และ 80.03 ตามลำดับ และในน้ำเสียจากโรงย้อมผ้าคอตตงเท่ากับร้อยละโดยเฉลี่ย 68.08 และ 70.98 ตามลำดับ การดูดซับสีข้อมผ้าทั้ง 9 ชนิดของตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถบำบัดมลสารอื่นๆ ได้แก่ ซีโอดี ความขุ่น น้ำมันและไขมัน ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 0.0 กรัม รุ่น WB-0250003 บริษัท Mettler Toledo รุ่น PB-1501
- 1.2 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย DO-Meter, pH-Meter, Turbidity-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter
- 1.3 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 1.4 ตู้ดูดความชื้น (Dessicator)
- 1.5 เครื่องย่อยสลาย (Digestion Block) พร้อมหลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels)
- 1.6 ชุดคอลัมน์แก้วพร้อมแคมป์และขาตั้ง
- 1.7 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 1.8 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ Whatman
- 1.9 กระบะปลูก

2. สารเคมี

- 2.1 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid; H_2SO_4) Grade AR
- 2.2 สารละลายอินดิเคเตอร์เฟอโรอิน (Ferroin) Grade AR
- 2.3 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) Grade AR
- 2.4 เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate (FAS); $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) Grade AR
- 2.5 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) Grade AR
- 2.6 เมอร์คิวริกซัลเฟต (Mercuric sulfate; HgSO_4) Grade AR
- 2.7 1,10-ฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline monohydrate; $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) Grade AR
- 2.8 ไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) Grade AR

3. ถ่านกะลามะพร้าว

มีลักษณะเป็นเกล็ด เกรด PHO 8x30 ผ่านการทดสอบมาตรฐานตาม American Society for Testing and Material, ASTM

4. วัสดุปลูก

ได้แก่ ดินผสมทราย, กรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด

5. พืชที่ใช้ปลูก ได้แก่ กกกกลมและหญ้าแฝก

6. น้ำเสีย

ได้รับความอนุเคราะห์จาก โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืด บริษัทไทยฟิลาเท็กส์ จำกัด เป็นน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบ UASB

วิธีการ

1. การเตรียมตัวดูดซับ

นำถ่านกะลามะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์

2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ที่มีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 500 Pt-Co Unit มา 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0 และ 20.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.0 มิลลิลิตรแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ที่มีความเข้มข้นของสีเท่ากับ 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0, 90.0 และ 100.0 Pt-Co Unit ตามลำดับ

2.2 นำสารละลายมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ ที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสง(แกนตั้ง)และความเข้มข้นของสี(แกนนอน)

3. การเตรียมสารละลาย

3.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 N

อบโพแทสเซียมไดโครเมต ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งอย่างละเอียด 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเมอร์คิวริกซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

3.2 กรดซัลฟิวริกเอเจนต์

ซังซิลเวอร์ซัลเฟต 10.11 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร กวนช้าๆ จนซิลเวอร์ซัลเฟต ละลายหมด

3.3 สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต 1.485 กรัมและไอร์ออน(II)ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3.4 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N

ซังเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 39.2 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องเปรียบเทียบกับมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที้นำไปใช้

4. ศึกษาคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบบำบัด UASB ของโรงงานโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด

นำน้ำเสียตัวอย่างมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือ พีเอช,สี, การนำไฟฟ้า, ความขุ่น , ความเค็ม, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ, บีโอดีและซีโอดี

5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ด้วยถ่านกะลามะพร้าวและไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยการทดลองแบบเบตซ์

5.1 ศึกษาปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่ศึกษา คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที กรองผ่านกระดาษเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน ตรวจวัดสีและซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับ คำนวณร้อยละการบำบัดสีและซีไอดี

5.2 ศึกษาระยะเวลาสัมผัส

ซึ่งถ่านกะลามะพร้าวปริมาณเท่ากับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.1 เติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร และแปรผันระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง และ 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน ตามลำดับ กรองผ่านกระดาษเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ตรวจวัดสีและซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับ คำนวณร้อยละการบำบัดสีและซีไอดี

5.3 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5.1 และใช้ระยะเวลาสัมผัสที่ศึกษาได้จากข้อ 5.2 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

5.4 ศึกษาปริมาณดิน

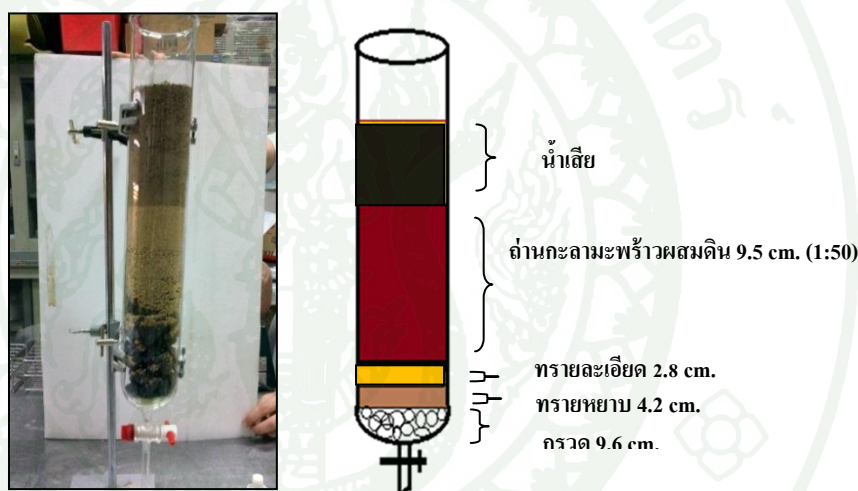
ปริมาณดินที่ศึกษา คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ จากนั้นเติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที กรองผ่านกระดาษเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ตรวจวัดสีและซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับ คำนวณร้อยละการบำบัดสีและซีไอดี

5.5 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดิน

ซึ่งถ่านกะลามะพร้าวกับดิน โดยแปรผันอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังนี้ 1:1, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:40 เติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที กรองผ่านกระดาษ เมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ตรวจวัดสีและซีไอดีของน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับ คำนวณร้อยละการบำบัดสีและซีไอดี

6. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดด้วยชั้นวัสดุปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและหล้ากรองน้ำเสียโดยการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

6.1 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้นวัสดุปลูกเลียนแบบพื้นที่เพาะปลูกของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย โดยบรรจุชั้นกรวด 9.6 เซนติเมตร ทรายหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2.8 เซนติเมตรและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้จากข้อ 5.5 สูง 16.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 คอลัมน์บรรจุวัสดุปลูกตามพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหล้ากรองน้ำเสีย

6.2 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบหล้ากรองน้ำเสีย

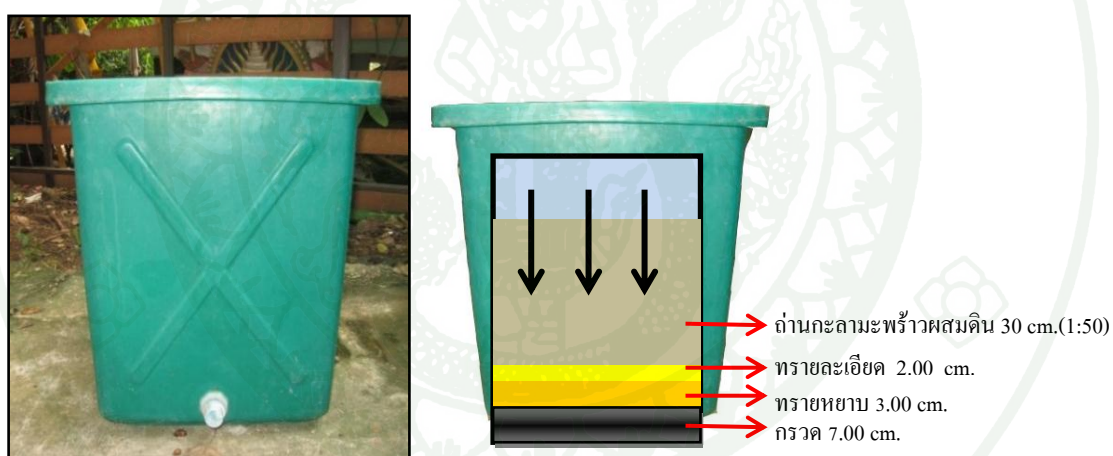
เติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุปลูกจากข้อ 6.1 แช่ทิ้ง 5 วัน ปล่อยน้ำเสียนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีไอดี ปล่อยให้ชั้นวัสดุแห้ง 2 วันและทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงหรือคงที่

6.3 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

เติมน้ำเสีย 1,500 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุปลูกจากข้อ 6.1 อย่างต่อเนื่องและเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง หาประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดี ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงหรือคงที่

7. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (Filtrated Lysimeter Techniques)

7.1 ทำการทดลองโดยใช้กระบะพลาสติกขนาด 51×51×54 เซนติเมตร ที่บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทราฮายาบ 3 เซนติเมตร ทราฮะเอียด 2 เซนติเมตรและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้สูง 21 เซนติเมตร ดังภาพที่ 13 ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ กกกลมและหญ้าแฝกในแต่ละกระบะ แต่ละชนิดพืชทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 14 กระบะบรรจุชั้นวัสดุปลูกตามพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบ หญ้ากรองน้ำเสีย

7.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 7.1 แต่เปลี่ยนจากถ่านกะลามะพร้าวผสมดินเป็นการใช้ดินเพียงอย่างเดียว

7.3 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

เติมน้ำเสีย 20 ลิตร ลงในกระบอกทดลองที่บรรจุวัสดุปลูกจากข้อ 7.1 และ 7.2 แข่ขังไว้ 5 วันปล่อยน้ำผ่านกระบอกเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดี ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้ง 2 วัน ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงหรือคงที่

7.4 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

เติมน้ำเสีย 150 ลิตร ลงในกระบอกทดลองที่บรรจุวัสดุปลูกจากข้อ 7.1 และ 7.2 อย่างต่อเนื่องและเก็บน้ำตัวอย่างทุกๆครึ่งชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดี ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงหรือคงที่

7.5 ชุดควบคุม

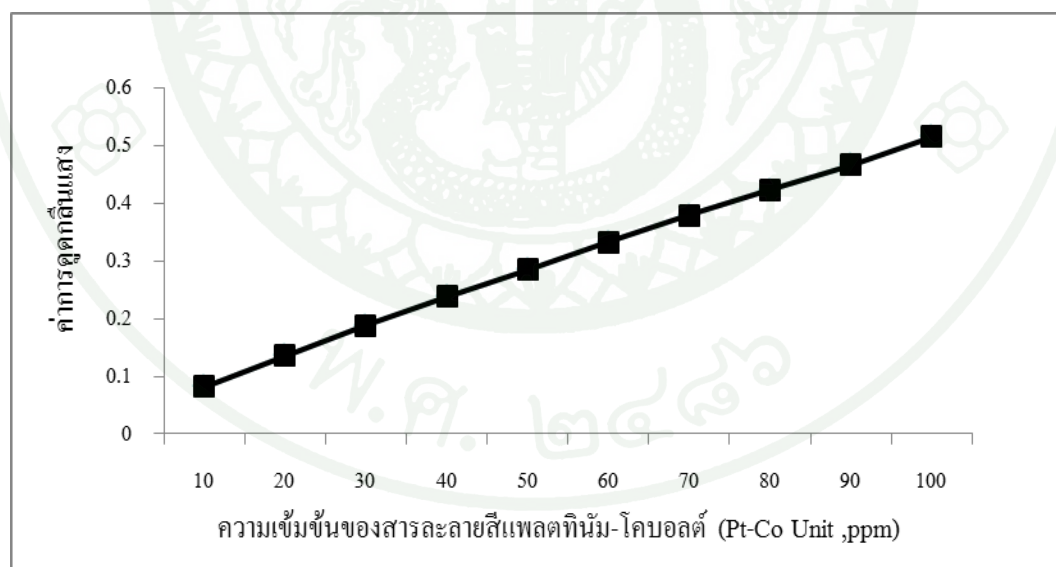
ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 7.3 และ 7.4 แต่เปลี่ยนจากน้ำเสียเป็นน้ำกลั่น

ผลและวิจารณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีไอคิกจากน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดที่ผ่านระบบบำบัดแบบ UASB โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าว แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ การทดลองแบบเบตซ์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับสีและซีไอคิกของน้ำเสียและไอโซเทอร์มของการดูดซับ ส่วนที่สองเป็นการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง เพื่อเป็นการจำลองชั้นวัสดุปลูกของระบบหน่วยกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และส่วนที่สามเป็นการใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ซึ่งจำลองการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 2 ระบบ โดยผลการทดลองมีดังนี้

1. กราฟมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์

กราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ที่เตรียมจากการทดลองข้อที่ 2 มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง โดยสมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 0.0048x + 0.0424$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9991 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดแบบ UASB จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืด

ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบ UASB แล้วยังคงมีสภาพเป็นเบส มีของแข็งละลายน้ำและสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและบีโอดีที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) และมีสีเป็นที่พึงนํารังเกียจ ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบบำบัดแบบ UASB ควรได้รับการบำบัดขั้นที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	น้ำเสียที่ออกจากระบบ UASB	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
พีเอช	8.5	5.5 – 9.0
สี (Pt-Co Unit)	73	5 – 15*
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	970	-
TDS (mg/L)	6,210	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (ppt)	6.9	-
ความขุ่น (NTU)	31	-
ซีโอดี (mg/L)	2,480	ไม่เกิน 120
บีโอดี (mc/L)	1,200	ไม่เกิน 20
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	28	ไม่เกิน 40

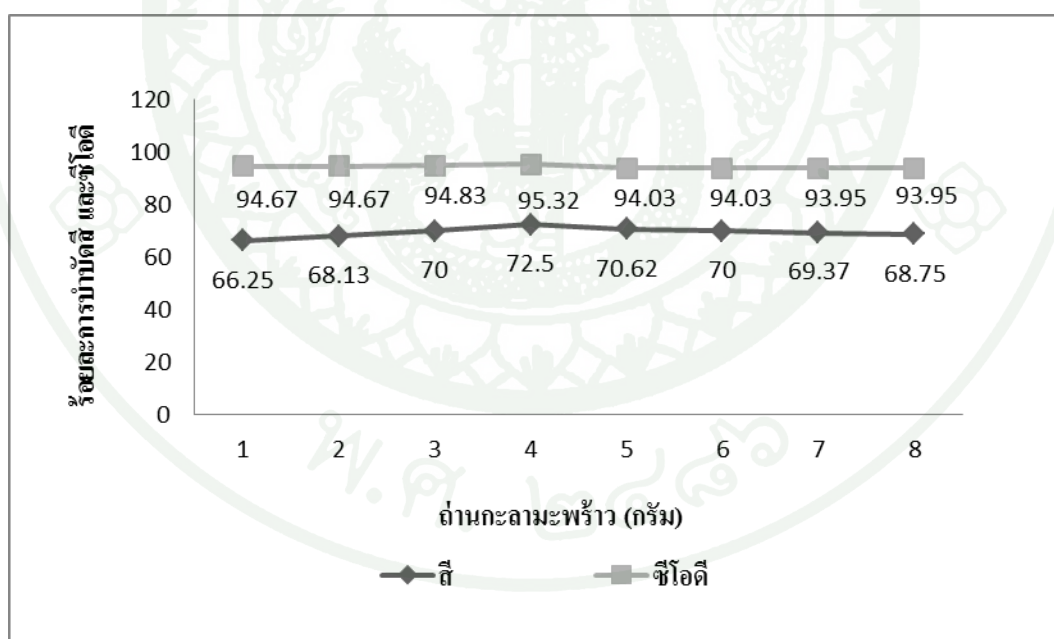
หมายเหตุ: * มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2542)

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดด้วย ถ่านกะลามะพร้าวและไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยการทดลองแบบเบตซ์

3.1 ผลการศึกษาปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

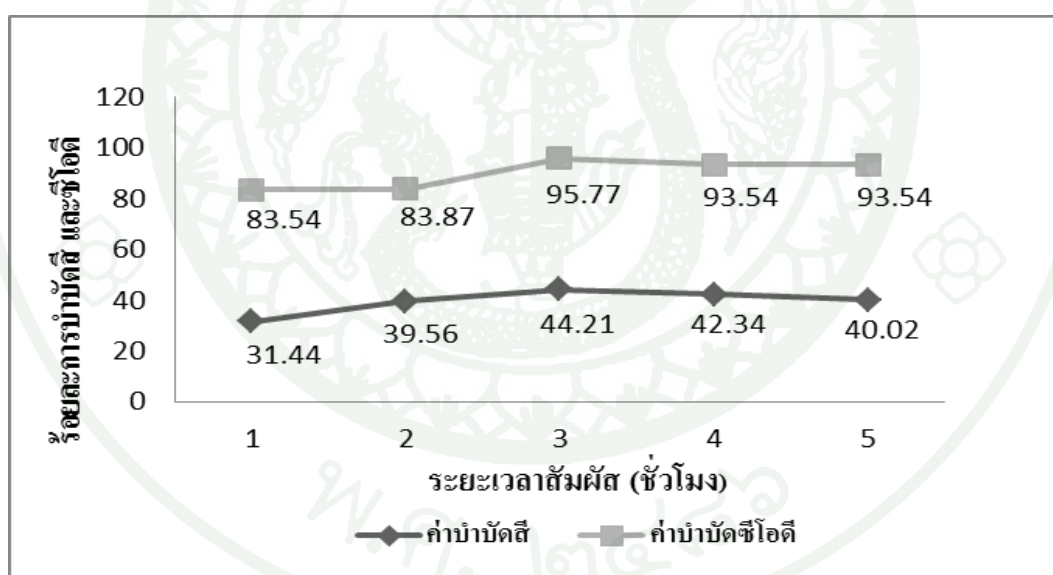
จากการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกะลามะพร้าวจาก 1 กรัม จนถึง 8 กรัมต่อน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีเพิ่มขึ้นและเริ่มมีแนวโน้มคงที่จนลดต่ำลง ซึ่งถ่านกะลามะพร้าวที่ปริมาณ 4 กรัมให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีและซีโอดีสูงสุดที่ร้อยละ 72.5 และ 95.32 ตามลำดับ ดังภาพที่ 16 อธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณ ถ่านกะลามะพร้าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับมลสารต่างๆ แต่ปริมาณมลสารที่ถ่าน กะลามะพร้าวดูดซับได้ในแต่ละการทดลองมีปริมาณคงที่ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับขึ้นเรื่อยๆ จึงไม่ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น และอาจเกิดการคายซับร่วมด้วยจึงทำให้อัตราการดูดซับมีแนวโน้มลดลง (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีและซีโอดี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

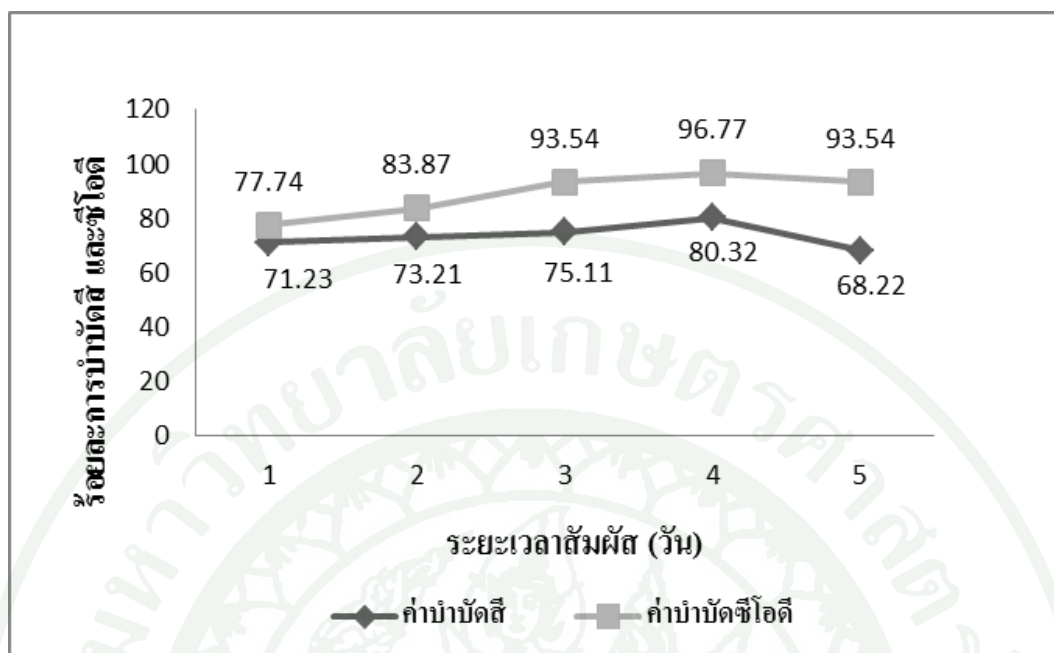
3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส

จากการทดลองแนวโน้มของร้อยละการกำจัดดีและซีโอดีมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งระยะเวลาสัมผัสที่ศึกษาเป็นชั่วโมงและวัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาจาก 1-5 ชั่วโมง และ 1-5 วัน พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกันคือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัส อธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาทำให้มลสารมีโอกาสสัมผัส หรือถูกดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวมากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับหรือถ่านกะลามะพร้าวมีปริมาณจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวดูดซับหรือมลสารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้อัตราการดูดซับคงที่ และอาจมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดการคายซับ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละการบำบัดดีและซีโอดีเท่ากับร้อยละ 44.21 และ 95.77 ตามลำดับ และระยะเวลา 4 วัน ให้ร้อยละการบำบัดดีและซีโอดีเท่ากับร้อยละ 75.21 และ 93.54 ตามลำดับ ดังภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาสัมผัสเป็นวันให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าระยะเวลาสัมผัสเป็นชั่วโมง



(ก)

ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดดีและซีโอดีกับระยะเวลาสัมผัสเป็นชั่วโมง (ก.) และเป็นวัน (ข.)

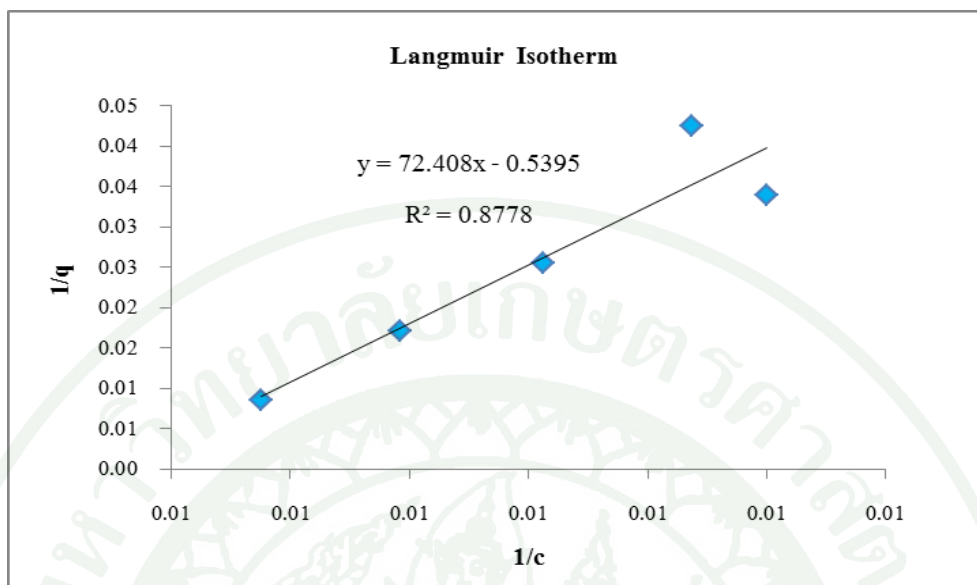


(ข)

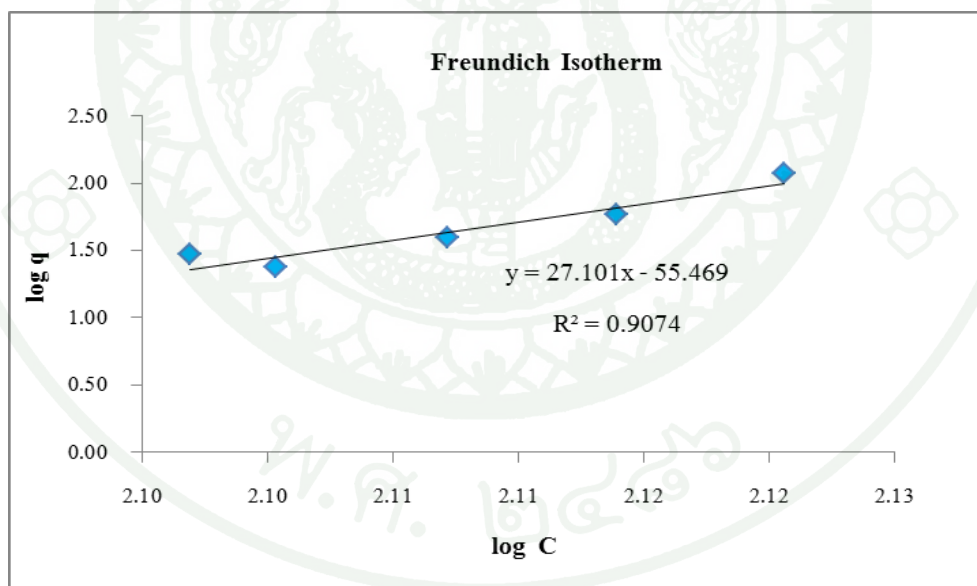
ภาพที่ 17 (ต่อ)

3.3 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

นำผลการทดลองการศึกษาการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าวศึกษาไอโซเทอร์ม การดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช โดยนำผลการศึกษาไปเข้าสมการการดูดซับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับจากน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดมีค่าเท่ากับ 0.8778 และ 0.9074 ตามลำดับ ดังภาพที่ 18(ก) และ(ข) ตามลำดับ แสดงกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช ส่วนกลไกการดูดซับของฟรุนดลิช คือ การดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Buckley, 1992) และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวหลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเกิดการซ้อนทับกันได้ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 18 ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (ก.) และ ไอโซเทอร์มของฟรุนดิช (ข.)

3.4 ผลการศึกษาปริมาณดิน

จากการทดลองอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าว ต่อดินโดยน้ำหนักที่ทำการศึกษาคือ 1:25, 1:50, 1:75, และ 1:100 พบว่าทุกอัตราส่วนให้ร้อยละการบำบัดสีใกล้เคียงกัน และให้ร้อยละการบำบัดสีโอดีที่ดีที่สุดที่อัตราส่วน 1:50 เท่ากับ 56.53 และ 98.63 ตามลำดับ ดังภาพที่ 19 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอย่างเดียว เนื่องจากในดินและถ่านกะลามะพร้าว มีคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่เหมือนกันคือ มีรูพรุน ซึ่งสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของดินมากเกินไป ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสีและซีโอดีลดลงเนื่องจากอาจมีการชะสารที่ทำให้เกิดสีและสารอินทรีย์ออกจากดิน

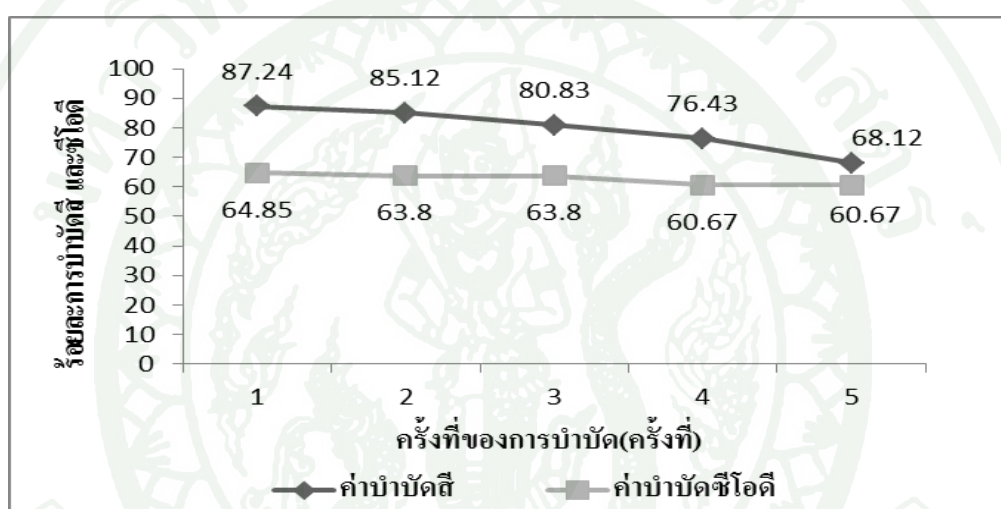


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวในดินในอัตราส่วนต่างๆ

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชั้นวัสดุปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและหลุมกรองน้ำเสียโดยการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

4.1 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบหลุมกรองน้ำเสีย

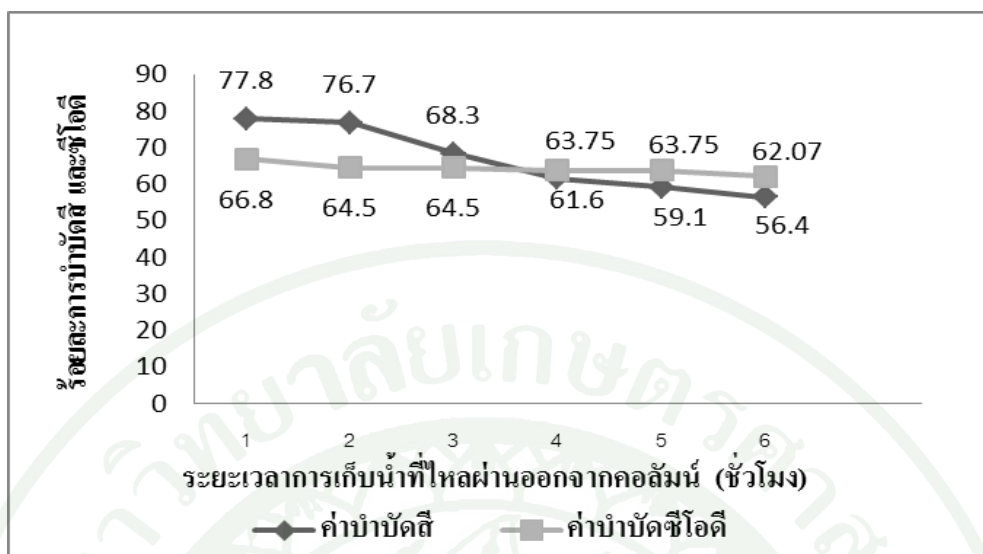
จากผลการทดลองแช่น้ำเสีย 200 มิลลิลิตรในคอลัมน์ที่บรรจุชั้นวัสดุปลูกแห้งเป็นเวลา 5 วัน ปล่อยน้ำเสียออกจากคอลัมน์และปล่อยให้ชั้นวัสดุปลูกแห้ง 2 วัน พบว่า ในสัปดาห์แรกหรือการบำบัดครั้งที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีที่สุดคือ ร้อยละ 87.24 และ 64.85 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงในสัปดาห์ต่อมาจนเข้าสู่ภาวะที่ประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างคงที่ อธิบายได้ว่าในสัปดาห์แรกพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับมลสารต่างๆ ยังมีมากและเมื่อระยะเวลาหนึ่งถ่านกะลามะพร้าวและดินถูกตัวถูกดูดซับหรือมลสารต่างๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุล (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีกับครั้งที่ของการบำบัด (สัปดาห์)

4.2 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

จากผลการทดลองโดยการปล่อยน้ำเสีย 200 มิลลิลิตรลงในคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง จากการทดลองมีการเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลผ่านชั้นวัสดุปลูกทุกชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 4 จะเริ่มคงที่และเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งร้อยละของการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีที่สุดคือ ร้อยละ 77.8 และ 66.8 ตามลำดับ ดังภาพที่ 21 อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1



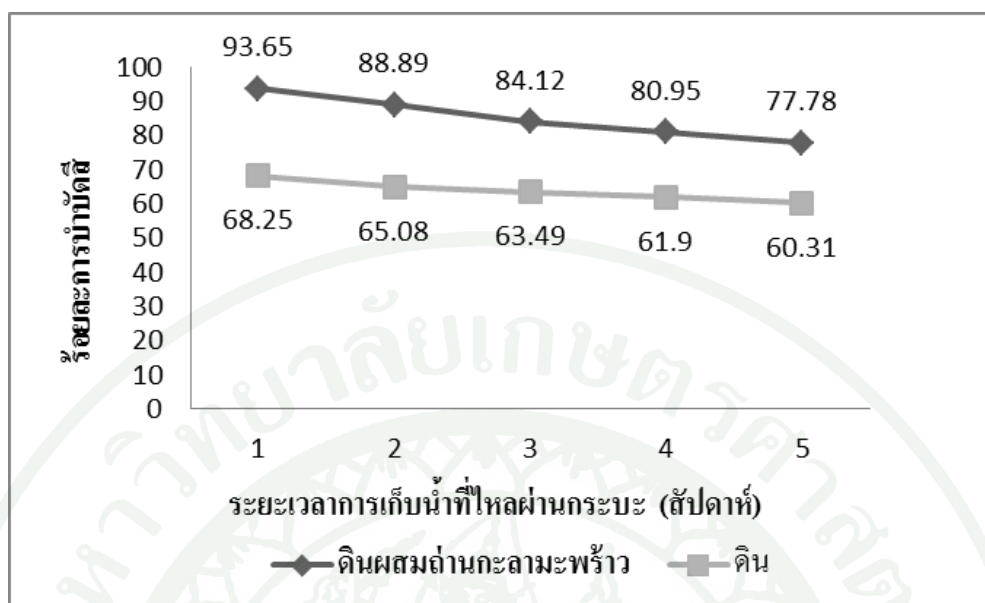
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดดีและซีโอดีกับระยะเวลาเก็บน้ำในคอลัมน์ที่ผ่าน การบำบัด (ชั่วโมง)

6. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดดีและซีโอดีในน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดด้วยถ่าน กะลามะพร้าว โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (Filtrated Lysimeter Techniques)

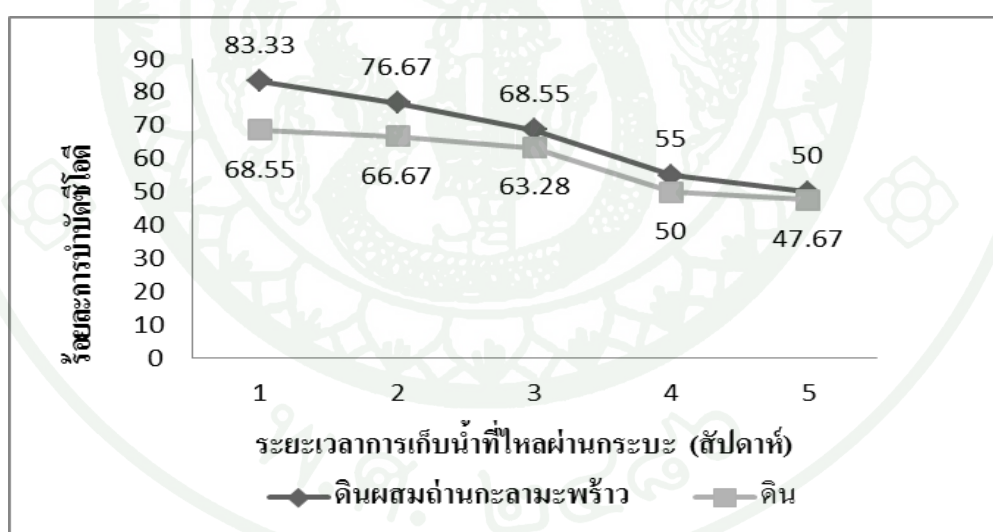
6.1 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนกรองน้ำเสีย ทดลองโดยใช้พืชบำบัด 2 ชนิดคือ กก กลมและหญ้าแฝก

6.1.1 กกกลม

จากการทดลองด้วยกระบะที่บรรจุวัสดุปลูกที่มีถ่านกะลามะพร้าวผสมอยู่และ ปลูกกกกลม พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดดีและซีโอดีในช่วงสัปดาห์แรกเท่ากับร้อยละ 93.65 และ 83.33 ตามลำดับ และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่และพบว่า กระบะที่ใช้ถ่าน กะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้จากผลการทดลองข้อ 5.1 คือ 1:50 โดยน้ำหนักให้ ประสิทธิภาพในการบำบัดดีและซีโอดีได้ดีกว่ากระบะที่ไม่ได้ใช้ถ่านกะลามะพร้าวในทุกการ ทดลองประมาณร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ ดังภาพที่ 22 เนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติ ในการดูดซับมลสารต่างๆ ได้ดี และเมื่อนำมาผสมในดินปลูกร่วมกับกกกลม จะช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพในการบำบัดดีและซีโอดีได้ดียิ่งขึ้น



(ก.)



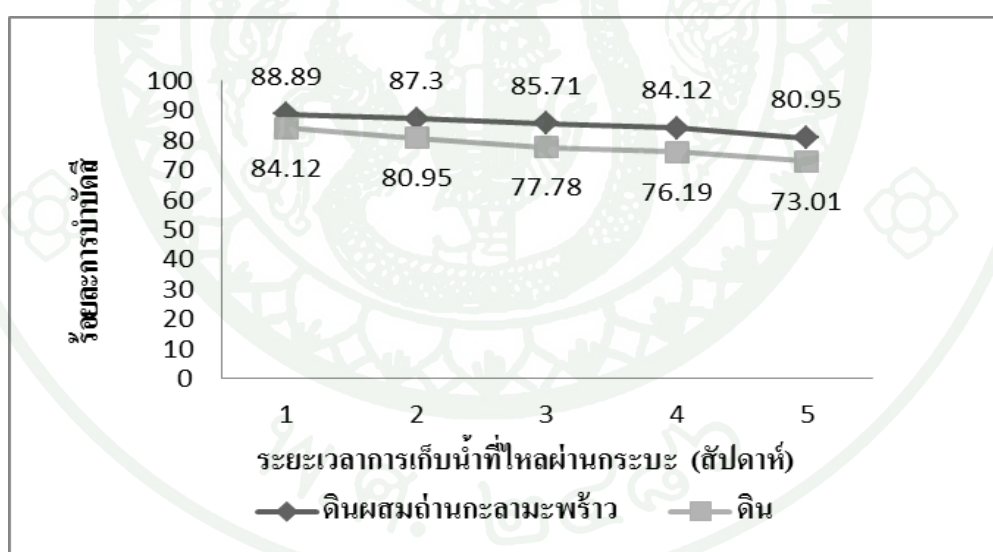
(ข.)

ภาพที่ 22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ (ก.) และซีโอดี (ข.) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกกกกลม

6.1.2 หลุมแฝก

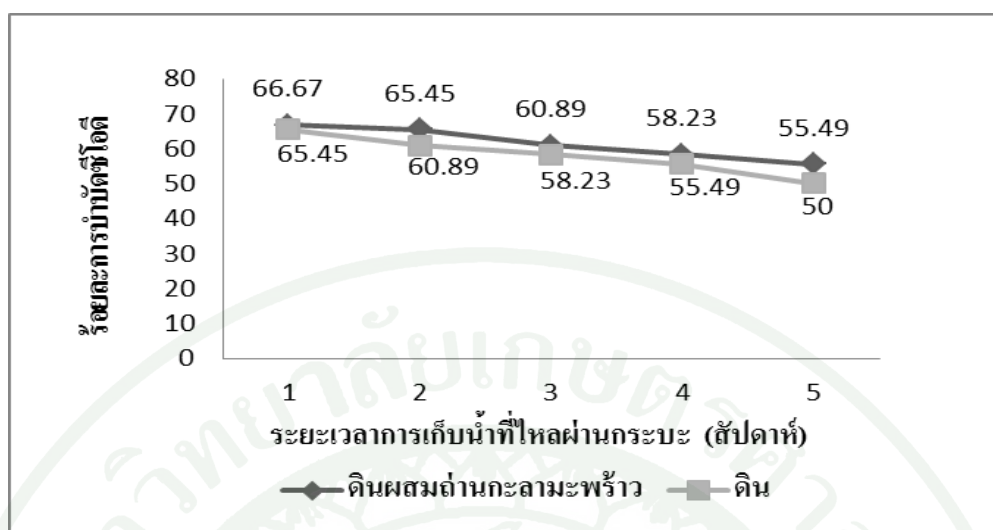
จากการทดลองปลูกหญ้าแฝกและทำการทดลองเช่นเดียวกับปลูกกกกลมพบว่า มีแนวโน้มการบำบัดเช่นเดียวกับกกกลม คือ กระบะที่ใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีไอดีได้ดีกว่าใช้ดินอย่างเดียวประมาณร้อยละ 10 ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 6.1.1 ดังภาพที่ 23

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของพืชพบว่า หญ้าแฝกให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีไอดีได้ดีกว่ากกกลมประมาณร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ เนื่องจากรากของหญ้าแฝกมีรากฝอยที่แข็งแรงและแตกรากมาก จึงมีกระจายตัวทั่วพื้นที่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนั้นเมื่อถ่านกะลามะพร้าวดูดซับมลสารต่างๆ ไว้ในรูปของอินทรีย์วัตถุและจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปอินทรีย์วัตถุเป็นอนินทรีย์วัตถุแล้ว รากของหญ้าแฝกจะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่และทำให้สามารถบำบัดค่าสีและซีไอดีได้ดีกว่ากกกลมที่มีระบบรากที่กระจายน้อยกว่า



(ก)

ภาพที่ 23 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก



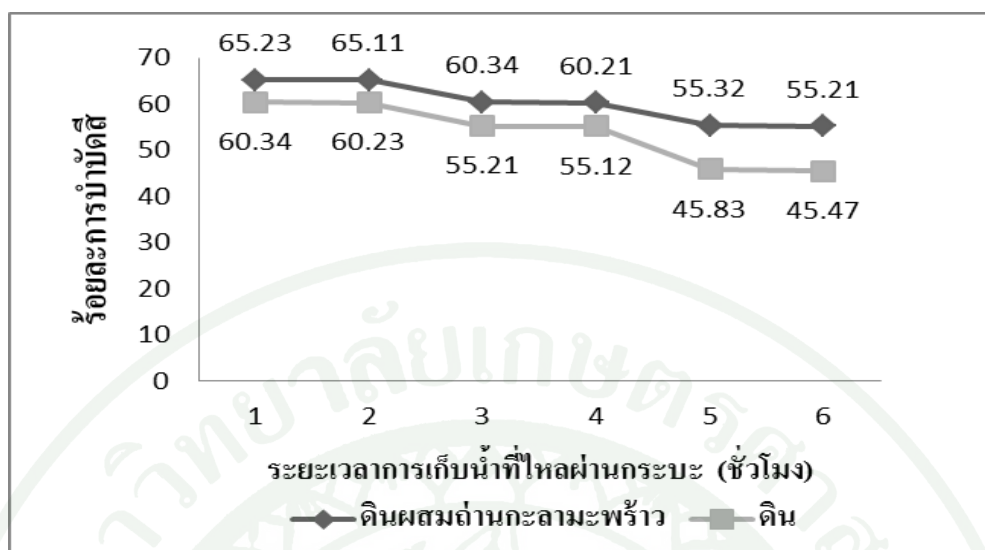
(๗)

ภาพที่ 23 (ต่อ)

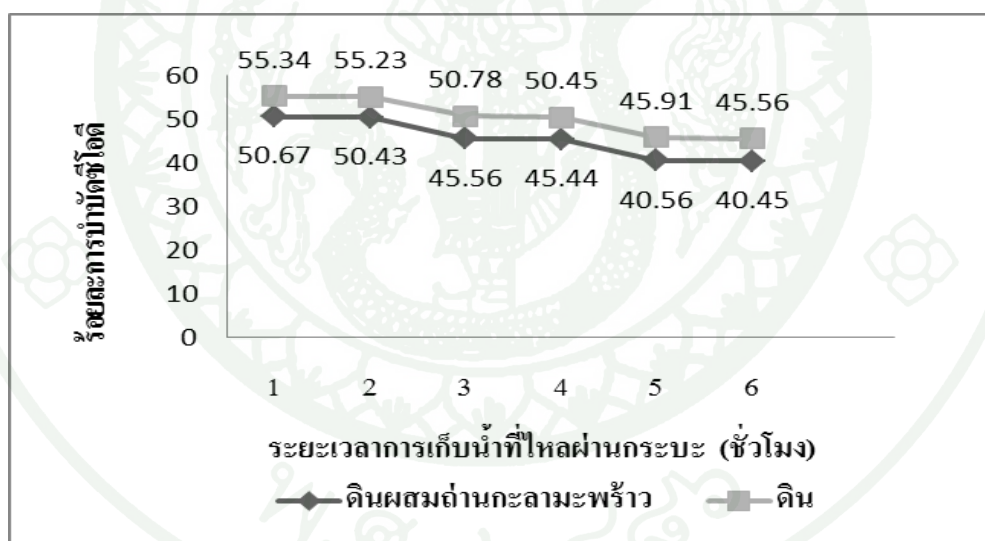
6.2 การบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมทดลองโดยใช้พืชบำบัด 2 ชนิด คือ กกกลมและธูปฤาษี

6.2.1 กกกลม

จากการทดลองโดยผ่านน้ำเสียลงไปในกระเบะที่บรรจุวัสดุปลูกและปลูกกกกลม และเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านกระเบะทุกชั่วโมงพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกระเบะที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวกับกระเบะที่ไม่ได้ผสมถ่านกะลามะพร้าวในตอนเริ่มต้นพบว่า กระเบะที่ใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 10 ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 6.1.1 ดังภาพที่ 24



(ก.)



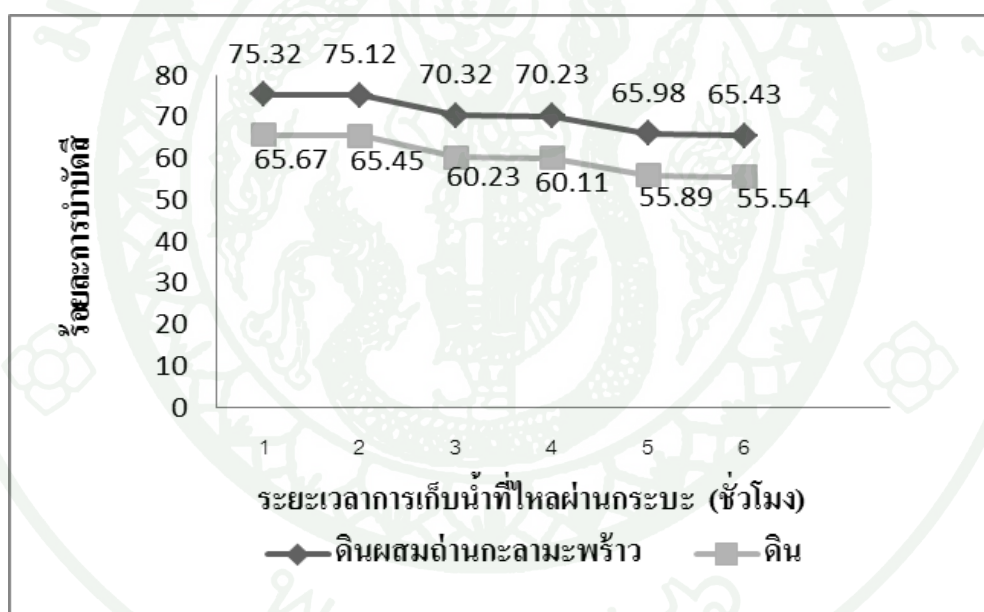
(ข.)

ภาพที่ 24 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดดี(ก.) และซีโอดี(ข.) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกครึ่งชั่วโมงร่วมกับการปลูกกกกลม

6.2.2 หลุมแฝก

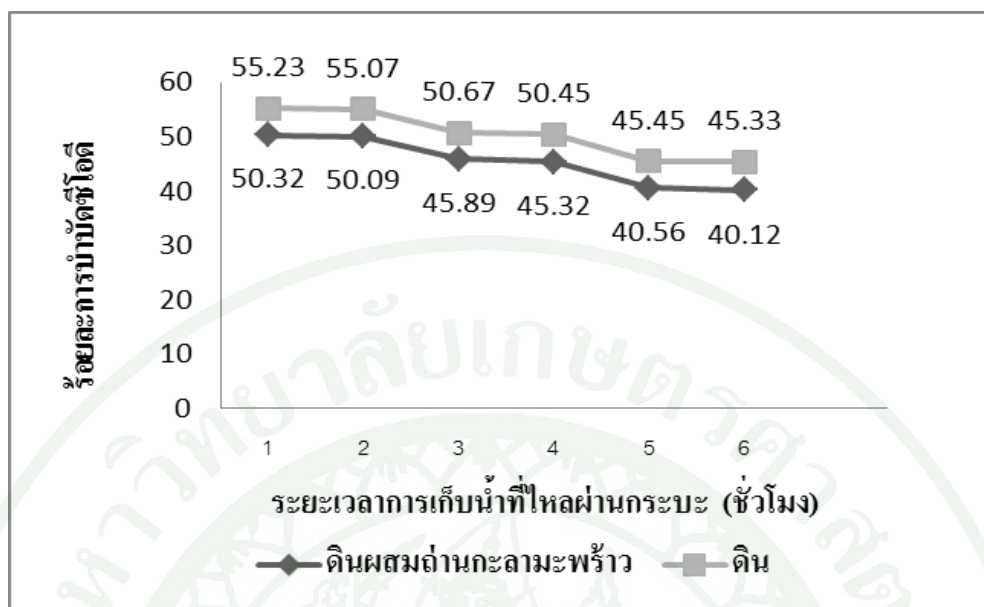
จากการทดลองโดยผ่านน้ำเสียลงไปในระบบที่บรรจุวัสดุปลูกและปลูกหญ้าแฝก และเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านระบบทุกชั่วโมง พบว่า ระบบที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวกับดินในอัตราส่วน 1:50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีไอดีได้ดีกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 10 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 6.1.1 ดังภาพที่ 25

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของพืช พบว่า หลุมแฝกและกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีใกล้เคียงกัน และหลุมแฝกให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีได้ดีกว่ากกกลมประมาณร้อยละ 10 ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 6.1.2



(ก.)

ภาพที่ 25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.) และซีไอดี(ข.) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก

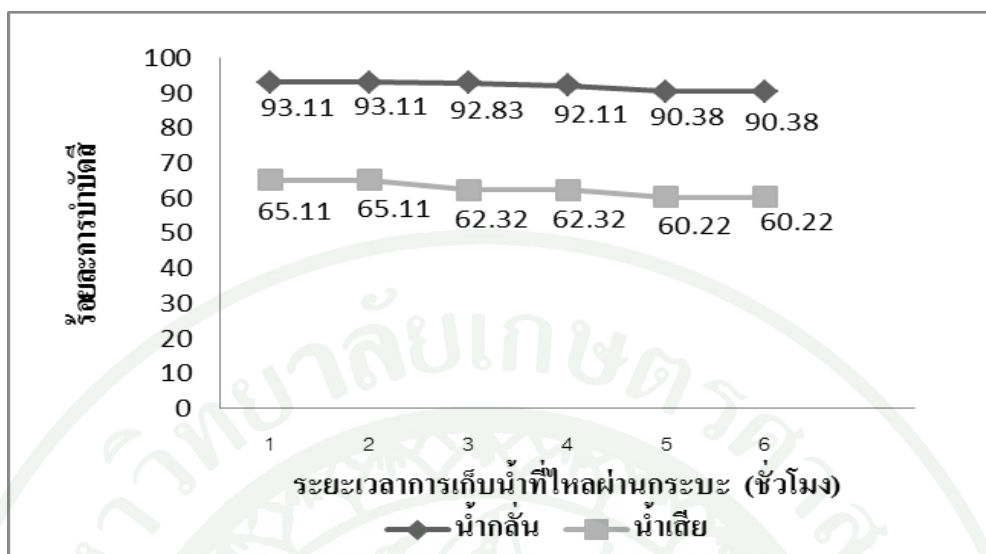


(ข.)

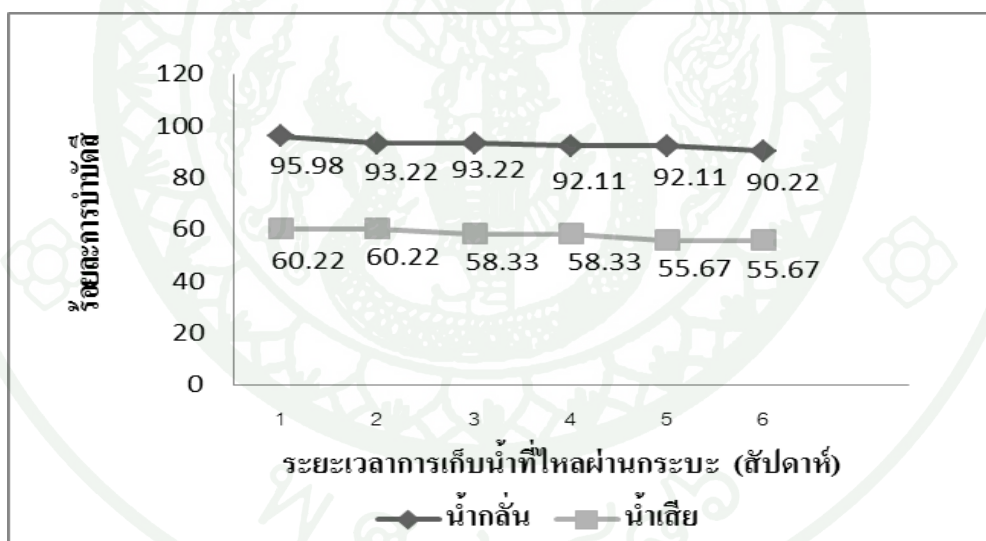
ภาพที่ 25 (ต่อ)

6.3 ชุดควบคุม

จากการทดลองที่ 7.5 การทดลองชุดควบคุมใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืดพบว่า ร้อยละการบำบัดชีโอดี และชีโอดีมีค่าใกล้เคียงร้อยละ 100 แสดงว่า น้ำกลั่นที่ผ่านวัสดุที่ใช้เพาะปลูกในการทดลองชะสีและสารอินทรีย์ออกมาน้อยมาก ดังภาพที่ 26 และ 27 ดังนั้นชีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เป็นชีโอดีที่มาจากน้ำเสียซึ่งไม่ถูกบำบัด

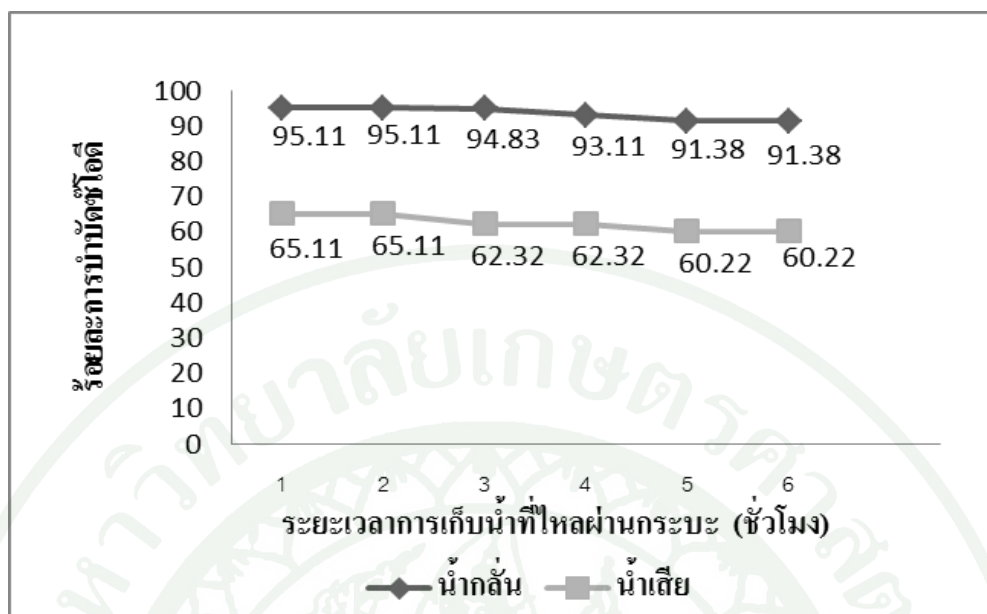


(ก.)

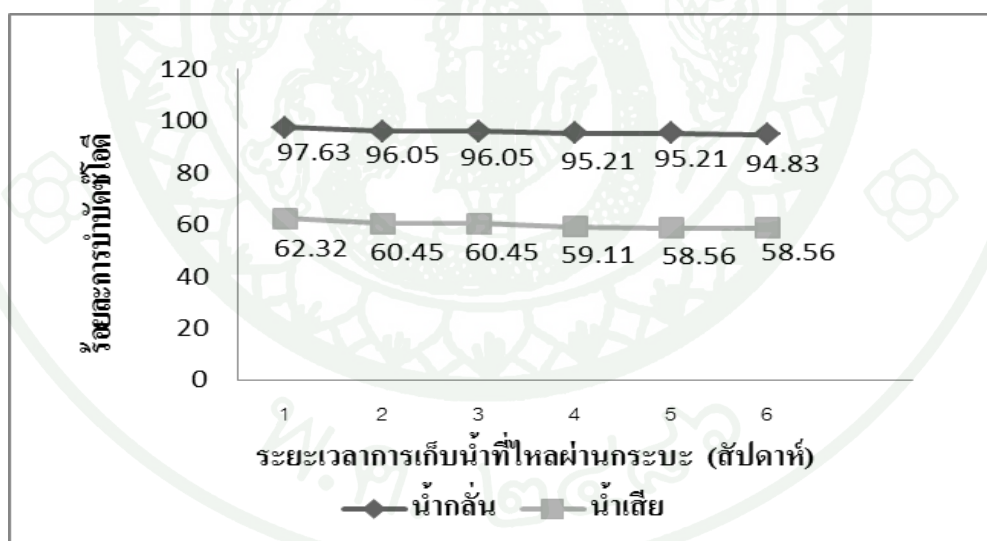


(ข.)

ภาพที่ 26 เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดของระบบ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ก.) และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ข.) ระหว่างชุดทดลอง และชุดควบคุม



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 27 เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดชีไอดีของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ก.) และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ข.) ระหว่างชุดทดลอง และชุดควบคุม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด โดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ร่วมกับระบบหมุนกรองน้ำเสีย และพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม พบว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้

โดยการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ถ่านกะลามะพร้าว 4 กรัมต่อน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด 50 มิลลิลิตรและเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 44.21 และ 95.77 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 4 วัน สามารถบำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 96.77 และ 80.32 ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่เหมาะสมคือ 1:50 ซึ่งสามารถบำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 98.63 และ 56.53 ตามลำดับ จากผลการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำลองพื้นที่ปลูกจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยฯ แบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด คือ ระบบหมุนกรองน้ำเสียให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 87.24 และ 64.85 ตามลำดับ และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 77.80 และ 66.80 ตามลำดับ ส่วนการทดลองการบำบัดแบบประยุกต์สำหรับใช้งานจริง โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ กกกลมและหญ้าแฝก พบว่า ระบบหมุนกรองน้ำเสียที่ทำการปลูกต้นกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 93.65 และ 83.33 ตามลำดับ และหญ้าแฝกให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 88.89 และ 66.67 ตามลำดับ และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกต้นกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 65.23 และ 55.34 ตามลำดับ และหญ้าแฝกให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีร้อยละ 75.32 และ 55.23 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า กระบะที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้มากกว่า กระบะที่ใช้ดินปลูกเพียงอย่างเดียวร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ และพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ่านกะลามะพร้าวมีศักยภาพสูงพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบหมุนกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ซึ่งจะถูกนำมาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 ในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบ UASB โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืด

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบนั้น มีค่าสีและซีโอดีเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการอื่นๆ ในการลดความเข้มสีและซีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
2. ศึกษาตัวดูดซับประเภทอื่นๆ เช่น ตัวดูดซับชีวมวลที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืดต่อไป
3. ควรมีการศึกษความเป็นไปได้ของการใช้ดินในพื้นที่อื่นๆ เพื่อประยุกต์ใช้ในการทดลอง
4. ควรมีการศึกษาอัตราการไหลของน้ำในระบบบำบัด UASB เพื่อนำสัดส่วนที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับระบบบำบัดพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบบ่อกำพร้ากรองน้ำเสีย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยางขึ้น. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือเรื่องการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกเพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กัญติยา สดใส. 2555. การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโครงการพัฒนาโดยดงด้วยไม้น้ำพาราแลถ่านไม้น้ำพารา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิตติพงษ์ กาวิน. 2555. การดูดซับซัลไฟไดในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้น้ำพาราและถ่านไม้น้ำพารา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรินทร์ ทองประดิษฐ์. 2542. การแยกจำแนกและเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปน้ำยางขึ้น, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นฤเทพ บุญเรืองขาว. 2549. การติดตามตรวจสอบประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมยางพาราภาคใต้ตอนล่าง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บริษัท ไทยฟิลาเท็กซ์ จำกัด (มหาชน). 2556. ข้อมูลน้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย. แหล่งที่มา: <http://factory.thaidbs.com/>, 22 มิถุนายน 2557.

ปรีชญา ชัยสาร. 2551. การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อการศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิเชษฐ ไชยพานิชย์. 2543. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพารา. ศูนย์วิจัยยางมะเขือเทศ, มะเขือเทศ.

พรรัตน์ ดิสงคราม. 2547. การใช้ระบบหญ้ากรองบำบัดน้ำเสียชุมชนจังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนพ รุ่งสุข. 2538. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกหอม *Vetiveria zizanioides*(L.) Nash ที่รอดด้วยน้ำทิ้งจากชุมชนจังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. 2543. คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุจิรัตน์ ภารศิลป์. 2542. การบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมยางด้วยวิธีทางเคมีและการประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิทธิชัย ดันชนะสถิตย์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลัดแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา ศรีเพ็ญ, วีรชัย เดชคง และ อมร พันทุศรี. 2537. การคัดเลือกพืชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธี Grass Filtration. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงานกปร.). 2536. รายงานสรุปผลการดำเนินงานโครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้แฝก อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. คณะทำงานติดตามและประเมินผลการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. สำนักงานกปร.รัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2535. เทคโนโลยีการทำ
ผลิตภัณฑ์จากกก. กองส่งเสริมเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

อวยพร บัวใบ. 2531. การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองที่ใช้ทรายและถ่านกะลามะพร้าว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Buckley, C.A. 1992. Membrane Technology for the Treatment of Dyehouse Effluents. **Wat
Sci.Tech.** 25: 203-209.

Buddhawong, S. 1996. **Efficiency of *Cyperus corymbosus* and *Eleocharis dulcis* in
constructed wetlands for municipal wastewater treatment.** M.S. thesis,
Chulalongkorn University.

Faust, S.D. and O.M. Aly. 1987. **Adsorption Processs for Water Treatment.** Butterworths
Boston, USA.

Hammer, D.A. and R.K. Bastian. 1989. **Wetland ecosystem: Natural water purifiers**, pp.
5-9. *In* Constructed wetland for wastewater treatment. Lewis Publishers, Michigan.

Xia, H., Ke, H., Deng, Z., Tan, P. 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.



ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.161	0.151	0.161	0.161	66.25
2	0.194	0.184	0.184	0.184	68.13
3	0.200	0.210	0.200	0.200	70.00
4	0.213	0.203	0.213	0.213	72.50
5	0.198	0.206	0.206	0.206	70.62
6	0.200	0.197	0.200	0.200	70.00
7	0.204	0.187	0.187	0.187	69.57
8	0.184	0.194	0.184	0.184	68.75

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละของการกำจัด
1	94.67
2	94.67
3	94.83
4	95.32
5	94.03
6	94.03
7	93.95
8	93.95

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีสีย กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.243	0.253	0.253	0.253	31.44
2	0.225	0.222	0.224	0.224	39.56
3	0.191	0.191	0.191	0.191	44.21
4	0.198	0.198	0.198	0.198	42.34
5	0.213	0.213	0.213	0.213	40.02

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีสียกับระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	83.54
2	83.87
3	95.77
4	93.54
5	93.54

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีสียกับระยะเวลาสัมผัส (วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.164	0.165	0.166	0.165	71.23
2	0.152	0.154	0.153	0.153	73.21
3	0.141	0.143	0.144	0.143	75.11
4	0.186	0.186	0.187	0.186	80.32
5	0.221	0.220	0.220	0.220	68.22

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซีไอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ร้อยละของการบำบัด
1	77.74
2	83.87
3	93.54
4	96.77
5	93.54

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนถ่าน กะลามะพร้าว : ดิน	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:25	0.097	0.096	0.096	0.096	96.49
1:50	0.099	0.098	0.099	0.099	98.63
1:75	0.112	0.112	0.113	0.112	87.67
1:100	0.112	0.112	0.111	0.112	87.67

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดซีไอดี ของถ่านกะลามะพร้าว ผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว:ดิน	ร้อยละของการบำบัด
1:25	54.53
1:50	56.53
1:75	55.45
1:100	54.76
1:125	54.76

ตารางผนวกที่ 9 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณถ่าน								
กะลามะพร้าว (กรัม)	Co	C	V	q	1/q	1/C	log q	log C
1	2480	132	0.05	117.4	0.01	0.01	2.07	2.12
2	2480	130	0.05	58.7	0.02	0.01	1.77	2.11
3	2480	128	0.05	39.2	0.03	0.01	1.59	2.11
4	2480	125	0.05	29.4	0.03	0.01	1.47	2.10
5	2480	126	0.05	23.5	0.04	0.01	1.37	2.10

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับครั้งที่การทดลองน้ำไหลผ่านคอลัมน์ทุกชั่วโมง

ครั้งที่การ ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.143	0.143	0.142	0.143	77.80
2	0.140	0.140	0.140	0.140	76.70
3	0.222	0.221	0.22	0.221	68.30
4	0.259	0.26	0.261	0.26	63.73
5	0.259	0.26	0.261	0.26	63.73
6	0.285	0.287	0.286	0.286	62.07

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกชั่วโมง

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	66.80
2	64.50
3	64.50
4	61.16
5	59.10
6	56.40

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับครั้งที่การทดลองน้ำไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.178	0.178	0.178	0.178	87.24
2	0.174	0.175	0.175	0.175	85.12
3	0.187	0.187	0.187	0.187	80.83
4	0.197	0.197	0.197	0.197	76.43
5	0.201	0.202	0.202	0.202	68.12

หมายเหตุ: * แต่ละครั้งการทดลองใช้เวลา 1 สัปดาห์

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับครั้งที่ทดลองน้ำไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	64.85
2	63.80
3	63.80
4	60.67
5	60.67

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน
กับครั้งที่ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.125	0.125	0.125	0.125	93.65
2	0.142	0.152	0.152	0.152	88.89
3	0.200	0.210	0.200	0.200	84.12
4	0.250	0.250	0.250	0.250	80.95
5	0.270	0.270	0.270	0.270	77.78

ตารางผนวกที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน
กับครั้งที่ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	83.33
2	76.67
3	68.55
4	55.00
5	50.00

ตารางผนวกที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกลม

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.212	0.211	0.210	0.210	68.25
2	0.229	0.229	0.228	0.229	65.08
3	0.230	0.231	0.231	0.231	63.49
4	0.312	0.312	0.312	0.312	61.90
5	0.325	0.323	0.323	0.324	60.31

ตารางผนวกที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ดินอย่างเดียวกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกลม

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	68.55
2	66.67
3	63.28
4	50.00
5	47.67

ตารางผนวกที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.111	0.111	0.110	0.111	88.89
2	0.112	0.113	0.113	0.113	87.30
3	0.126	0.126	0.125	0.126	85.71
4	0.129	0.129	0.128	0.129	84.12
5	0.135	0.136	0.136	0.136	80.95

ตารางผนวกที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	66.67
2	65.45
3	60.89
4	58.23
5	55.49

ตารางผนวกที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่ทดลอง
น้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.210	0.210	0.210	0.210	84.12
2	0.231	0.232	0.233	0.232	80.95
3	0.253	0.254	0.253	0.253	77.78
4	0.259	0.259	0.259	0.259	76.19
5	0.273	0.272	0.274	0.273	73.01

ตารางผนวกที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีกับการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	65.45
2	60.89
3	58.23
4	55.49
5	50.00

ตารางผนวกที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.123	0.123	0.123	0.123	65.23
2	0.129	0.129	0.129	0.129	65.11
3	0.153	0.153	0.153	0.153	60.34
4	0.157	0.157	0.157	0.157	60.21
5	0.197	0.198	0.197	0.197	55.32
6	0.203	0.203	0.204	0.203	55.21

ตารางผนวกที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	50.67
2	50.43
3	45.56
4	45.44
5	40.56
6	40.45

ตารางผนวกที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.117	0.118	0.118	0.118	60.34
2	0.119	0.118	0.200	0.119	60.23
3	0.122	0.123	0.123	0.123	55.21
4	0.123	0.122	0.123	0.123	55.12
5	0.147	0.148	0.146	0.147	45.83
6	0.148	0.148	0.148	0.148	45.47

ตารางผนวกที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียวกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	55.34
2	55.23
3	50.78
4	50.45
5	45.91
6	45.56

ตารางผนวกที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.121	0.122	0.122	0.122	75.32
2	0.126	0.126	0.126	0.126	75.12
3	0.152	0.162	0.152	0.152	70.32
4	0.152	0.142	0.162	0.152	70.23
5	0.193	0.183	0.183	0.183	65.98
6	0.183	0.183	0.173	0.183	65.43

ตารางผนวกที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	50.32
2	50.09
3	45.89
4	45.32
5	40.56
6	40.12

ตารางผนวกที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.176	0.186	0.186	0.186	65.67
2	0.170	0.190	0.180	0.180	65.45
3	0.211	0.211	0.200	0.211	60.23
4	0.212	0.213	0.213	0.210	60.11
5	0.247	0.247	0.237	0.247	55.89
6	0.249	0.249	0.249	0.249	55.54

ตารางผนวกที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	55.23
2	55.07
3	50.67
4	50.45
5	45.45
6	45.33

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายชिरพล บุญด้วยลาน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กรกฎาคม 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรและสิ่งแวดล้อมศึกษา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-