



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด ด้วยระบบบ่อกำจัดน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าวเป็นวัสดุปลูก

Elastic Rubber Factory Wastewater Treatment by Grass Filtration System and Constructed
Constructed Wetland with Utilizing Coconut Shell Charcoal Adsorbent as Growing
Material

นามผู้วิจัย นายอนุพงศ์ คำลือ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กนิษฐา ตั้งคณานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม
โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าวเป็นวัสดุปลูก

Elastic Rubber Factory Wastewater Treatment by Grass Filtration System and Constructed
Wetland with Utilizing Coconut Shell Charcoal Adsorbent as Growing Material

โดย

นายอนุพงศ์ คำลือ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

อนุพงศ์ คำลือ 2557: การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด ด้วยระบบหมุนำกรอง
น้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ปรินญาวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์คณิตา ดังคนานุรักษ์, วท.ม. 78 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหมุนำกรองน้ำเสียและ
พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด โดยใช้ตัวดูดซับถ่าน
กะลามะพร้าวกำจัดสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดในน้ำเสีย จากผลการทดลองแบบแบตช์ พบว่าจาก
การใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 3,480 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิตร และถ่านกะลามะพร้าว 4 กรัม
ร้อยละการลดซีโอดีมากที่สุด เท่ากับ 79.16 และ 55.01 ตามลำดับ สำหรับระยะเวลากำจัด 4 ชั่วโมง
และเท่ากับ 77.67 และ 62.32 ตามลำดับ สำหรับระยะเวลา 4 วัน นอกจากนี้กลไกการดูดซับสอดคล้องกับ
ไอโซเทอร์มของทั้งแลงเมียร์และฟรุนดลิช และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านต่อดินที่เหมาะสมคือ 1:50
การศึกษการทดลองแบบการไหลต่อเนื่องเป็นการเลียนแบบชั้นกรองของระบบหมุนำกรองน้ำเสียและ
พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยชั้นบนสุดเป็นถ่านผสมดิน ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหมุนำ
กรองน้ำเสียมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ดังนั้นทำการทดลองด้วย
เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กเลียนแบบทั้งระบบหมุนำกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดย
ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ใช้บำบัด(กกกลมและหญ้าแฝก) และวัสดุเพาะปลูก(ถ่านผสมดิน
และใช้ดินเพียงอย่างเดียว) ผลการทดลองแสดงว่า ซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากทุกหน่วยทดลอง
มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (กำหนด 120 มิลลิกรัมต่อลิตร) ร้อย
ละการกำจัดของซีโอดีสูงสุดได้จากหน่วยทดลองของระบบหมุนำกรองน้ำเสียที่ปลูกกกกลมในถ่าน
ผสมดินคือ ร้อยละ 91.32 และ 76.68 ตามลำดับ

Anupong Kumlue 2014: Elastic Rubber Factory Wastewater Treatment by Grass Filtration System and Constructed Wetland with Utilizing Coconut Shell Charcoal Adsorbent as Growing Material. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 78 pages.

The purpose of this research was to investigate the improvement efficiency of a grass filtration system and constructed wetland for elastic rubber factory wastewater treatment by using coconut shell charcoal adsorbent to remove a variety of organic compounds. From batch experimental results, it was found that starting with an initial COD concentration of 3,840 mg/l 50 ml and 4 g coconut shell charcoal, the maximum color and COD reduction percentage were achieved at 79.16 and 55.01 respectively for 4 hr of removal time and 77.67 and 62.32 respectively for 4 days of removal time. Furthermore, adsorption mechanism was conformed to both Freundlich and Langmuir Isotherm and the suitable ratio by weight of charcoal to soil was 1:50. The continuous flow experiment was conducted to simulate the filtrate layers of a grass filtration system and constructed wetland system which the top layer was the mixed of charcoal and soil. The results revealed that the treatment efficiency of a grass filtration system had similar to constructed wetland. Therefore, the filtrated lysimeter technique was investigated by using both a grass filtration system and constructed wetland which comparative study which were treatment plants (*Cypernusalternifolius* and *Vetiveriazizanioides*) and growing materials (mixed of charcoal and soil and soil only). The results showed that COD of treated effluent from all experimental units were less than the standard effluent quality control of industry (120 mg/l). The maximum percent removal of color and COD achieved from the grass filtration system which growing *Cypernusalternifolius* in mixed of charcoal and soil were 91.32 and 76.68 % respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำสั่งสอนแก่ผู้วิจัยเพื่อนำความรู้ต่างๆ ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท คณะสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 35 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวคำลือ ที่คอยเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งได้เมตตา อบรม สั่งสอน และคอยให้ความรู้ตลอดจนสนับสนุนทุนการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อนุพงศ์ คำลือ
23 ธันวาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	42
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานทำยาง	8
2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานยางคืบประเภทต่าง ๆ ตามค่ามาตรฐาน CEA	9
3 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว	32
4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	43
5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียและระบบ พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	59
 ตารางผนวกที่	
1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม	66
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว	66
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	67
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีโอดีกับระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	67
5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีกับระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	67
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีกับระยะเวลาที่เหมาะสม (สัปดาห์)	68
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	68
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	68
9 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว	69
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกชั่วโมง	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกชั่วโมง	70
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์	70
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์	71
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	71
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	71
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	72
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	72
18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาการเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	73
19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	73
20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาการเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	74
21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	74
22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาการเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	75
23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอไซด์ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ระยะเวลาทุกชั่วโมง	76
25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอคิของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชกกกลม	76
26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	77
27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอคิของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	77
28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	78
29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอคิของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	กรรมวิธีการผลิตยางพารา
2	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ
3	กระบวนการบดผสมยาง
4	กระบวนการรีดยาง
5	ขั้นตอนการชุปน้ำแป้งและทำให้แห้ง
6	ขั้นตอนการตัดยาง
7	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น
8	การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ
9	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ
10	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว
11	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว
12	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว
13	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ
14	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน
15	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง
16	กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$
17	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรูนดิช
18	แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์
19	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว
20	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์
21	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท
22	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท
23	ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม
24	ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย
25	การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง
26	กราฟมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี และซีไอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม	44
28	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีกับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	45
29	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี และซีไอดีกับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)	45
30	ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (ก.) และไอโซเทอร์มฟรุนดิช (ข.)	46
31	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	47
32	การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง	48
33	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีกับระยะเวลา (ชั่วโมง)	49
34	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีไอดีกับระยะเวลา (สัปดาห์)	50
35	กระบวนบรรจุชั้นวัสดุเพาะปลูกตามแบบพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	50
36	กระบวนเพาะปลูกตามแบบพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบหญ้ากรองน้ำเสีย ดันกกกลม (ก.) และหญ้าแฝก (ข.)	51
37	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี (ก) และซีไอดี (ข) ระหว่างดินและดินผสมถ่านกะลามะพร้าวกับระยะเวลาของพืช (กกกลม)	52
38	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี (ก) และซีไอดี (ข) ระหว่างดินและดินผสมถ่านกะลามะพร้าวกับระยะเวลาของพืช (หญ้าแฝก)	53
39	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี (ก.) และซีไอดี (ข.) ระหว่างการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินและการใช้ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกกกกลม	55
40	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี (ก.) และซีไอดี (ข.) ระหว่างการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินและการใช้ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- | | | |
|----|--|----|
| 41 | เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีของระบบ ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ก.) และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ข.) ระหว่างชุดทดลอง และชุดควบคุม | 67 |
| 42 | เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีโอดีของระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ก.) และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ข.) ระหว่างชุดทดลอง และชุดควบคุม | 58 |

การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียและ พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าวเป็นวัสดุปลูก

Elastic Rubber Factory Wastewater Treatment by Grass Filtration System and Constructed Wetland with Utilizing Coconut Shell Charcoal Adsorbent as Growing Material

คำนำ

ปัจจุบันการปลูกยางพาราถือได้ว่าเป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยในอดีตยางพาราปลูกได้เฉพาะทางภาคใต้และได้ผลผลิตที่ดี ยางพาราเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิลและเปรู ซึ่งถือได้ว่าเป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศอื่นไม่ใช่พืชท้องถิ่นของประเทศไทย ผลผลิตของต้นยางพารามีส่วนของน้ำยางที่นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอุปกรณ์และวัสดุผสมต่างๆ เช่น ยางรถ รองเท้า ยางลบ เป็นต้น ซึ่งนับได้ว่ายางพารามีคุณประโยชน์อย่างมากและยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีผลผลิตอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งยางพาราที่มีมากนั้น ย่อมส่งผลหรือปัญหาทางสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน เนื่องจากการผลิตของน้ำยางจะมีการปล่อยน้ำเสียทั้งในกระบวนการทำก้อนยาง ยางพาราแผ่น มีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกระบวนการแข็งตัวของยางพารา ซึ่งของเหลือที่ได้ก็คือ กรดฟอร์มิกที่ปนมากับน้ำยางซึ่งจะมีปัญหาอย่างมากในการบำบัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก อีกทั้งโรงงานบางแห่งยังขาดความรู้ความเข้าใจทางด้านเทคโนโลยี และเงินทุนสำหรับการบำบัดน้ำเสียหรือระบบบำบัดนั้นยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ ปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากโรงงานยางพารา ได้แก่ น้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ดังนั้นเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการปลูกพืชที่ใช้ตัวดูดซับสารพิษและทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ อีกทั้งศึกษาค่าของสีและซีโอดีของน้ำเสีย โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อมุ่งพัฒนาระบบให้เหมาะสมต่อกิจกรรมในระบบบำบัดน้ำเสียจากยางพารา และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อที่ได้นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานที่ผลิตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าวในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืดเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกในระบบบำบัดแบบธรรมชาติช่วยธรรมชาติ
2. เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบหมุนเวียนน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืด



การตรวจเอกสาร

1. กรรมวิธีการผลิตยางพาราแผ่น

1.1 การรวบรวมหางน้ำยาง น้ำยางสกิมหรือหางน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นแยก จะถูกลำเลียงบนรางไถ่แอมโมเนีย เพื่อให้แอมโมเนียระเหยไป และลงสู่บ่อพักหางน้ำยางสกิม (เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) ในการจับตัวเพื่อผลิตยางแท่งสกิม เนื่องจากถ้าหากหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูงจะต้องใช้กรดในการจับตัวเป็นปริมาณมาก

1.2 การจับตัวหางน้ำยาง เมื่อหางน้ำยางผ่านรางไถ่แอมโมเนียแล้ว จะไหลลงสู่บ่อรับหางน้ำยางเพื่อพักหางน้ำยางแล้วจะถูกปล่อยลงสู่บ่อจับตัว ซึ่งมีจำนวน 3 บ่อ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการทำให้ยางสกิมจับตัวด้วยการเติมกรดซัลฟูริกลงในบ่อผสมน้ำยาง ในกรณีนี้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานต้องคอยสังเกตการณ์เปลี่ยนสีของน้ำยางจนกระทั่งน้ำยางเริ่มจับตัว ยางที่จับตัวแล้วจะทิ้งไว้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง

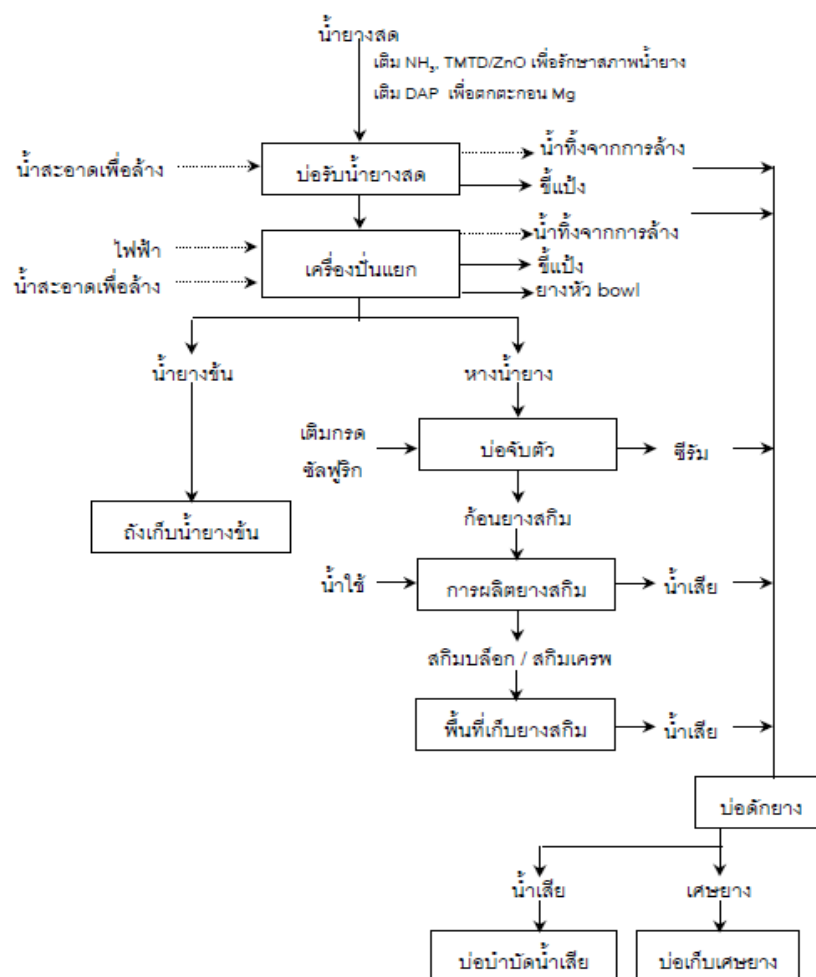
1.3 การรีดยาง ภายหลังจากที่หางน้ำยางหรือยางสกิมจับตัวเป็นก้อน ด้วยการเติมกรดซัลฟูริกแล้ว น้ำยางสกิมในสภาพที่เป็นก้อน ขึ้นมามีรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องจักรรีด หลังจากนั้นยางแผ่นจะถูกบดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วเข้าสู่ขั้นตอนการล้างยางสกิม

1.4 การล้างยางสกิม เมื่อยางสกิมแผ่นที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องจักรรีดแล้ว จะถูกลำเลียงเข้าเครื่องคัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วลงสู่บ่อล้างยางสกิมเพื่อล้างกรดซัลฟูริกและสิ่งสกปรกออกจากเนื้อยางที่ติดมากับเนื้อยาง โดยมีเจ้าหน้าที่คอยใช้ไม้กวาดยางสกิม ที่ย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วในบ่อล้าง

1.5 การอบยาง ยางสกิมฝอยที่ผ่านการล้างกรดซัลฟูริกเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงลงกระบะรองรับลำเลียงเข้าสู่ตูบ ความจุของเตาอบสามารถบรรจุได้ 14 ตะแกรง โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาทีต่อตะแกรง ภายในเตาอบประกอบด้วย 2 หัวฉีด (Burner) คือ หัวฉีดตัวที่ 1 ปรับอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส โดยอบเพื่อไล่น้ำออกไปก่อน หัวฉีดตัวที่ 2 ปรับ อุณหภูมิที่ 125 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 2-3 ชั่วโมง ภายในเตามีพัดลมขนาดใหญ่ เพื่อจะทำให้ความร้อนกระจายได้ทั่วทั้งเตา หลังจากนั้นผ่านเครื่องดูดความร้อน เพื่อทำให้เย็น สามารถที่จะเอาออกมาแล้วทำการอัดแท่ง

1.6 การอัดแท่งการบรรจุ หลังจากที่ย่างสกิมผ่านการอบด้วยอุณหภูมิที่กำหนดแล้ว เจ้าหน้าที่จะนำยางที่อบเสร็จซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งออกจากกระบะ เพื่อนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งเพ็คละ 33.33 กิโลกรัม เมื่อได้ยางที่มีน้ำหนักตามต้องการแล้ว เจ้าหน้าที่ก็จะนำยางที่ผ่านการชั่ง เข้าสู่เครื่องอัดเพื่ออัดเป็นแท่ง เพื่อให้ได้รูปทรงและขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ

1.7 การบรรจุ ยางแท่งที่ผ่านการอัดแท่งและชั่งน้ำหนักตามรูปทรงและขนาดแล้ว จะถูกบรรจุลงถังพลาสติก แล้วเก็บไว้ในพาเลทเพื่อการส่งออกให้ลูกค้าต่อไป ดังภาพที่ 1

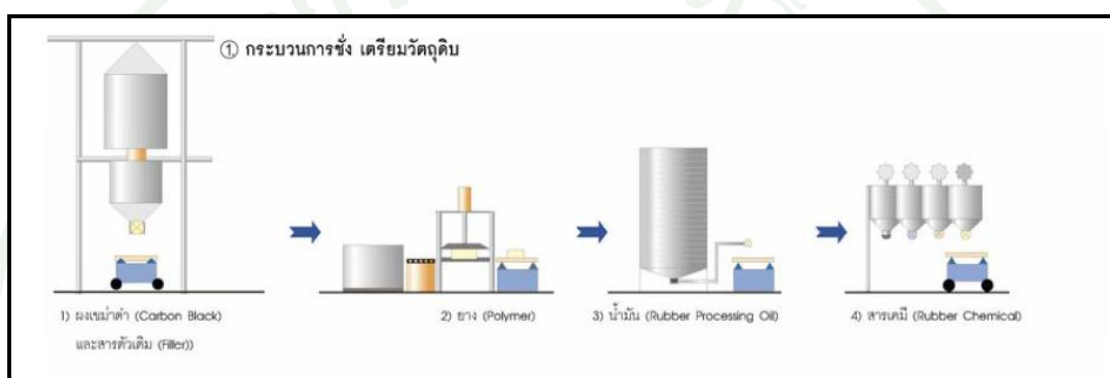


ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตยางพารา

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2. กระบวนการผลิตรีดบด ผสมยาง

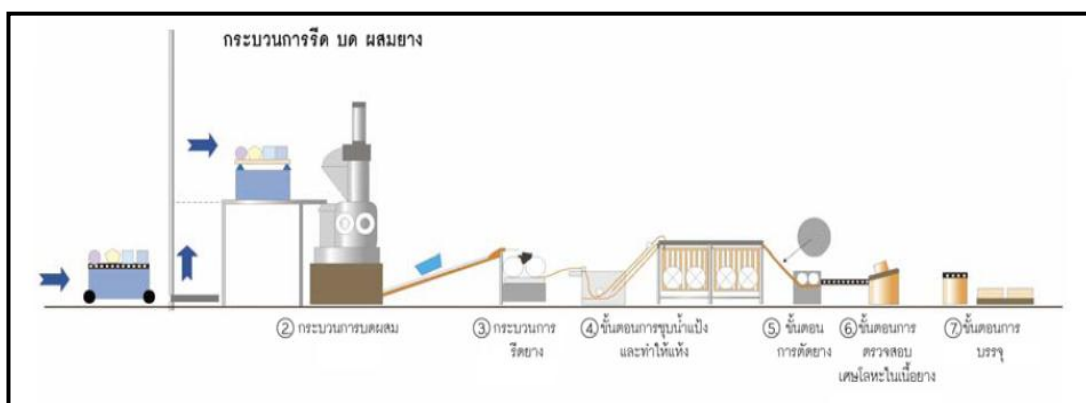
2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ รับวัตถุดิบทั้งยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์และวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ผงเขม่าดำ เก็บไว้ในสถานที่สำหรับเก็บวัตถุดิบ การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบต่างๆ ให้มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานนำวัตถุดิบมาชั่งให้ได้สัดส่วนของแต่ละสูตรในการผลิตยางสำหรับลูกกอล์ฟแต่ละราย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2.2 กระบวนการบดผสม (Mixing) นำวัตถุดิบที่ชั่งให้ได้สัดส่วนแล้วมาบดผสม (Mixing) ผงเขม่าดำ สารตัวเติม สารเคมี และน้ำมัน (Rubber Processing Oil) ให้เป็นเนื้อเดียวกันจุดประสงค์ของกระบวนการบดผสมยางคือ การทำให้ยางให้มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกส่วนมีการกระจายของสารเคมีในเนื้อยางอย่างทั่วถึง



ภาพที่ 3 กระบวนการบดผสมยาง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2.3 กระบวนการรีดยาง (Rolling หรือ Sheeting Roll) ยางที่ผ่านการบดผสมจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องรีดยาง (Calender) เพื่อทำการรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบ มีความหนา และความกว้างสม่ำเสมอ ในกระบวนการรีดยางจะมีความร้อนเกิดขึ้น บางโรงงานจะทำการลดความร้อนของยางก่อนที่จะส่งไปขั้นตอนการชุบน้ำแป้ง



ภาพที่ 4 กระบวนการรีดยาง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

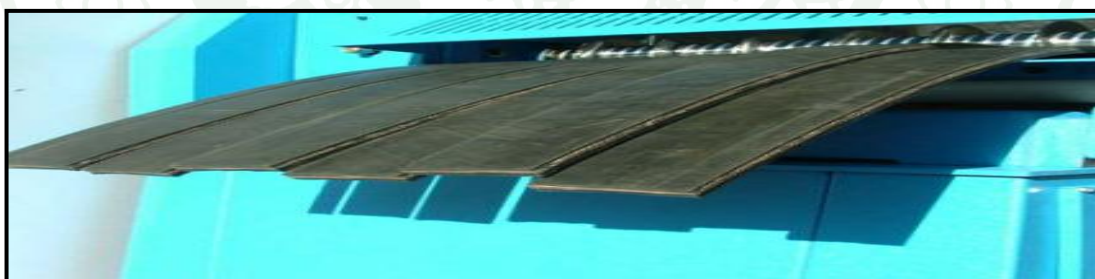
2.4 ขั้นตอนการชุบน้ำแป้ง และทำให้แห้ง ขางที่ถูกบดผสมและรีดออกมาเป็นแผ่นแล้วจะเรียกว่า ขางคอมพาวด์ ซึ่งเป็นขางที่พร้อมสำหรับนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปถูกนำไปชุบน้ำแป้งและทำให้แห้งโดยใช้ลมเป่า เพื่อให้ขางไม่ติดกันและสะดวกต่อการจัดเก็บต่อไป



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการชุบน้ำแป้งและทำให้แห้ง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2.5 ขั้นตอนการตัดขาง แผ่นขางจะถูกนำไปผ่านขั้นตอนการตัดขาง โดยเครื่องจักร Rotary Sheet Cutter ซึ่งขางจะถูกตัดตามขนาดที่ต้องการ



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการตัดขาง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

2.6 ขั้นตอนการตรวจสอบเศษโลหะในเนื้อขาง (Metal Detection) ขางที่ถูกตัดเป็นแผ่นถูกลำเลียงไปผ่านเครื่องตรวจสอบเศษโลหะในเนื้อขาง เพื่อการปนเปื้อนของเศษโลหะ

2.7 ขั้นตอนการบรรจุ (Packing) กรณีโรงงานผลิตยางคอมพาวด์มีการบรรจุยางคอมพาวด์และจัดเก็บเพื่อรอจัดส่งลูกค้าต่อไปโรงงานที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปจะนำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปขึ้นรูปต่อไปโดยไม่ต้องมีการบรรจุยางคอมพาวด์ก่อน

3. มลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางยืด

โรงงานอุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่ใช้น้ำในการล้างยางหรือเกือบทุกๆขั้นตอน ดังนั้นของเสียที่ปนเปื้อนมากับน้ำจึงมีปริมาณมาก โรงงานที่ได้มาตรฐานจึงต้องมีระบบบำบัดที่ดีคือ สามารถกำจัดของเสียที่ปนมากับน้ำได้มากที่สุด แหล่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของน้ำยางขึ้นและยางสกิมพบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆปนเปื้อนอยู่สูง น้ำเสียมีสภาพความเป็นกรดเนื่องจากกรดฟอร์มิคที่ใช้จับตัวเนื้อยาง เมื่อดูตัวแปรของค่า BOD, COD, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP และ Sulfate สรุปได้ว่า น้ำเสียจากโรงงานยางพารามีสารอินทรีย์ในโตรเจนและซัลเฟตอยู่สูง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีการปนเปื้อนลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปี 2539 กำหนดว่า BOD₅ ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร SS ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร TKN ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ COD ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดแล้วยังมีคุณภาพน้ำที่สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบน้ำเสียที่นิยมใช้จะเป็นแบบชีววิธีระบบเปิด ซึ่งประกอบด้วยระบบไร้อากาศ บ่อกึ่งมีอากาศ และบ่อปรับเสถียร ซึ่งมีแนวโน้มการปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดที่ใช้เทคโนโลยีสูงขึ้น เพื่อช่วยกำจัดกลิ่นจากน้ำเสีย เช่น ระบบ Activated Sludge และระบบ UASB ถึงแม้ความสามารถในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นได้สูงถึงร้อยละ 90 แต่น้ำเสียหลังการบำบัดแล้วยังมีสารอินทรีย์อยู่สูง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำเสียจากโรงงานทำยาง

Types	Percentage (%)
(1) Carbohydrates	2.3
(2) Proteins	1.0
(3) Free amino acids	0.018

ที่มา: พิเชษฐ (2543)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Types	Percentage (%)
(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

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานยางดิบประเภทต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน
*CEA

Parameter	RSS	Crepe	TSR	Latax concentrate	Dipped Products	Regulatory Standards
pH	4.9	5.0	5.7	3.7	7.2	6.5-8.5
Settable solid	50	45	155	100	200	-
Suspended solid	140	130	237	190	241	100
Total solid	3,745	3,500	1,915	7,576	2,457	1,500*/1,000
COD	3,300	3,500	2,740	6,201	2,011	400
BOD	2,630	2,500	1,747	3,192	1,336	50/60*
Ammonical Nitrogen	75	80	66	401	126	300*/40
Total Nitrogen	500	550	147	606	180	300*/60
Sulphates	-	-	-	1,610	72	1,000

หมายเหตุ * CEA (Central Environmental Authority of Sri Lanka) standards Centrifuged latex processing effluent. (All parameters are in mg/l except for pH)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

4. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดันทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิมและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะ ถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับขามะแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับและโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับ จะเกิด

กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีการย่อยสลายด้วยแสงหรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และ กณิตา, 2550)

4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

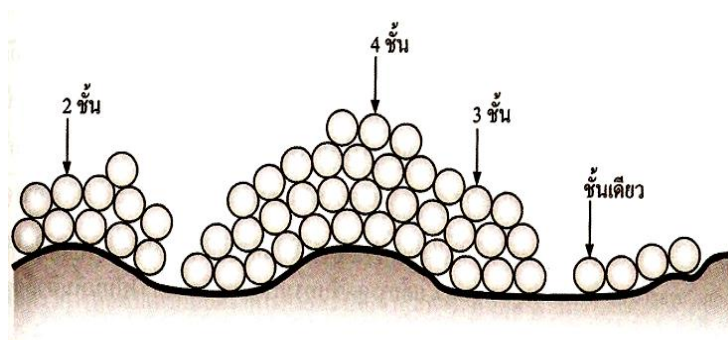
3.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

3.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

4.2 รูปแบบของการดูดซับ

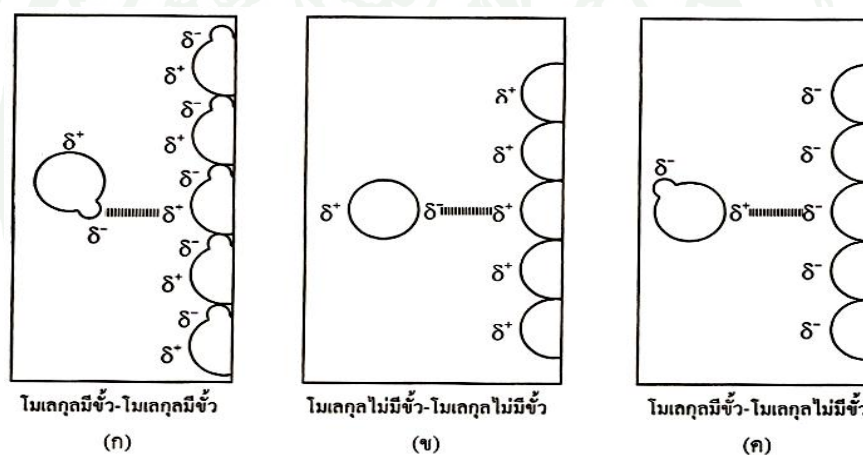
สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

4.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Physical Adsorption หรือ Van Der Waals Adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้า และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)



ภาพที่ 8 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ

หมายเหตุ ภาพ (ก) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็นโมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ข) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ค) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.2.2 การดูดซับทางเคมี จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโคเวเลนต์) ทำแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น และ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าวจะเป็นแบบชั้นเดียว และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20-100 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

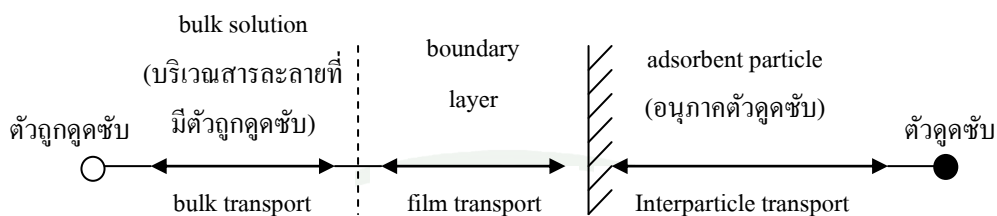
4.3 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

4.3.1 การขนส่งอนุภาค (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

4.3.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลผิวหน้าชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

4.3.3 การขนส่งภายในอนุภาค (Interparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ

4.4 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

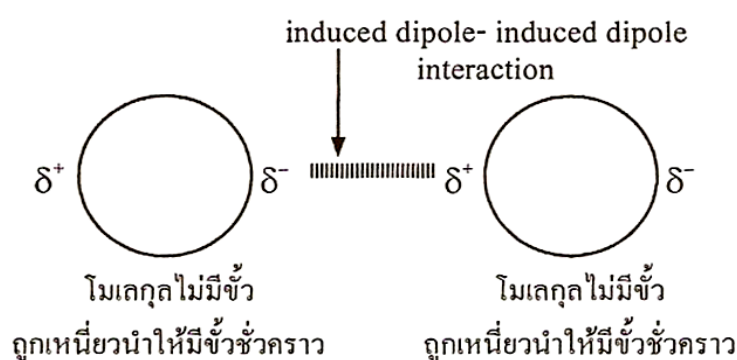
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี ในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

4.4.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โควาเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โควาเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอนหรือแรงแผ่กระจาย (Dispersion Force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้ว

ชั่วคราว (Induce Dipole) ขึ้น ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้ จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงมีขั้วขึ้นมา ถ้าโมเลกุลมีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Induced Dipole-Induced Dipole Attraction)

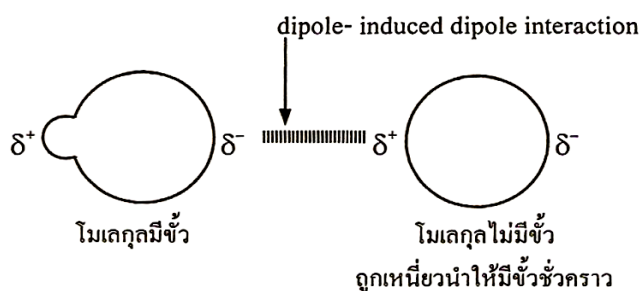
แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใด ด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใด ด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย



ภาพที่ 10 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

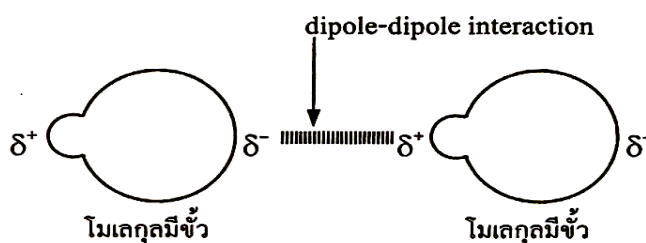
2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับ โมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 11 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน เรียกว่า แรงไดโพล-ไดโพล



ภาพที่ 12 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ได้แก่ ธาตุฟลูออรีน ออกซิเจน และไนโตรเจน ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวกจึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ Cl-Cl ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูลต่อโมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (Desorption) อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

4.4.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน โดยเกิดสมมูลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ จึงไม่เกิดการคาย

4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

4.5.1 ความดัน ปั่น อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันของระบบ ถ้าน้ำมีความดันต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในตรงกันข้าม ถ้าความดันสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

4.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะนั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

4.5.3 ขนาดและลักษณะของตัวดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอลิ (พอลิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4.5.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี

4.5.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็น ไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

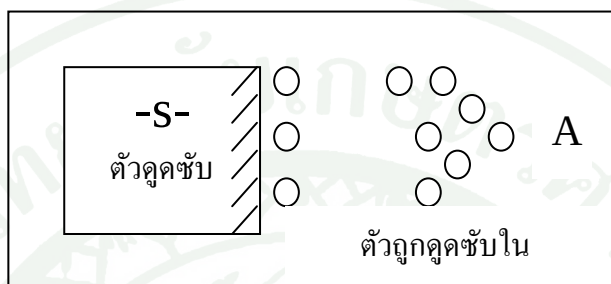
4.5.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้นแต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

4.5.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

4.6 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลตัว

ถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายสภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมา มีปริมาณคงที่ ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

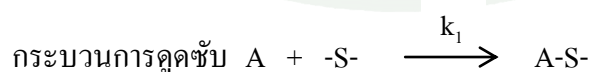
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมลต่อลิตรในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

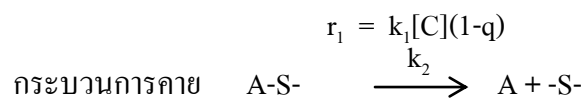
q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

$(1 - q)$ เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

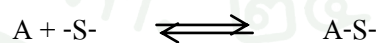
$$r_2 = k_2(q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

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

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

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



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

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

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

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม หรือ โมลต่อกรัม

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม กรัม หรือ กิโลกรัม

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์ เซนติเมตรหรือลิตร

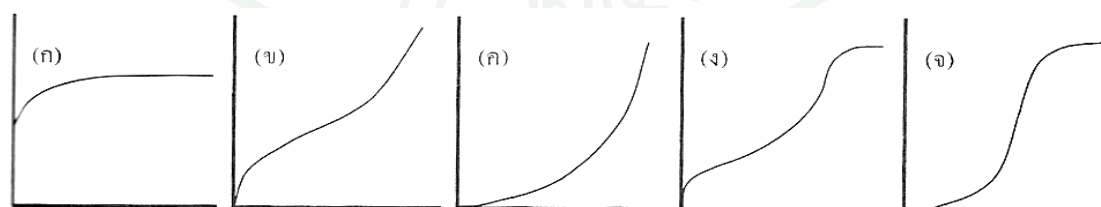
C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายหน่วยเป็นความเข้มข้นเป็นโมลาร์

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็นโมลาร์

4.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของ ไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

จากภาพที่ 14 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอรั่มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอรั่มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

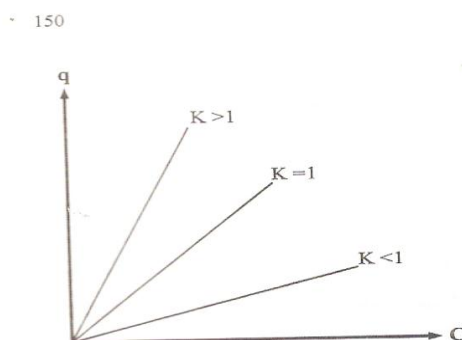
สมการไอโซเทอรั่มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะกล่าวถึง 4 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

4.7.1 สมการดูดซับแบบเส้นตรง จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C

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

$$q = KC$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

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

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

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

เมื่อจัดรูปสมการที่ (4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใช้ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

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

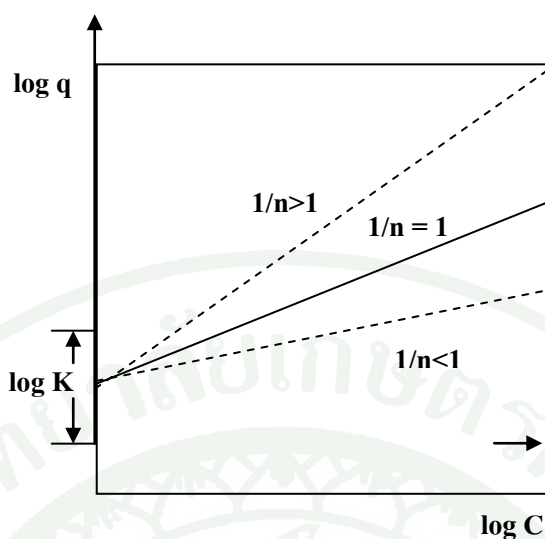
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

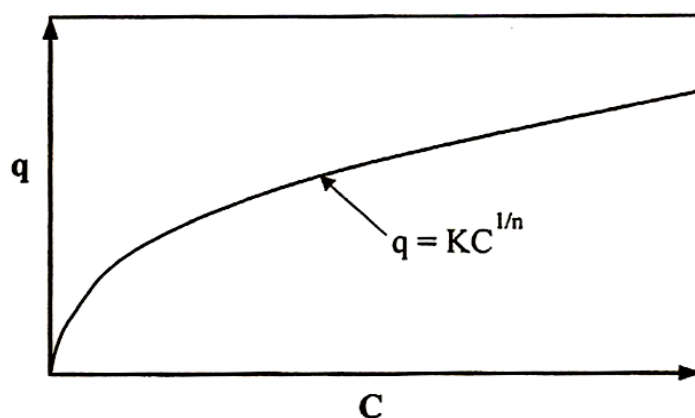
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

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

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

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

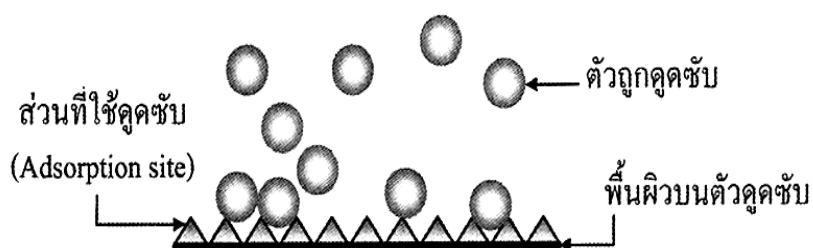
เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (5) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการช้อนทับกันได้



ภาพที่ 17 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

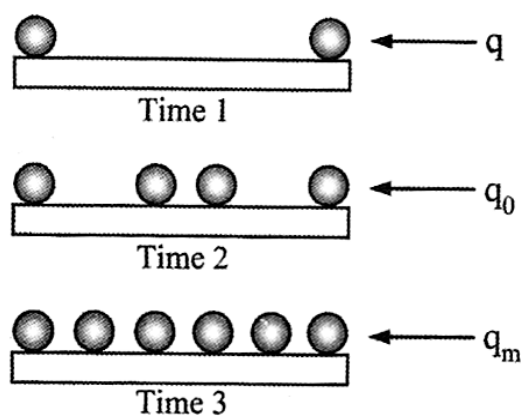
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.7.3 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ ไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)



ภาพที่ 19 การดูดซับของแก๊สเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

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

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

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

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

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)

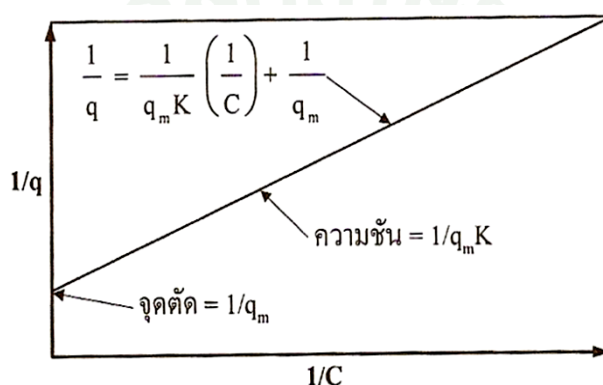
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$

และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

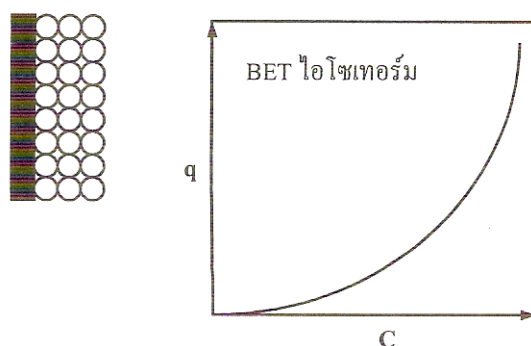
3.7.4 สมการดูดซับแบบเบท (Brunauer Emmett Teller หรือ BET adsorption isotherm) ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่านในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett และ Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

- 1) การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบหลายชั้น (Multi-layer Adsorption)
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
- 3) ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน
- 4) แต่ละชั้นของการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป

สมการการดูดซับแบบเบตส์ถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

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

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังนี้



ภาพที่ 21 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบต

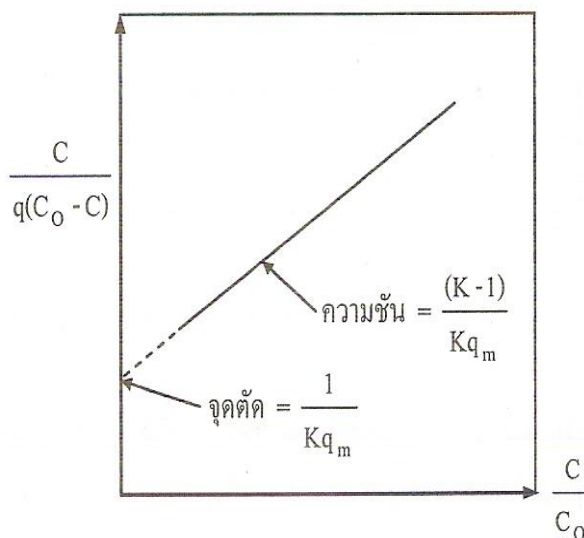
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (8) ใหม่จะได้สมการดังนี้

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

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q(C_0 - C)}$ กับ ค่า $\frac{C}{C_0}$ จะได้กราฟเส้นตรงมี

ความชันเท่ากับ $\frac{(K - 1)}{K q_m}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{K q_m}$



ภาพที่ 22 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

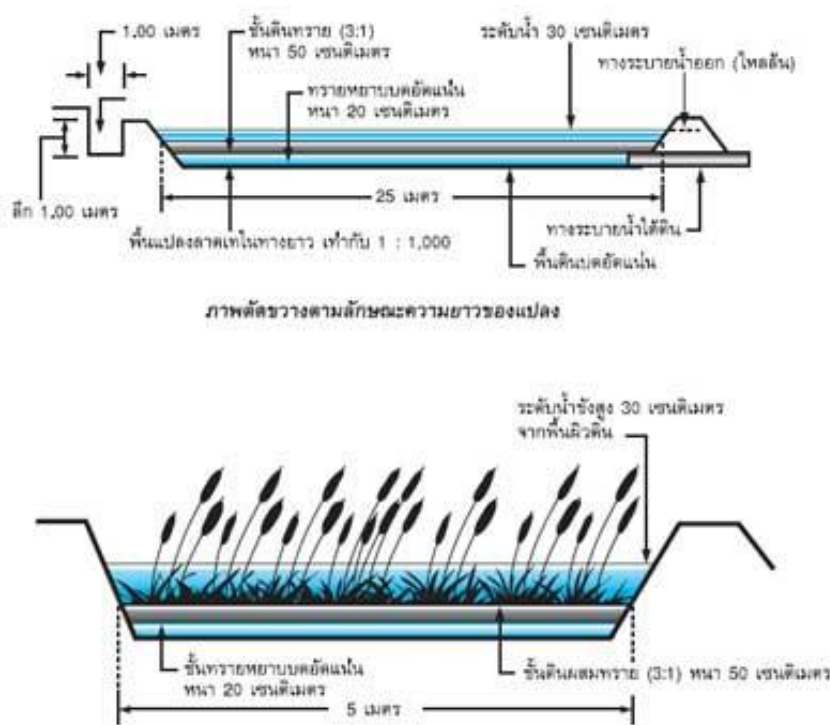
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

5. เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางธรรมชาติ

5.1 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

รูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (LERD) ที่ศึกษาวิจัยและพัฒนาขึ้นได้ยึดหลักการตามแนวพระราชดำริ โดยการทำแปลงและ/หรือทำบ่อเพื่อกักเก็บน้ำเสียที่รวบรวมได้จากชุมชน และปลูกพืชน้ำที่ผ่านการคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมที่สุด 2 ชนิด คือ กกกลม (กกจันทบูรณ) และธูปฤาษี ช่วยในการบำบัดน้ำเสียอาศัยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้นร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย อีกทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน และระยะเวลาการกักพักเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในการบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะการให้น้ำเสียหรือระบายน้ำเสีย 2 ระบบ คือ ระบบที่ให้น้ำเสียขังไว้ในระดับหนึ่ง และมีการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่อง (ระบบเปิด) น้ำเสียใหม่เข้าไปดินน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบให้ไหลล้นทางระบายน้ำ และ/หรือทางระบบท่อไถ่ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีระยะเวลาในการกักพักน้ำเสีย 1 วัน เมื่ออายุของพืชครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะตัดพืชนั้นออกเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพ

ในการบำบัดให้กับพืชได้ พืชที่ตัดออกเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์เป็นผลพลอยได้อีกอย่างอื่นต่อไปด้วย ซึ่งลักษณะรูปแบบโดยสังเขปของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมดังกล่าวที่ 23



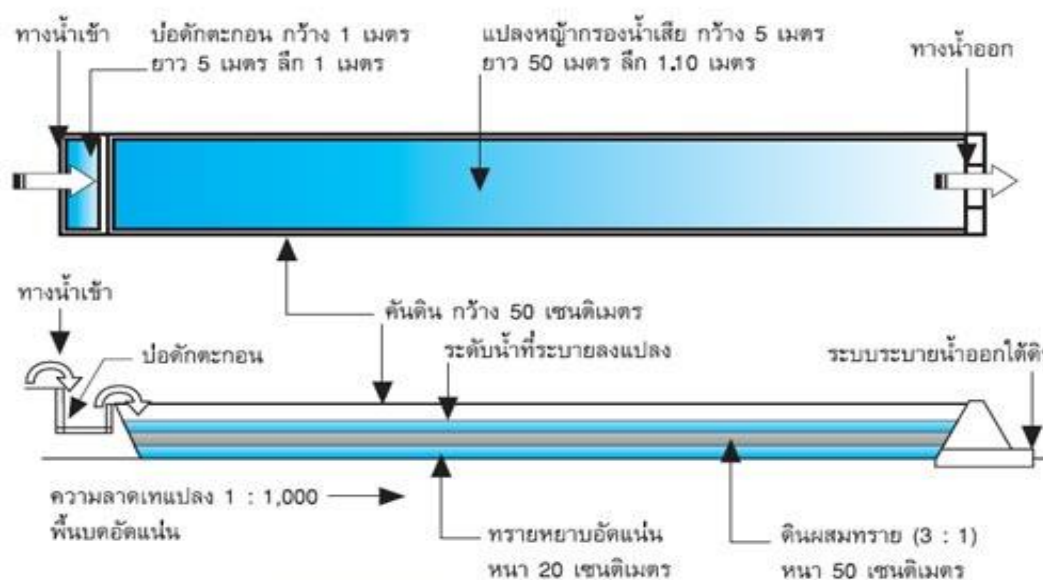
ภาพที่ 23 ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ที่มา: มูลนิธิชัยพัฒนา (2543)

5.2 การบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

รูปแบบเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาขึ้น ยึดหลักการตามแนวพระราชดำริโดยการทำแปลงและ/หรือบ่อเพื่อกักเก็บน้ำเสียที่ได้จากชุมชน และปลูกหญ้าอาหารสัตว์ที่ผ่านการคัดเลือกกว่าเหมาะสม 3 ชนิด คือ หญ้าสตาร์ หญ้าคาล่า และหญ้าโคสโครสช่วยในการบำบัดน้ำเสียอาศัยการกรองน้ำเสียขณะที่ไหลผ่านแปลง หญ้าและการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย และการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้การบำบัดน้ำ

เสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจะมีลักษณะการให้น้ำเสียหรือระบายน้ำเสียเข้า ถูระบบ คือระบบที่ให้น้ำเสียขังไว้ 5 วัน และปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินมีโอกาสได้พักตัว และระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบโดยปล่อยระบายน้ำทางระบบท่อใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่ออายุของหลุมกรบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะตัดหลุมนั้นออกเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ หลุมที่ตัดออกเหล่านี้สามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ซึ่งรูปแบบโดยสังเขปของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหลุมกรบน้ำเสีย และลักษณะพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (มูลนิธิพัฒนา, 2543) ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ลักษณะรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหลุมกรบน้ำเสีย

ที่มา: มูลนิธิพัฒนา (2543)

6. ถ่านกะลามะพร้าว

เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นแอดดิเวตเตคคาร์บอน กะลามะพร้าวเป็นวัสดุพื้นบ้านที่พบได้ทั่วไป เพราะในประเทศไทยใช้มะพร้าวในการประกอบอาหารเป็นประจำ และมีจำนวนมาก ประโยชน์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันที่ชาวบ้านนำมาใช้คือ นำมาเป็นเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่ทราบถึงคุณค่า โดยเฉพาะนำมาทำแอดดิเวตเตคคาร์บอน ดังนั้นการนำถ่านกะลามะพร้าวมา

ใช้เป็นตัวดูดซับร่วมกับวัสดุปลูกจึงมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแบบเทคโนโลยีอย่างง่าย เพราะมีราคาถูก และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำประโยชน์ (อวยพร, 2531)

6.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว

ถ่านกะลามะพร้าว เป็นถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีลักษณะเป็นเกล็ด เกรด PHO 8×30 (ผ่านการทดสอบมาตรฐานตาม (American Society for Testing and Material, ASTM) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทางกายภาพ ถ่านกะลามะพร้าวถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดกลิ่น (Deodorization) การดูดสี (Decolourization) การลดสารคลอรีน (Dechlorination) และสารกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น

ตารางที่ 3 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
พื้นที่ผิว (จากการคำนวณ)	น้อยกว่า 1,100 ตารางเมตร/กรัม
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)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำทิ้งจากระบบการผลิตยางพารา

พัชรภรณ์ (2546) ศึกษาผลของอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาพักเก็บ ความเข้มข้นของฟอสเฟตและแคลเซียมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางเข้มข้นด้วยระบบตะกอน เร่ง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า F/M ratio 0.4 วัน⁻¹ ให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅, COD สูงสุด และเมื่อ HRT เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅, COD สูงขึ้น HRT ที่เหมาะสมในระบบ ตะกอนเร่งแบบที่ละเท ที่ F/M ratio 0.4 วัน⁻¹ เท่ากับ 12 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅, COD เท่ากับ 98.6 และ 89.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งแนวโน้มของประสิทธิภาพการ กำจัด BOD₅, COD ลดลง เมื่อความเข้มข้นของซัลเฟตและแคลเซียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากซัลเฟต เปลี่ยนแปลงความดันออสโมติกภายในเซลล์ สำหรับแคลเซียมอาจทำให้เกิดตะกอนของ คาร์บอเนตและฟอสเฟต ซึ่งมีผลทำให้เกิด Ca-layer ซึ่งเป็นตัวกีดขวางการถ่ายเทมวลสารอินทรีย์ ผ่านเซลล์จุลินทรีย์ สำหรับตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องซึ่งดำเนินการที่ F/M ratio 0.4 วัน⁻¹ เช่นเดียวกับ ระบบตะกอนเร่งแบบที่ละเท HRT ที่เหมาะสมคือ 2 วัน ระบบดำเนินการที่สถานะคงตัวเป็นเวลา 2 เดือน ประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅, COD เท่ากับ 93.2 และ 92.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปรีชญา (2551) ศึกษาไอโซโทมการดูดซับของสารอินทรีย์ระเหย 4 ชนิด คือ toluene ethylbenzene p-xylene และ o-xylene พบว่า สามารถอธิบายพฤติกรรมการดูดซับได้ดีด้วย สมมุติฐานตามสมการการดูดซับฟรอนดิชแสดงให้เห็นถึงการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยบนถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารากับตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์เกรดการค้าด้วยวิธีการทางสถิติ t-test พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยางพาราดันทุนต่ำสามารถใช้ดูดซับสารอินทรีย์ระเหยในการศึกษามลพิษทางอากาศได้

จรินทร์ (2542) ทำการศึกษาการแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจาก บ่อบำบัดน้ำเสียโรงงาน แปรูปน้ำยางข้น เทียบเคียงสายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือก มีค่าบีโอดี, ซีโอดี, ไนโตรเจนทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 502, 1,990, 298, 1,382 และ 93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พีเอชเท่ากับ 7.45 พบว่า ทุกสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหาร น้ำเสีย โดยลดค่าซีโอดีในช่วงร้อยละ 20.0-34.1 สายพันธุ์ SS51 และ SY40 ตามลำดับ ลดค่าซีโอดี เท่ากับร้อยละ 34.1 และ 33.9 ตามลำดับ สายพันธุ์ SS51 ให้ปริมาณเซลล์ สูงสุดและอัตราการเจริญ

จำเพาะเท่ากับ 1.659 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร และ 0.046 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ SY40 ให้ปริมาณเซลล์สูงสุด และอัตราการเจริญจำเพาะเท่ากับ 1.400 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร และ 0.044 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

Kadirvelu *et.al.* (2003) ศึกษาถึงถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้แก่ เปลือกของไหมหรือฝ้าย ขี้เลื่อยกะลามะพร้าว ของเสียจากสาquin ขังข้าวโพด และต้นกล้วย เพื่อใช้กำจัดโลหะหนัก และสีย้อมจากสารละลาย การดูดซับทั้งสีย้อมและไอออนของโลหะหนักใช้เวลาสั้นๆ โดยทำการทดลองเชิงปริมาณ ผลการวิจัยพบว่า ถ่านกัมมันต์จากการศึกษาสามารถกำจัดมลพิษของน้ำได้

Santhy *et.al.* (2006) ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากใยเปลือกมะพร้าว พบว่า ในการทดลองแบบแบตช์ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลและปริมาณตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลอง พบว่าการดูดซับสอดคล้องกับสมการการดูดซับที่ผิวหน้าของแลงเมียร์ ในการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลที่น้อยลงและใช้ปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น และการฟื้นฟูถ่านที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ถ่านจากใยเปลือกมะพร้าวสามารถสีและซีโอดีในน้ำเสียได้

Senthikumaar *et.al.* (2006) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าว (Coconut Tree Flower) และเส้นใยปอกระเจา (Jute Fiber) เพื่อใช้ดูดซับสี Reactive Red 120 และนำไปดูดซับสีที่ความเข้มข้น 20, 30 และ 40 mg/l และเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 536 nm พบว่า เปอร์เซนต์ในการดูดซับสี Reactive Red 120 จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซนต์ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเส้นใยปอกระเจาสูงกว่าถ่านกัมมันต์จากดอกมะพร้าวคือ 200 mg/l และ 181.9 mg/l ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 1.2 เครื่องย่อยสลาย (Digestion Block) พร้อมหลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels)
- 1.3 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย DO-Meter, pH-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 2 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียด 0.0 กรัม
- 1.5 วัสดุความชื้น
- 1.6 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 1.7 ชุดคอลัมน์แก้วพร้อมแคมป์และขาตั้ง
- 1.8 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ Whatman
- 1.9 กระบะปลูก

2. สารเคมี

- 2.1 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$) Grade AR
- 2.2 เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate (FAS); $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) Grade AR
- 2.3 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid; H_2SO_4) Grade AR
- 2.4 สารละลายอินดิเคเตอร์เฟอโรอิน (Ferroin) Grade AR
- 2.5 เมอร์คิวริกซัลเฟต (Mercuric sulfate; $HgSO_4$) Grade AR
- 2.6 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) Grade AR
- 2.7 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline monohydrate; $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) Grade AR
- 2.8 ไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) Grade AR

3. วัสดุปลูก

ได้แก่ ดินนาผสมทราย,กรวด, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด

4. พืชที่ใช้ปลูก

ได้แก่ ต้นกกกลม และหญ้าแฝก

5. น้ำเสีย

ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานผลิตเส้นด้ายและยางยืด โดยเป็นน้ำเสียในบ่อดกตะกอนเริ่มต้น (Primary Clarifier) เก็บตัวอย่างน้ำในถัง 20 ลิตร จำนวน 4 ถังต่อการทดลอง 1 ซ้ำ เก็บทั้งหมด 3 ครั้ง โดยเก็บรักษาในตู้ทำความเย็นของห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อม

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 N

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

1.2 กรดซัลฟิวริกเกรด

ซังซิลเวอร์ซัลเฟต 10.11 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร กวนช้าๆ จนซิลเวอร์ซัลเฟต ละลายหมด

1.3 สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต 1.485 กรัม และไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N

ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 39.2 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องเปรียบเทียบกับมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่น่าไปใช้

2. การเตรียมตัวดูดซับ

นำถ่านกะลามะพร้าว อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นทิ้งแล้วปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น เพื่อไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานสารสีแพลตทินัม-โคบอลต์

3.1 ปิเปิดสารละลายสีแพลตทินัม-โคบอลต์ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 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 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ความเข้มข้น 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0, 90.0 และ 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.2 นำสารละลายมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ จากข้อ 3.1 มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสง (แกนตั้ง) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ (แกนนอน)

4. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายและยางยืด

นำน้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนการตกตะกอนมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ดังต่อไปนี้ พีเอช, สี, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ, การนำไฟฟ้า, ความขุ่น, ความเค็ม, บีโอดีและซีโอดี เป็นต้น ส่วนพารามิเตอร์ที่มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด คือ สีและซีโอดี

4.1 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางยืด เจือจางน้ำเสีย 3 เท่าด้วยน้ำกลั่น วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงไปเทียบหาความเข้มข้นของสีจากกราฟมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3

4.2 การวิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมยางยืด เจือจางน้ำเสีย 10 เท่าด้วยน้ำกลั่น นำน้ำเสียที่เจือจางแล้ว 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1.5 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟิวริกเอเจนต์ 3.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อยสาร เขย่าและปิดฝาให้แน่น นำเข้าเครื่องย่อยสลาย 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทใส่ขวดรูปชมพู่ และกลั่นหลอดด้วยน้ำกลั่น เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนถึงจุดยุติจะเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง กำหนดค่าซีโอดี

5. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายและยางยืด และไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยการทดลองแบบแบตช์

5.1 ศึกษาปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ชั่งถ่านกะลามะพร้าวปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เติมน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 60 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ตามวิธีการข้อ 4.1 และวิเคราะห์หาปริมาณซีโอดี ตามวิธีการข้อ 4.2 และคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีโอดี

5.2 ศึกษาระยะเวลาบำบัดที่เหมาะสม

ใช้ถ่านกะลามะพร้าว โดยใช้น้ำเสีย 50 มิลลิลิตรต่อปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่ศึกษาได้ในข้อ 5.1 ทุกการทดลองแปรผันระยะเวลาสัมผัสเป็นชั่วโมง (1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง) และเป็นวัน (1, 2, 3, 4 และ 5 วัน) ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 5.1

5.3 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

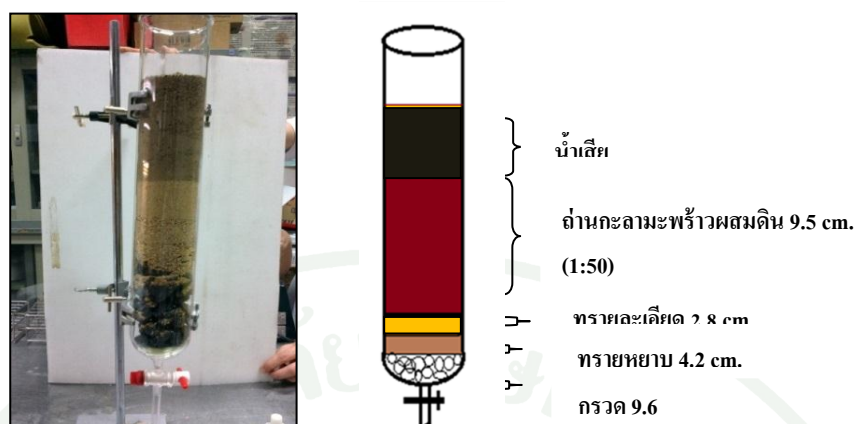
ทำการทดลองเหมือนข้อ 5.1 แต่ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาข้อ 5.2 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ เขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์ม และสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

5.4 ศึกษาอัตราส่วนถ่านกะลามะพร้าวผสมดินที่เหมาะสม

เพื่อหาอัตราส่วนถ่านกะลามะพร้าวผสมดินที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมยางยืด โดยใช้น้ำเสีย 50 มิลลิลิตร แปรผันอัตราส่วนถ่านกะลามะพร้าวผสมดินเป็น (1:25, 1:50, 1:75, และ 1:100) ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 5.1

6. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดดี และซีโอทีในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายและยางยืด โดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง

ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทราบายาบ 4.2 เซนติเมตร ทราบละเอียด 2.8 เซนติเมตร และถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วน 1:25, 1:50, 1:75, และ 1:100 ที่ได้จากการศึกษาข้อที่ 5.4



ภาพที่ 25 การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง

6.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 1,500 มิลลิลิตร อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ทุกๆ ชั่วโมง นำมาหาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีโอดีจนประสิทธิภาพลดลงและมีค่าคงที่

6.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนำกรองน้ำเสีย

ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ปล่อยทิ้งทิ้งไว้ 5 วัน เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ในวันที่ 5 และปล่อยแห้ง 2 วัน นำน้ำมาหาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีโอดีทำการทดลองจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและมีค่าคงที่

7. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดีในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมยางยืด โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

ทำการทดลอง โดยใช้กระเบปพลาสติกกรุปสี่เหลี่ยมขนาด 51×51×54 เซนติเมตร บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทรายหยาบ 3 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2 เซนติเมตร และถ่านกะลามะพร้าวผสมดินที่ได้จากการศึกษาข้อที่ 5.4 ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ ต้นกกกลมและหญ้าแฝก

7.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 150 ลิตร อย่างต่อเนื่อง เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจาก กระบะทุกๆ ครึ่งชั่วโมง นำมาหาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีไอดี ทำการทดลองจน ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและมีสภาวะคงที่

7.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนน้ำเสีย

ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 20 ลิตร ปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน เก็บน้ำที่ไหลผ่านออก จากกระบะในวันที่ 5 และปล่อยแห้ง 2 วัน นำน้ำมาหาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และซีไอดี ทำ การทดลองจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและมีสภาวะคงที่

7.3 ชุดควบคุม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 7.1 และ 7.2 แต่เปลี่ยนจากการใช้น้ำเสีย เป็นน้ำกลั่น แทนในการทดลองเพื่อใช้เป็นชุดควบคุมผลการทดลอง ของเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาด เล็ก

8. สถานที่ทำการทดลอง

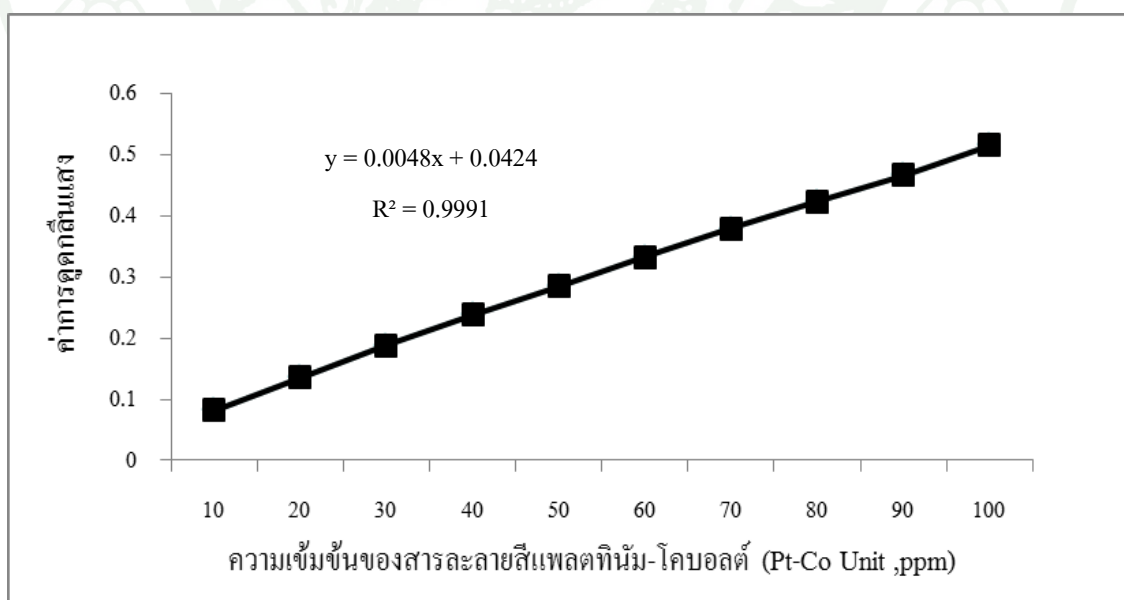
ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผลและวิจารณ์

การบำบัดน้ำเสียจากบ่อดักตะกอนเริ่มต้นของโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายยางยืด ด้วยการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว ร่วมกับเทคนิคการกรองในหน่วยทดลองขนาดเล็ก โดยทำการทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาปริมาณของตัวดูดซับถ่านกะลามะพร้าว ระยะเวลาบำบัด และวิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมทั้งนำสภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ไปใช้ในการทดลองการบำบัดสี และสีโอดีแบบการไหลต่อเนื่อง โดยใช้คอลัมน์และเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กที่จำลองระบบบำบัดน้ำเสีย และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมต่อไป โดยนำถ่านกะลามะพร้าวมาผสมกับดินเป็นวัสดุปลูก และปลูกพืช คือ ต้นกกกลมและหญ้าแฝก ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

1. ผลการเตรียมกราฟมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์

กราฟมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์ที่เตรียมจากการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความคลื่น 320 nm กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.0048x + 0.0424$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9991 ทดลองข้อที่ 3 ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 กราฟมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์

2. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายยางยืด

ในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียมีสภาพเป็นเบส มีของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและ

สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและบีโอดีที่สูง เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และมีสีที่นํ้ารังเกียจ ดังนั้นผู้วิจัยจะมุ่งเน้นที่การกำจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำเสีย

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากการผลิตเส้นด้ายยางยืด	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
พีเอช	8.3	5.5 – 9.0
สี (Pt-Co Unit)	58	5 - 15
EC ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)	1,490	-
TDS (mg/L)	9,520	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (ppt.)	7.2	-
ความขุ่น(NTU)	67	100
ซีโอดี (mg/L)	3,480	ไม่เกิน 120
บีโอดี (mc/L)	1,740	ไม่เกิน 20
อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	28	ไม่เกิน 40

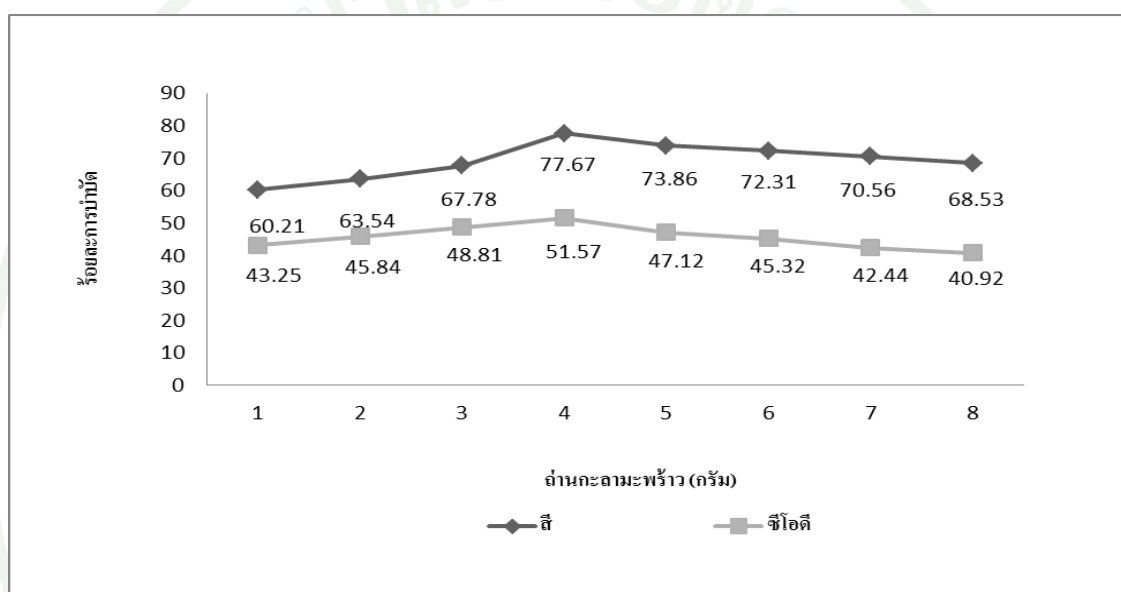
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2548)

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายยางยืดและไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยการทดลองแบบเบตซ์

3.1 ผลการทดลองแบบเบตซ์

3.1.1 ศึกษาปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ผลการทดลองปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสมกับการการบำบัดสีและซีโอดี จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกะลามะพร้าวจาก 1 กรัมจนถึง 8 กรัม ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีเพิ่มขึ้น และเริ่มมีแนวโน้มคงที่จนลดต่ำลง เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกะลามะพร้าว อธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณถ่านกะลามะพร้าว ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับมลสารต่างๆ ได้มากขึ้นจนถึงระยะคงที่ ซึ่งถ่านกะลามะพร้าวที่ 4 กรัม สามารถบำบัดค่าสี และซีโอดีได้สูงที่สุด ร้อยละ 77.67 และ 51.57 ตามลำดับ ดังภาพที่ 27

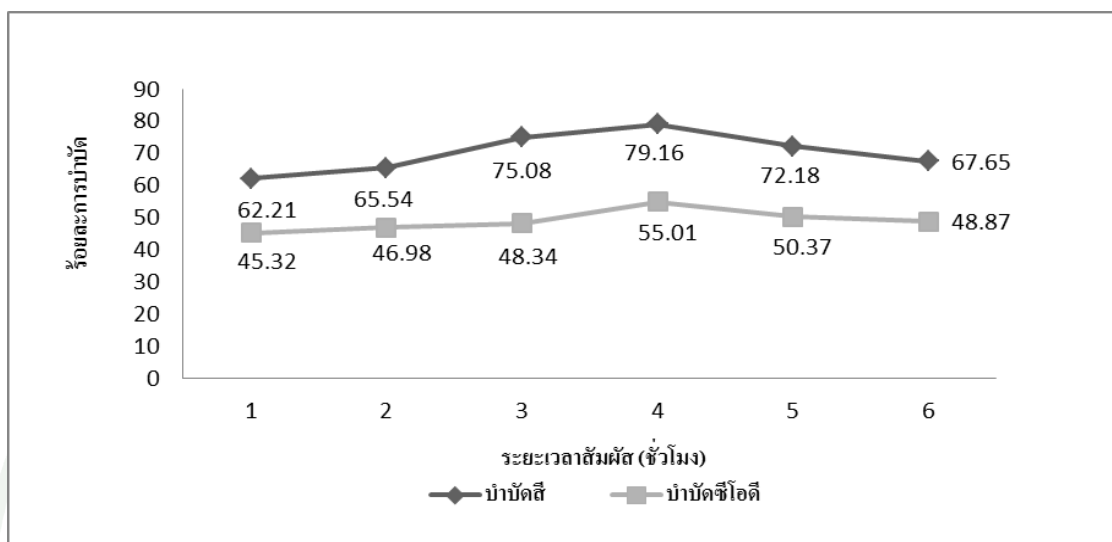


ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี และซีโอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

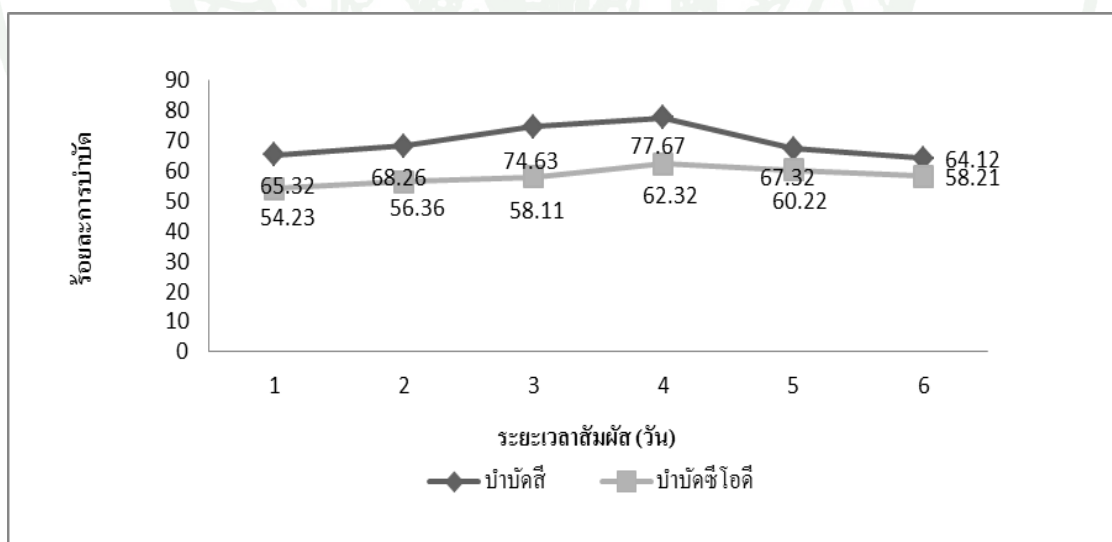
3.2 ศึกษาระยะเวลาบำบัดที่เหมาะสม

ผลการทดลองระยะเวลาบำบัดที่เหมาะสมกับการบำบัดสีและซีโอดี จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลา จาก 1 ชั่วโมง จนถึง 5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มมีแนวโน้มคงที่จนลดต่ำลง เมื่อเพิ่มระยะเวลา อธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาทำให้มลสารมีโอกาสสัมผัส หรือถูกดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวมากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับหรือถ่านกะลามะพร้าวมีปริมาณจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับหรือมลสารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้อัตราการดูดซับคงที่ และอาจมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดการคายซับ (Desorption) (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ 4 ชั่วโมง ดังนั้นร้อยละการบำบัดที่ดีที่สุดในการบำบัดสีและซีโอดีคือ 79.16 และ 55.01 ส่วนระยะเวลา

การสัมผัสเป็นวันตั้งแต่ 1 วัน จนถึง 6 วัน ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือระยะเวลา 4 วัน ดังนั้นร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีที่ดีที่สุดคือ 77.67 และ 62.32 ซึ่งดูได้จากภาพที่ 28



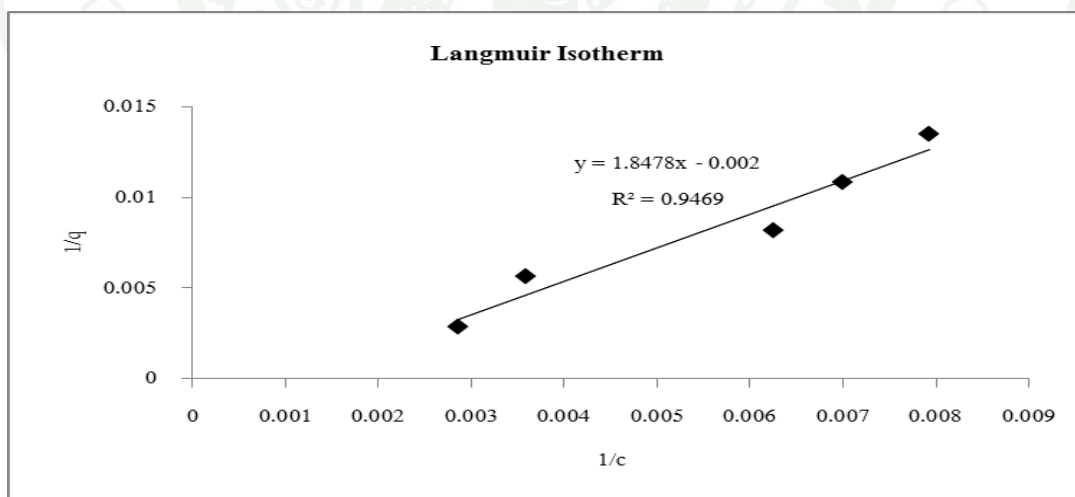
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีและซีโอดีกับระยะเวลาบำบัด (ชั่วโมง)



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี และซีโอดีกับระยะเวลาบำบัด (วัน)

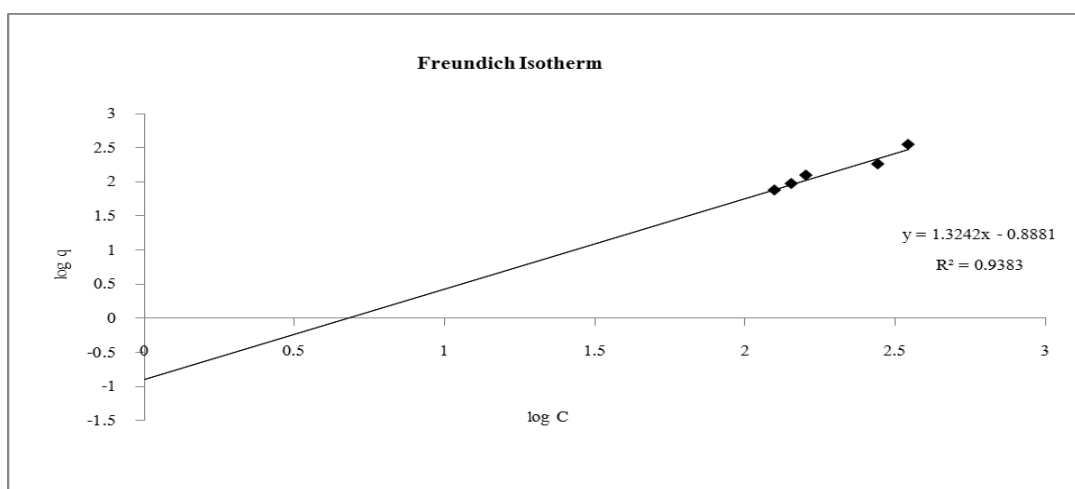
3.3 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

นำผลการทดลองจากการศึกษาการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว โดยแปรผันปริมาณ ถ่านกะลามะพร้าวต่อน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร และระยะสัมผัสเท่ากับ 4 ชั่วโมง มาเขียนกราฟไอโซ-เทอร์มของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดมีค่าเท่ากับ 0.9469 และ 0.9383 ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่ากลไกการดูดซับสอดคล้องกับทั้งสมการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช กลไกการดูดซับของแลงเมียร์ คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด โดยมีกลไกของการดูดซับที่เหมือนกัน ซึ่งการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้ว จะไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (Johnson, 1989) ส่วนกลไกการดูดซับของ ฟรุนดลิช คือ การดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Buckley, 1992) และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวหลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเกิดการซ้อนทับกันได้ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)



(ก.)

ภาพที่ 30 ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ภาพ(ก)ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และภาพ(ข) ไอโซเทอร์มฟรุนดลิช

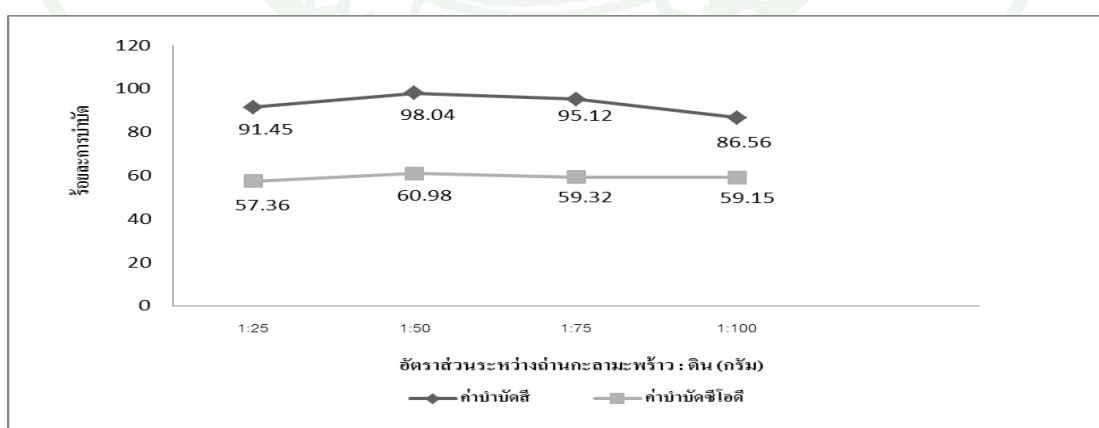


(ข.)

ภาพที่ 30 (ต่อ)

3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดีของดิน

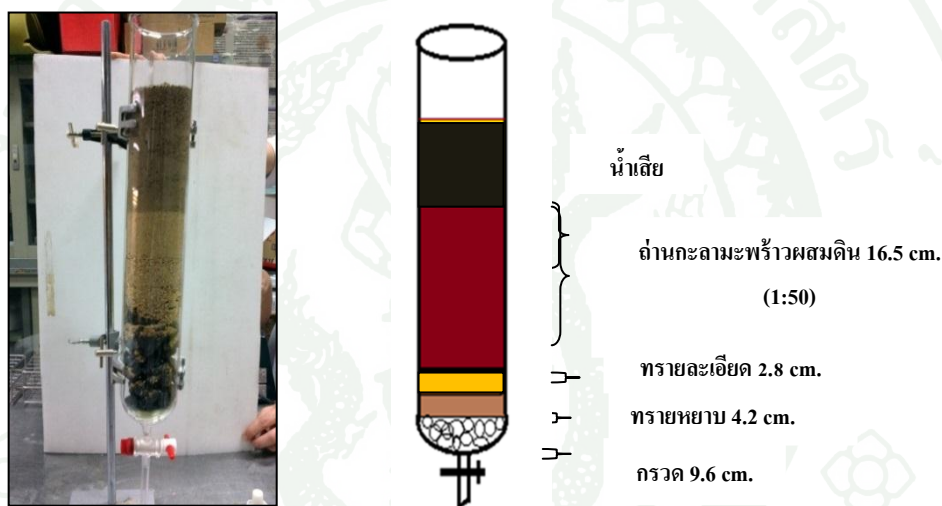
การทดลองประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดี โดยพบว่าอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวกับดินที่ทำการศึกษาคือ 1:25, 1:50, 1:75 และ 1:100 โดยผลดังแสดงในภาพที่ 26 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่บำบัดได้ดีที่สุด คือ ถ่านกะลามะพร้าวต่อดิน 1: 50 สามารถบำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 98.04 และ 60.98 ตามลำดับ



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี และซีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

4. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของชั้นวัสดุปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและหลุมกรองน้ำเสียโดยการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

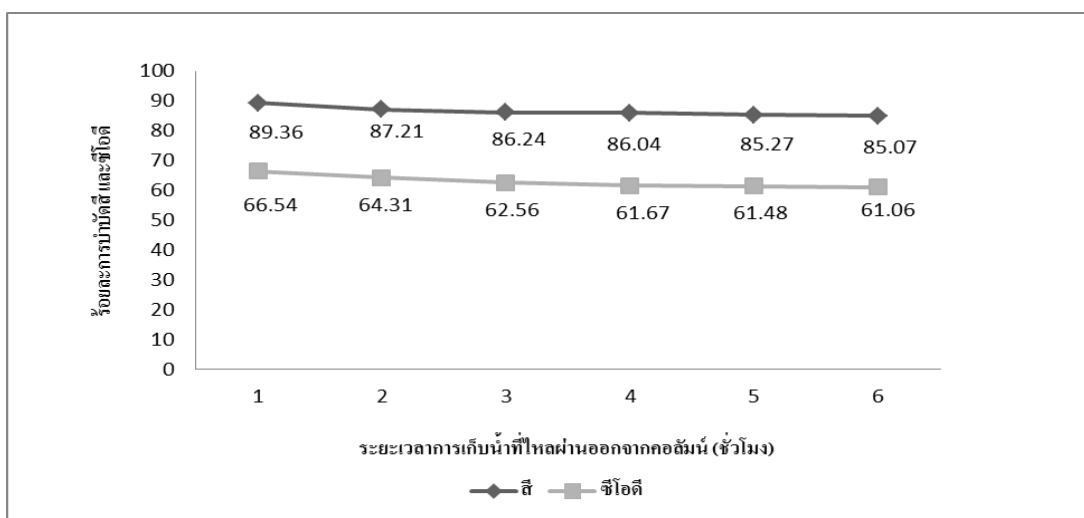
4.1 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร บรรจุชั้นวัสดุปลูกเลียนแบบพื้นที่เพาะปลูกของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย โดยบรรจุชั้นกรวด 9.6 เซนติเมตร ทรายหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2.8 เซนติเมตรและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้จากข้อ 5.5 สูง 16.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง

4.1.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

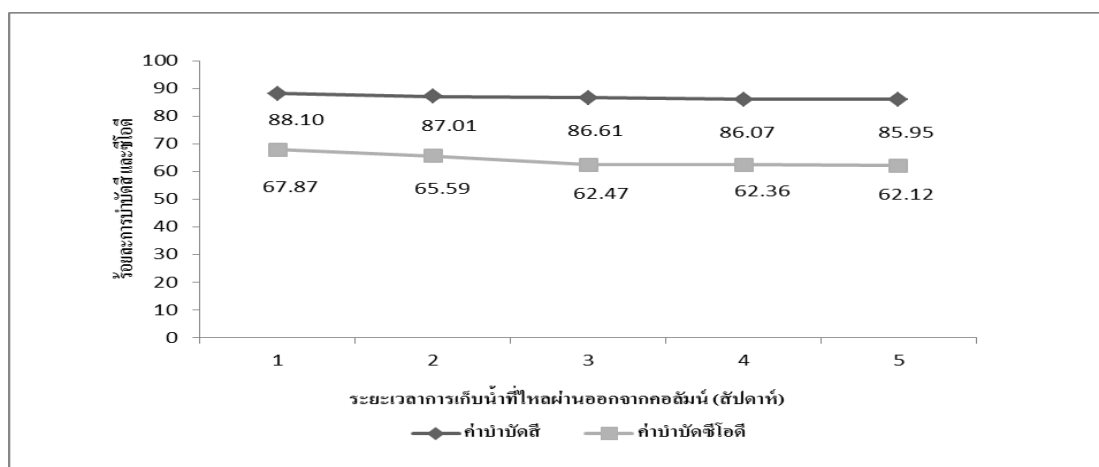
ผลการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง โดยการจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดในช่วงโม่งแรก สามารถบำบัดได้ และซีโอไซด์ดีที่สุดที่สุดคือ ร้อยละ 89.36 และ 66.54 ตามลำดับ และประสิทธิภาพเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่ง อธิบายได้ว่า ในช่วงช่วงโม่งแรกพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับมลสารต่างๆ ยังมีมากและเมื่อระยะเวลาหนึ่งถ่านกะลามะพร้าวและดินถูกตัวถูกดูดซับหรือมลสารต่างๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุลและมีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยลงจนอยู่สภาวะคงที่ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซี และซีไอดี กับระยะเวลา (ชั่วโมง)

4.1.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนน้ำเสีย

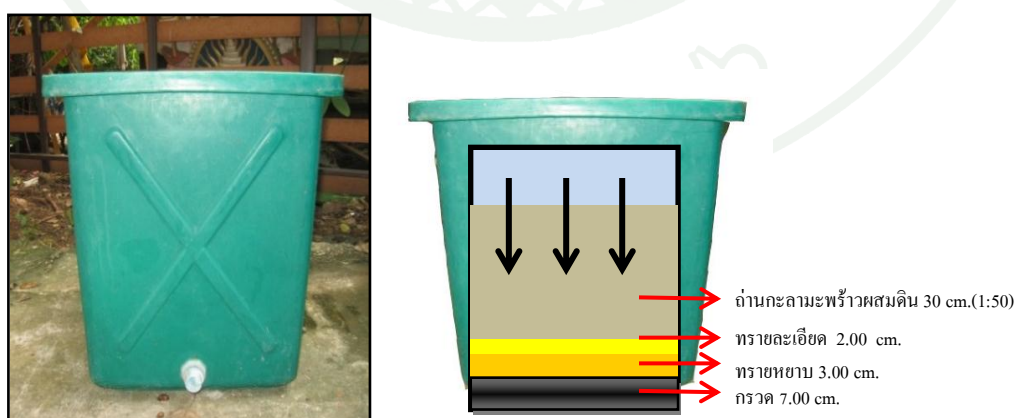
ผลการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง โดยการจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมุนเวียนน้ำเสีย พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดในสัปดาห์แรก สามารถบำบัดซีและซีไอดีได้ดีที่สุดคือร้อยละ 88.10 และ 67.87 ตามลำดับ และประสิทธิภาพเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอธิบายได้ว่าในช่วงชั่วโมงแรกพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับมลสารต่างๆ ยังมีมากและเมื่อระยะเวลาหนึ่งถ่านกะลามะพร้าวและดินถูกตัวถูกดูดซับหรือมลสารต่างๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุลและมีประสิทธิภาพการดูดซับน้อยลงจนอยู่สภาวะคงที่ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดดี และซีโอดี กับระยะเวลา (สัปดาห์)

5. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดดี และซีโอดีในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายยางยืด โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

ลักษณะกระบะที่ได้จากการบรรจุชั้นวัสดุปลูกเช่นเดียวกับ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย ใช้กระบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 51×51×54 เซนติเมตร บรรจุกรวด 7 เซนติเมตร ทราขเหยียด 2 เซนติเมตร และถ่านกะลามะพร้าวผสมดินที่ อัตราส่วน 1:50 ความสูง 21 เซนติเมตร ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิดคือ ต้นกกกลมและหญ้าแฝก ดัง ภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ชั้นวัสดุเพาะปลูกตามแบบพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย



ก.



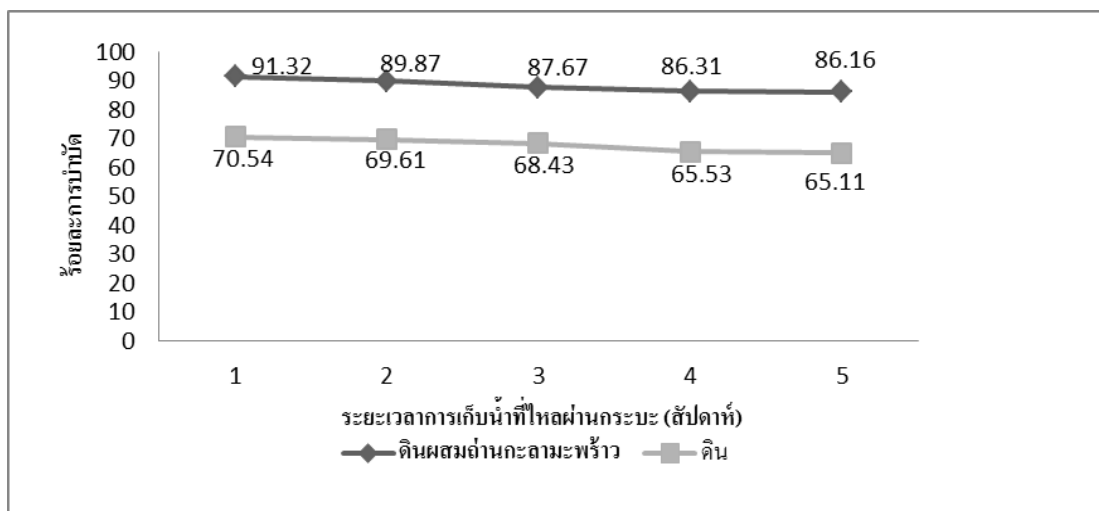
ข.

ภาพที่ 36 กระบะเพาะปลูกตามแบบพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหญ้ากรองน้ำเสียภาพ(ก) ปลูกต้นกกกลม และภาพ(ข)ปลูกหญ้าแฝก

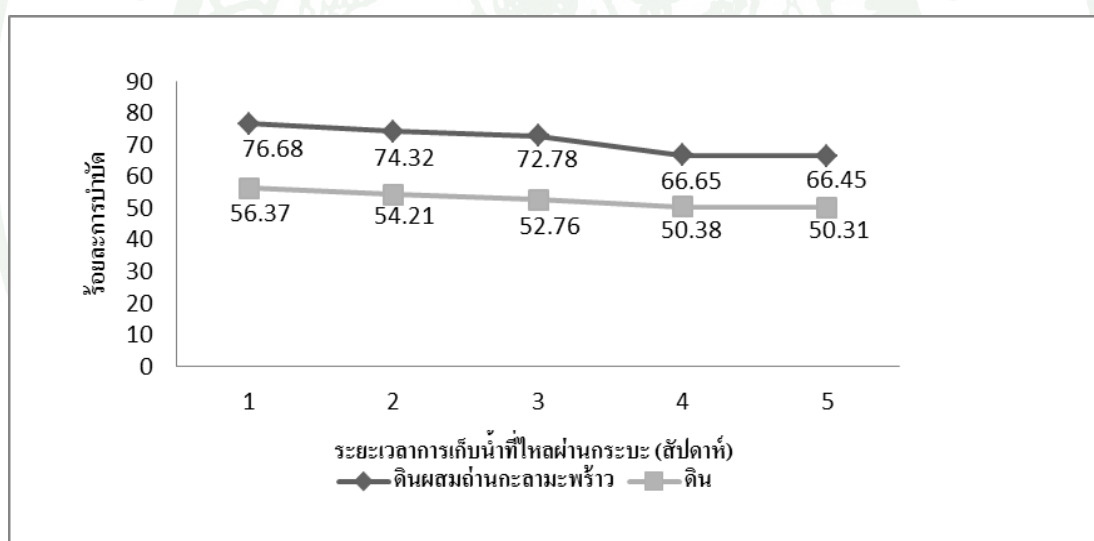
5.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

5.1.1 กกกลม

ผลการทดลองแบบเทคนิคในการหน่วยย่อยขนาดเล็ก โดยการจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสียโดยปลูกกกกลมเป็นพืชบำบัด พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีดีที่สุดในช่วงสัปดาห์แรก คือ ร้อยละ 91.32 และ 76.68 ตามลำดับ และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุล เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองกระบะ ระหว่างกระบะที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสม กับกระบะที่ใช้ดินปลูกเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่ากระบะที่ใช้ดินผสมถ่านกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีได้มากกว่ากระบะที่ผสมดินปลูกเพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 20 เนื่องจาก ถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ที่มาจากน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืดได้ดี เมื่อนำมาผสมในดินปลูกร่วมกับ กกกลม ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีของระบบพื้นที่หญ้ากรองน้ำเสีย ดังภาพที่ 37



(ก)

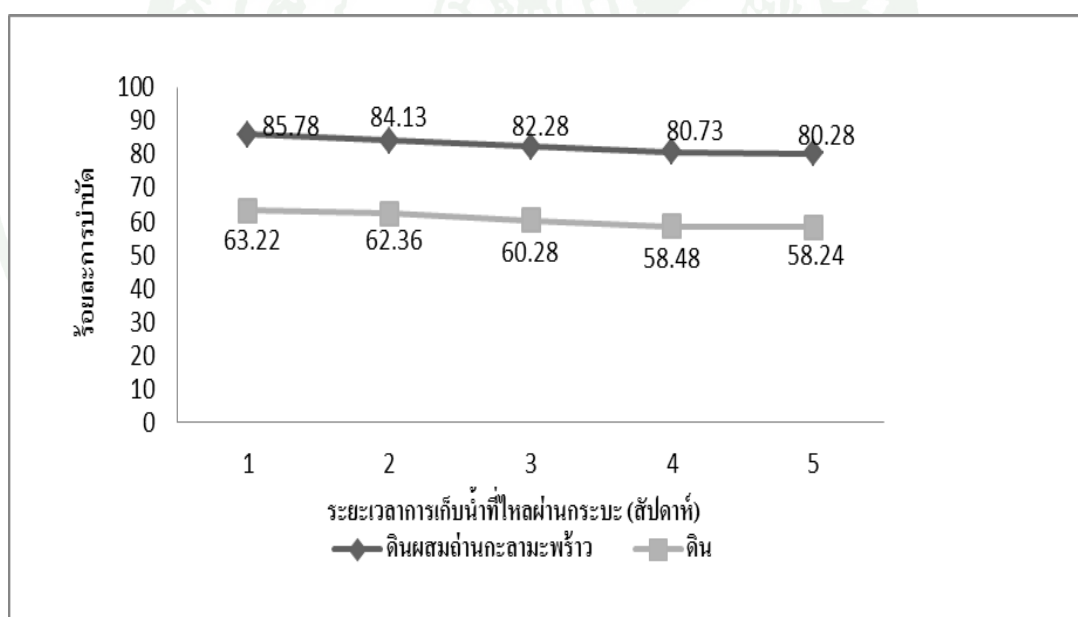


(ข)

ภาพที่ 37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี (ก) และซีโอดี (ข) ระหว่างดินและดินผสมถ่านกะลามะพร้าวกับระยะเวลาของพืช (กกกลม)

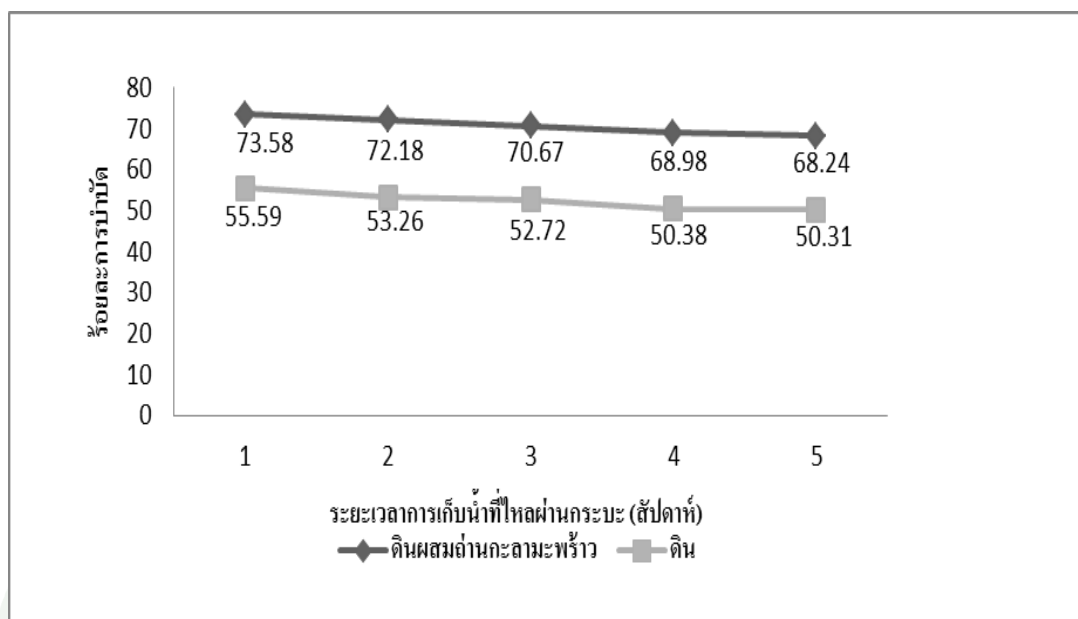
5.1.2 หลุมแฝก

ผลการทดลองแบบเทคนิคในหน่วยย่อยขนาดเล็ก โดยการจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหลุมกรองน้ำเสียโดยปลูกหญ้าแฝกเป็นพืชบำบัด พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีจะดีที่สุดในช่วงสัปดาห์แรก คือ ร้อยละ 85.78 และ 73.58 และจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุล และเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองกระบะ ระหว่างกระบะที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสม กับกระบะที่ผสมดินปลูกเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า กระบะที่ผสมถ่านกะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีได้มากกว่า กระบะที่ผสมดินปลูกเพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 20 และ 15 ตามลำดับ เนื่องจาก ถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ที่มาจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้ายยางยืดได้ดี เมื่อนำมาผสมในดินปลูกร่วมกับพืช หญ้าแฝก ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีของระบบพื้นที่หลุมกรองน้ำเสีย ดังภาพที่ 38



(ก)

ภาพที่ 38 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด (ก) และซีโอดี (ข) ระหว่างดินและดินผสมถ่านกะลามะพร้าวและปลูกแฝกกับการบำบัด



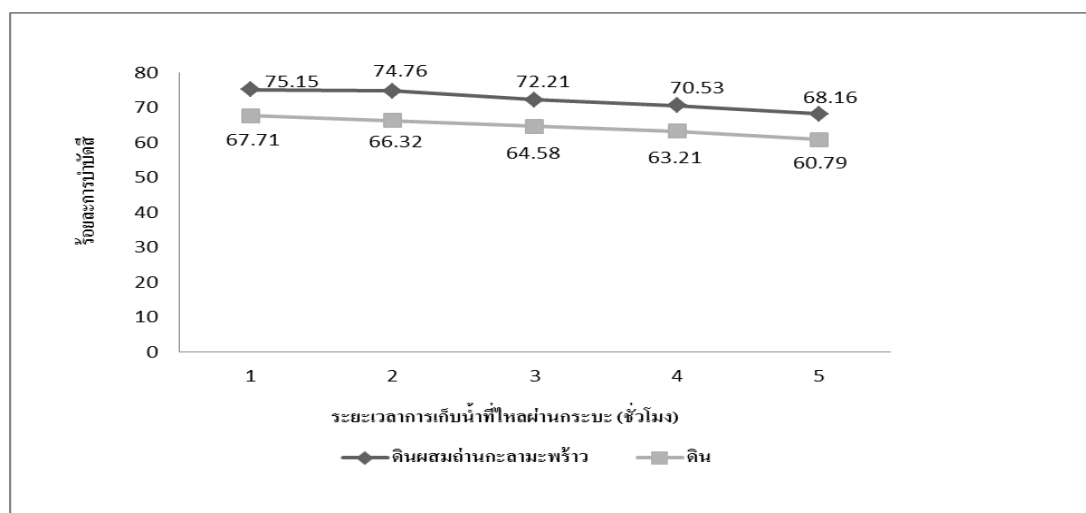
(ข)

ภาพที่ 38 (ต่อ)

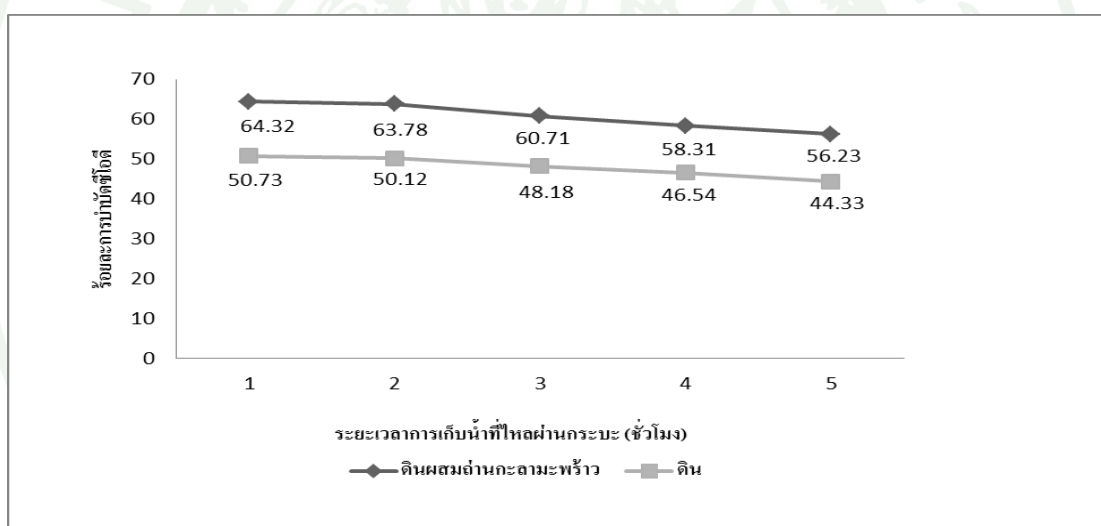
5.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

5.2.1 กกกกลม

จากการทดลองโดยผ่านน้ำเสียลงไปในกระเบที่บรรจุวัสดุปลูกและปลูกกกกลมและเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านกระเบทุกชั่วโมง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกระเบที่ผสมถ่านละอองมะพร้าว กับกระเบที่ไม่ได้ผสมถ่านละอองมะพร้าวในตอนเริ่มต้น พบว่า กระเบที่ใช้ถ่านละอองมะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดและซีโอดีได้ดีกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียว ประมาณร้อยละ 10 และ 10 ตามลำดับ ดังภาพที่ 39



(ก)



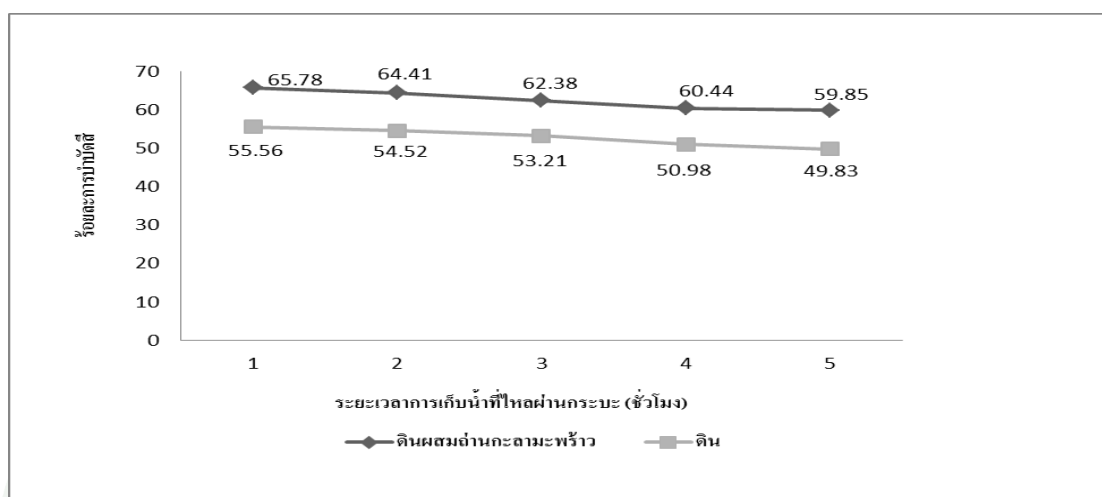
(ข)

ภาพที่ 39 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ (ก.) และซีโอดี (ข.) ระหว่างการใช้ถ่านกลามะพร้าวผสมดินและการใช้ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกกกกลม

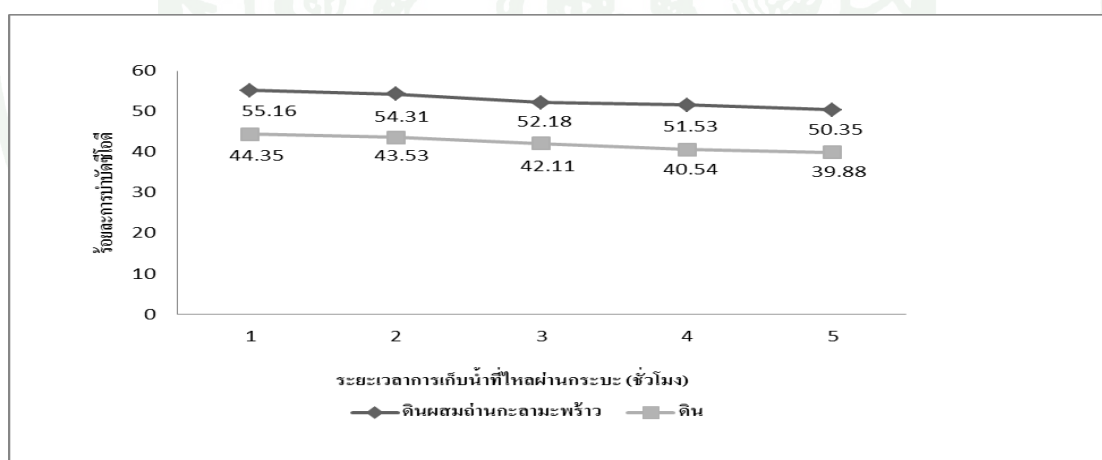
5.2.2 หลู้แฝก

จากการทดลองโดยผ่านน้ำเสียลงไปในกระบะที่บรรจุวัสดุปลูกและปลูกหญ้าแฝก และเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านกระบะทุกชั่วโมง พบว่า กระบะที่ผสมถ่านกลามะพร้าวกับดินใน

อัตราส่วน 1:50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีไอดีได้ดีกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 10 และ 10 ตามลำดับ ดังภาพที่ 40



(ก)

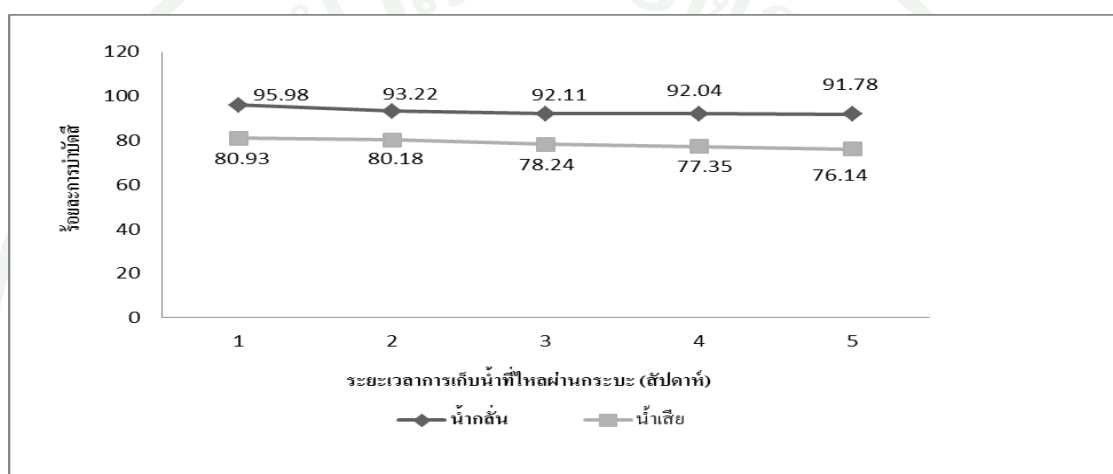


(ข)

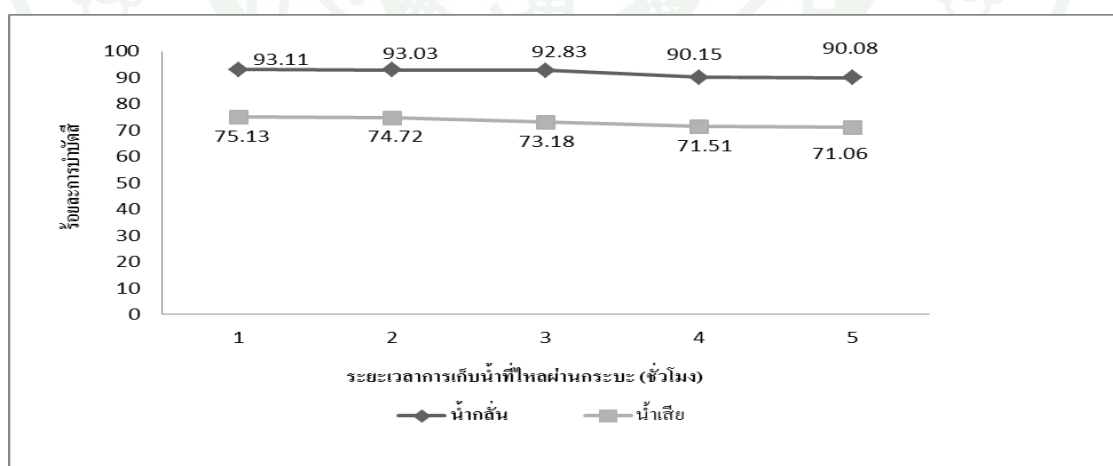
ภาพที่ 40 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี(ก.)และซีไอดี(ข.) ระหว่างการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินและการใช้ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงรวมกับการปลูกหญ้าแฝก

5.3 ชุดควบคุม

จากการทดลองที่ 7.5 การทดลองชุดควบคุม ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืด พบว่า ร้อยละการบำบัดสี และซีไอดีมีค่าใกล้เคียงร้อยละ 100 แสดงว่า น้ำกลั่นที่ผ่านวัสดุที่ใช้เพาะปลูกในการทดลองหะสี และสารอินทรีย์ออกมาน้อยมาก ดังภาพที่ 41 และ 42 ดังนั้นสีและซีไอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เป็นสีและซีไอดีที่มาจากน้ำเสีย ซึ่งไม่ถูกบำบัด

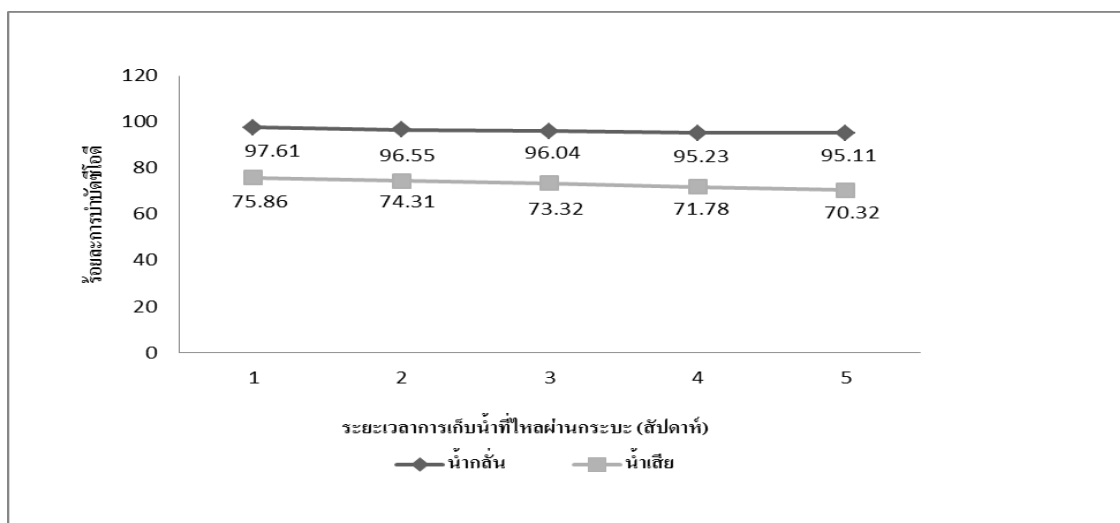


(ก)

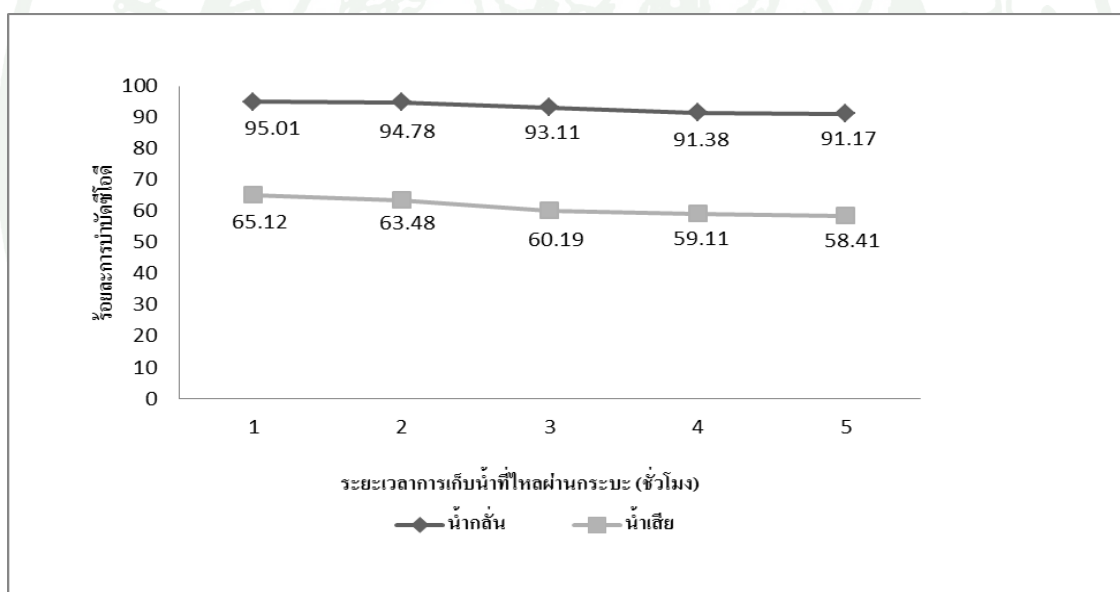


(ข.)

ภาพที่ 41 เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดสีของระบบ ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย (ก.) และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ข.) ระหว่างชุดทดลอง และชุดควบคุม



(ก.)



(ข.)

ภาพที่ 42 เปรียบเทียบร้อยละการบำบัดซีโอดีของระบบหมุนเวียนน้ำเสีย (ก.) และระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ข.) ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม

6. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบหุ้มกรองน้ำเสียและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้ถ่านกะลามะพร้าว

คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ทั้งแบบหุ้มกรองน้ำเสียและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมพร้อมทั้งปลูกพืช 2 ชนิด คือ กกกลมและหญ้าแฝก พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด ระบบทั้ง 2 ระบบให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีที่แตกต่างกันออกไปเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยระบบหุ้มกรองน้ำเสียและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

พารามิเตอร์	ค่าวิเคราะห์น้ำเสียหลังการบำบัด					ค่ามาตรฐาน
	ก่อนบำบัด	ระบบหุ้มกรองน้ำเสีย		ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม		
		กกกลม	หญ้าแฝก	กกกลม	หญ้าแฝก	
pH	8.3	7.8	7.8	7.8	7.8	5.5-9.0
Color (Pt-Co Unit)	58	21	22	26	28	5-15
EC (μS/cm.)	1,490	6,400	7,800	6,300	7,600	-
TDS (mg/l)	9520	6,100	6,700	6,100	6,500	ไม่เกิน 3,000
Sal (ppt)	7.2	2.9	3.7	3.10	3.5	-
Turbidity (NTU)	67	35	37	40	44	100
COD (mg/l)	3,840	92	94	112	116	ไม่เกิน 120

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบหุ้มกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยมีถ่านกะลามะพร้าวเป็นวัสดุปลูก พบว่าทั้ง 2 ระบบ สามารถบำบัด สีและซีโอดีของน้ำได้ โดยพารามิเตอร์ที่ผ่านการบำบัดมีค่า pH ความขุ่น และซีโอดี อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ค่าสีของน้ำยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ดัง

ตารางที่ 5 และพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่ปลูกกกกล่มและหญ้าแฝกเป็นพืชบำบัด ให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเส้นด้ายยางยืดดีกว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปรับสภาพเริ่มต้นของโรงงานอุตสาหกรรมเส้นด้าย ยางยืด ด้วยการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบ บำบัดแบบห้วยกรองน้ำเสีย โดยอาศัยเทคนิคการกรองในหน่วยทดลองขนาดเล็ก การทดลองแบ่ง ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การทดลองแบบเบตซ์ ส่วนที่ 2 การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง และ ส่วนที่ 3 การทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยทดลองขนาดเล็ก ได้ผลดังนี้

การทดลองแบบเบตซ์พบว่าถ่านกะลามะพร้าว 4 กรัมต่อน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร เวลาสัมผัส 60 นาที สามารถบำบัดสี และซีโอดีได้ร้อยละ 77.67 และ 51.57 ตามลำดับ ในส่วนระยะเวลาการ บำบัดสีและซีโอดีที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 4 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 79.16 และ 55.01 ในส่วนระยะเวลา การบำบัดสีและซีโอดีที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 4 วัน บำบัดได้ร้อยละ 77.67 และ 62.32 ตามลำดับ และ ในส่วนของอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่เหมาะสมคือ 1:50 สามารถบำบัดสี และซีโอดี ได้ร้อยละ 98.04 และ 60.98 ตามลำดับ จากผลการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง มีการจำลองชั้นวัสดุ ปลุกและวิธีการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบห้วยกรองน้ำเสียโดยแช่น้ำเสีย 5 วัน ปลอ่ยแห้ง 2 วัน พบว่าทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีพอกันคือ 89.36 และ 66.54 ตามลำดับ สำหรับระบบห้วยกรองน้ำเสียมีร้อยละการบำบัดคือ 88.10 และ 67.87 ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ระบบห้วยกรองน้ำเสีย โดยปลูกพืช 2 ชนิด คือกกกลมและหญ้าแฝก พบว่า กระบะที่ปลูกกกกลมให้ประสิทธิภาพในการ บำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 91.32 และ 76.68 ตามลำดับ และกระบะที่ปลูกหญ้าแฝกให้ร้อยละการ บำบัดเท่ากับ 85.78 และ 73.58 ตามลำดับ ในส่วนระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมพบว่า กกกลมมี ประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีได้ร้อยละ 75.15 และ 64.32 ตามลำดับ และกระบะที่ปลูก หญ้าแฝกให้ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 65.78 และ 55.16 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ระบบห้วยกรองน้ำ เสีย ที่ปลูกกกกลม ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีได้ดีกว่า ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ที่ปลูก ทั้งกกกลมและหญ้าแฝก แสดงให้เห็นว่าจากการศึกษาในงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการ บำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นด้ายยางยืดได้จริง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบASของโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. คุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบนั้น ค่าสีมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการอื่นๆ ในการลดความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นด้ายยางยืด เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
2. ศึกษาตัวดูดซับประเภทอื่นๆ เช่น ตัวดูดซับชีวมวล ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นด้ายยางยืดต่อไป
3. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ดินในพื้นที่อื่นๆ เพื่อประยุกต์ใช้ในการทดลอง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยาง
ชั้น. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

จรินทร์ ทองประดิษฐ์. 2542. การแยกจำแนกและเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำเสียจาก
โรงงานแปรรูปน้ำยางชั้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ปรีชญา ชัยสาร. 2551. การพัฒนาตัวดูดซับเพื่อศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยใน
โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิเชษฐ ไชยพานิชย์. 2543. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพารา, ศูนย์วิจัยยางยะไข่.

พัชรภรณ์ จำแก้ว. 2546. การบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

มูลนิธิชัยพัฒนา. 2543. คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ.วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ดันธนะสฤษดิ์. 2538. การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช
เป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อวยพร บัวใบ. 2531. การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองที่ใช้ทรายและถ่านกะลามะพร้าว.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

Johnson, A.T. 1989. The theory of Coloration of Textiles. **Society of Dyes and Colorist**, 90(2): 912-920.

Kadirvelu, K., M. Kavipriya, C. Karthika, M. Radhika, N. Vennilamani and S. Patabhi. 2003. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for removal for dyes and metal ions from aqueous solution. **Bioresour Technol.** (87): 129-132.

Prabuddham, P. 1975. **The composition levels of selected trace elements in soil from the major rice-producing region of Thailand and south Vietnam and some factors related to the abundance of these elements.** Ph.D. Thesis. LllionoisUnive. Champaign-Urban Illinois, USA.

Reddy, K.R. and W.M. Patrick. 1993. Wetlandsoil opportunities and challenges. **Soil sci.** 57: 1145-1147.

Santhy, K. and P. Selvathy. 2006. Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon. **Biosource Techonology.** (97): 1623-1629.

Senthikumaar, S., P. Kalamani, K. Porkodi, P. Varadarajan, R., and V.C. Subburam. 2006. Adsorption of dissolved reactive red dye from aqueous phase on to activated carbon prepared from agricultural waste. **Bioresource Thechology.** (97): 1618-1612.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ระยะเวลาสัมผัส (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.207	0.210	0.208	0.208	60.21
2	0.194	0.201	0.198	0.197	63.54
3	0.200	0.187	0.189	0.192	67.78
4	0.175	0.163	0.170	0.169	77.67
5	0.181	0.182	0.183	0.182	73.86
6	0.204	0.205	0.201	0.201	72.31
7	0.216	0.213	0.208	0.212	70.56
8	0.218	0.216	0.219	0.217	68.53

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสีไอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละของการกำจัด
1	43.25
2	45.84
3	48.81
4	51.57
5	47.12
6	45.32
7	42.44
8	40.92

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.191	0.192	0.187	0.190	62.21
2	0.198	0.195	0.189	0.194	65.54
3	0.196	0.193	0.198	0.195	75.08
4	0.193	0.193	0.194	0.193	79.16
5	0.193	0.194	0.201	0.196	72.18
6	0.202	0.203	0.200	0.201	67.65

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการจัดสีโอดีกับระยะเวลาสัมผัส(ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	45.32
2	46.98
3	48.34
4	55.01
5	50.37
6	48.87

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการจัดสีกับระยะเวลาสัมผัส(วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.153	0.155	0.158	0.155	65.32
2	0.154	0.158	0.157	0.156	68.26
3	0.177	0.173	0.175	0.175	74.63
4	0.176	0.175	0.178	0.176	77.67
5	0.189	0.186	0.185	0.186	67.32

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)

ระยะเวลาดัมผัส (วัน)	ร้อยละของการบำบัด
1	54.23
2	56.36
3	58.11
4	62.32
5	60.22
6	58.21

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว : ดิน	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:25	0.099	0.098	0.099	0.099	91.45
1:50	0.094	0.093	0.096	0.094	98.04
1:75	0.098	0.097	0.096	0.097	95.12
1:100	0.112	0.112	0.111	0.112	86.56

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว : ดิน	ร้อยละของการบำบัด
1:25	57.36
1:50	60.98
1:75	59.32
1:100	59.15

ตารางผนวกที่ 9 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณถ่าน กะลามะพร้าว (กรัม)	C_0	C	V	q	$1/q$	$1/C$	$\log q$	$\log C$
1	3840	350	0.1	349	0.002	0.002	2.54	2.54
2	3840	278	0.1	178.1	0.005	0.003	2.25	2.44
3	3840	160	0.1	122.66	0.008	0.006	2.08	2.20
4	3840	143	0.1	92.42	0.010	0.006	1.96	2.15
5	3840	126	0.1	74.28	0.013	0.007	1.87	2.10

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกชั่วโมง

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.140	0.140	0.140	0.140	89.36
2	0.145	0.147	0.148	0.140	87.21
3	0.222	0.221	0.220	0.221	86.24
4	0.215	0.216	0.218	0.216	86.04
5	0.259	0.260	0.261	0.260	85.27
6	0.285	0.287	0.285	0.285	85.07

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกชั่วโมง

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	66.54
2	64.31
3	62.56
4	61.67
5	61.48
6	61.06

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.178	0.178	0.178	0.178	88.10
2	0.179	0.180	0.183	0.180	87.01
3	0.187	0.187	0.187	0.187	86.61
4	0.197	0.197	0.197	0.197	86.07
5	0.201	0.202	0.202	0.202	85.95

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	67.87
2	65.59
3	62.47
4	62.36
5	62.12

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.125	0.125	0.125	0.125	91.32
2	0.142	0.152	0.152	0.152	89.87
3	0.200	0.210	0.200	0.200	87.67
4	0.250	0.250	0.250	0.250	86.31
5	0.270	0.270	0.270	0.270	86.16

ตารางผนวกที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	76.68
2	74.32
3	72.78
4	66.65
5	66.45

ตารางผนวกที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลา
เก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.212	0.213	0.217	0.214	70.54
2	0.229	0.229	0.228	0.229	69.61
3	0.230	0.231	0.231	0.231	68.43
4	0.315	0.312	0.313	0.313	65.53
5	0.325	0.323	0.323	0.324	65.11

ตารางผนวกที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ดินอย่างเดียวกับ
ระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืชกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	56.37
2	54.21
3	52.76
4	50.38
5	50.31

ตารางผนวกที่ 18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ระยะเวลาการเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืช หนุ่้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.096	0.098	0.096	0.096	85.78
2	0.170	0.172	0.174	0.172	84.13
3	0.233	0.232	0.232	0.232	82.28
4	0.315	0.318	0.316	0.316	80.73
5	0.325	0.323	0.323	0.324	80.28

ตารางผนวกที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสม
ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืช หนุ่้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	73.58
2	72.18
3	70.67
4	68.98
5	68.24

ตารางผนวกที่ 20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาการ
เก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืช หนุ่้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.076	0.078	0.076	0.076	63.22
2	0.160	0.164	0.168	0.164	62.36
3	0.223	0.225	0.224	0.224	60.28
4	0.305	0.308	0.306	0.306	58.48
5	0.309	0.313	0.313	0.311	58.24

ตารางผนวกที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ดินอย่างเดียวกับ
ระยะเวลาเก็บน้ำทุกสัปดาห์ร่วมกับการปลูกพืช หนุ่้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	55.59
2	53.26
3	52.72
4	50.38
5	50.31

ตารางผนวกที่ 22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ระยะเวลาการเก็บน้ำทุกชั่วโมงรวมกับการปลูกพืช กกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.216	0.218	0.215	0.216	75.15
2	0.221	0.223	0.224	0.222	74.76
3	0.229	0.231	0.235	0.231	72.21
4	0.315	0.312	0.313	0.313	70.53
5	0.317	0.314	0.316	0.315	68.16

ตารางผนวกที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสม
ดินกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงรวมกับการปลูกพืช กกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	64.32
2	63.78
3	60.71
4	58.31
5	56.23

ตารางผนวกที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ระยะเวลาทุกชั่วโมง

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.174	0.173	0.172	0.173	67.71
2	0.189	0.187	0.186	0.187	66.32
3	0.232	0.231	0.230	0.231	64.58
4	0.257	0.252	0.253	0.254	63.21
5	0.306	0.304	0.310	0.306	60.79

ตารางผนวกที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของการใช้ดินอย่างเดียวกับระยะเวลาเก็บน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืช กกกลม

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	50.73
2	50.12
3	48.18
4	46.54
5	44.33

ตารางผนวกที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.122	0.122	0.122	0.122	65.78
2	0.126	0.126	0.126	0.126	64.41
3	0.152	0.162	0.152	0.152	62.38
4	0.174	0.162	0.167	0.167	60.44
5	0.193	0.183	0.183	0.183	59.85

ตารางผนวกที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีไอดีของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินกับ
ครั้งที่ทดลองน้ำทุกชั่วโมงร่วมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	55.16
2	54.31
3	52.18
4	51.53
5	50.35

ตารางผนวกที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกชั่วโมงรวมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ครั้งที่ทดลอง (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.176	0.185	0.184	0.181	55.56
2	0.170	0.190	0.190	0.183	54.52
3	0.211	0.211	0.200	0.211	53.21
4	0.246	0.243	0.243	0.244	50.98
5	0.247	0.247	0.237	0.247	49.83

ตารางผนวกที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดีของการใช้ดินอย่างเดียวกับครั้งที่
ทดลองน้ำทุกชั่วโมงรวมกับการปลูกพืชหญ้าแฝก

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	44.35
2	43.53
3	42.11
4	40.54
5	39.88

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายอนุพงศ์ คำลือ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	15 พฤษภาคม 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดน่าน
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรและสิ่งแวดล้อมศึกษา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-