



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ ด้วยการลดความเป็นกรด โดยใช้หินปูนและ
การบำบัดแบบธรรมชาติ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone
and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia
Environmental Research and Development Project

นามผู้วิจัย นางสาวสุดาร์ตน์ ผาสุกโก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ ด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูนและการบำบัด
แบบธรรมชาติของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย

อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone and
The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental
Research and Development Project

โดย

นางสาวสุภารัตน์ ผาสุกโก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

สุดารัตน์ ผาสุกโก 2557: การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแควด้วยการลดความเป็นกรด โดยใช้หินปูนและการบำบัดแบบธรรมชาติของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D. 94 หน้า

ข้าวแควเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำแป้ง จากข้าวกับเกลือ น้ำทิ้งปริมาณมาก ประกอบกับมีสารอินทรีย์และความเป็นกรดสูง ถ้าถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาลังแวดล้อมทางน้ำได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีที่ง่ายต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ด้วยกระบวนการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูน และพบว่า การแช่หินปูน 60 กิโลกรัมในน้ำเสีย 60 ลิตร ในระยะเวลา 7 วัน สามารถเพิ่มค่าพีเอชจาก 3.3 เป็น 7.0 จากนั้นนำน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรดมาศึกษาโดยการทดลองแบบแบตช์และการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง จากการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ถ่านกะลามะพร้าวสามารถลดสี ความขุ่น และซีโอดี และรูปแบบการดูดซับ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช การทดลองแบบไหลต่อเนื่องที่มีการบรรจุชั้นกรอง ซึ่งชั้นบนสุดเป็นถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินนาในอัตราส่วน 1:10 พบว่าการบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบระบบหล้ากรองน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ดังนั้นระบบหล้ากรองน้ำเสียจึงถูกนำมาทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ร่วมกับการปลูกกกกล่มและธูปฤาษี ผลการทดลองแสดงว่าธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น และซีโอดีสูงกว่ากกกล่มที่ร้อยละ 79.86 และ 92.80 ตามลำดับ

Sudarat Pasukko 2014: Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 94 pages.

Khaew Kaeb is produced from the fermentation of starch water from rice with salt. The aquatic environmental problem could be occurred from large amount of the effluent with high organic content and acidity was discharged to water resource. This research aims to study the simple way treatment of this effluent. Therefore, deacidification by using limestone was carried out and found that soaking limestone 60 kg to 60 L of wastewater for 7 days could increase pH from 3.3 to 7.00. Then, the deacidified wastewater was studied by batch experiment and continuous flow experiment. From batch experiment, it was found that coconut shell charcoal had treatability of color, turbidity and COD and the adsorption model was conformed to Langmuir and Freundlich isotherm. From continuous flow experiment that packing filter layer and the top layer of the mixture of coconut shell charcoal and soil in ratio of 1:10, it was found that wastewater treatment similar to the grass filtration gave the higher efficiency than constructed wetland. Therefore, the grass filtration system was tested by the filtrated lysimeter technique and growing *Cyperus Corymbosus* Rottb. and *Typha angustifolia* Linn. The results showed that *Typha angustifolia* Linn gave the highest removal efficiency percentage of turbidity and COD at 79.86 and 92.80 respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ คณิดา ตั้งคณาภิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ และสละเวลาในการตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและคำสั่งสอน ตลอดจนประสบการณ์การทำงานต่างๆแก่ผู้วิจัย เพื่อนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ รวมถึงขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ วัสดุและอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆนิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รุ่น 35 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจ และกำลังใจตลอดมา

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ครอบครัวผาสูกโก ที่คอยเป็นแรงผลักดัน ให้กำลังใจ ในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งให้ความเมตตา อบรม สั่งสอน และสนับสนุนทุนการศึกษา ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุภารัตน์ ผาสูกโก

มีนาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์การศึกษา	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	43
อุปกรณ์	43
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	72
สรุป	72
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 หลักเกณฑ์การให้คะแนนมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน	13
2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว	35
3 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานข้าวแคบ กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	52
4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยชุดควบคุม	70
5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบหล้ากรองน้ำเสียที่ ปลูกจุลินทรีย์และกกกลม	71
ตารางผนวกที่	
1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม	77
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่ เหมาะสม	78
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว ที่เหมาะสม	79
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	79
5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	80
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)	80
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)	81
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาที่ เหมาะสม (วัน)	81
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	82
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	83
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน ในอัตราส่วนต่างๆ	83
13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว	84
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์	84
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์	85
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์	85
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์	86
18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์	86
19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์	87
20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	87
21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	88
22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	88
23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ดินอย่างเดียวร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่มชื้นกับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	89
25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีกับการใช้ดินเพียงอย่างเดียวร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์	90
26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับการผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	90
27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่มชื้นกับการผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	91
28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีกับการผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	91
29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีกับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	92
30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่มชื้นกับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	92
31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีกับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (รูปถ่าย) ทุกสัปดาห์	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การล้างข้าว	4
2	การโม่แป้ง	5
3	การใส่ส่วนผสม	5
4	การทำแผ่นแป้ง	6
5	การคึงแผ่นแป้ง	6
6	การตากแผ่นแป้ง	7
7	การตากแห้งแผ่นแป้ง	7
8	การย่างแผ่นแป้ง	8
9	ผลิตภัณฑ์ข้าวแคบสำเร็จรูป	8
10	ผลิตภัณฑ์ข้าวพ่นฝัก	9
11	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	23
12	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	26
13	แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	29
14	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	29
15	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	30
16	กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	32
17	ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรุนดลิช	33
18	ถ่านกะลามะพร้าว	34
19	ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองและหญ้ากรอง	38
20	ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	39
21	การลดสภาพความเป็นกรดของน้ำเสียด้วยหินปูน	46
22	คอลัมน์ที่บรรจุชั้นวัสดุปลูกสำหรับการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง	48
23	กระบะปลูกต้นกกกลม (ก) และรูปถาวยี่ (ข) สำหรับเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก	49
24	กราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนกับพีเอชของน้ำเสีย	53
26	ค่าพีเอชระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน	54
27	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีไอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว	55
28	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีไอดีกับระยะเวลาการสัมผัส	56
29	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีไอดีกับระยะเวลาการสัมผัส	57
30	ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวแบบแลงเมียร์	58
31	ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวแบบฟรุนดลิช	58
32	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีไอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ	59
33	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีไอดี กับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	60
34	ซีไอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน	61
35	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีไอดี กับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองระบบหล้ากรองน้ำเสีย	62
36	ซีไอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองระบบหล้ากรองน้ำเสียกับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน	62
37	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น(ก) และซีไอดี(ข) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกธูปฤาษีกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสีย	64
38	ซีไอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกธูปฤาษีกับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความชุ่มชื้น(ก) และซีโอดี(ข) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกกกกล่มกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสีย	66
40	ซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกกกกล่มกับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน	67
41	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความชุ่มชื้น(ก) และซีโอดี(ข) ระหว่างกกกล่มและรูปถายเป็นพืชบำบัดกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรองน้ำเสีย	68

**การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูน และการ
บำบัดแบบธรรมชาติของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ**

**Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone
and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia
Environmental Research and Development Project**

คำนำ

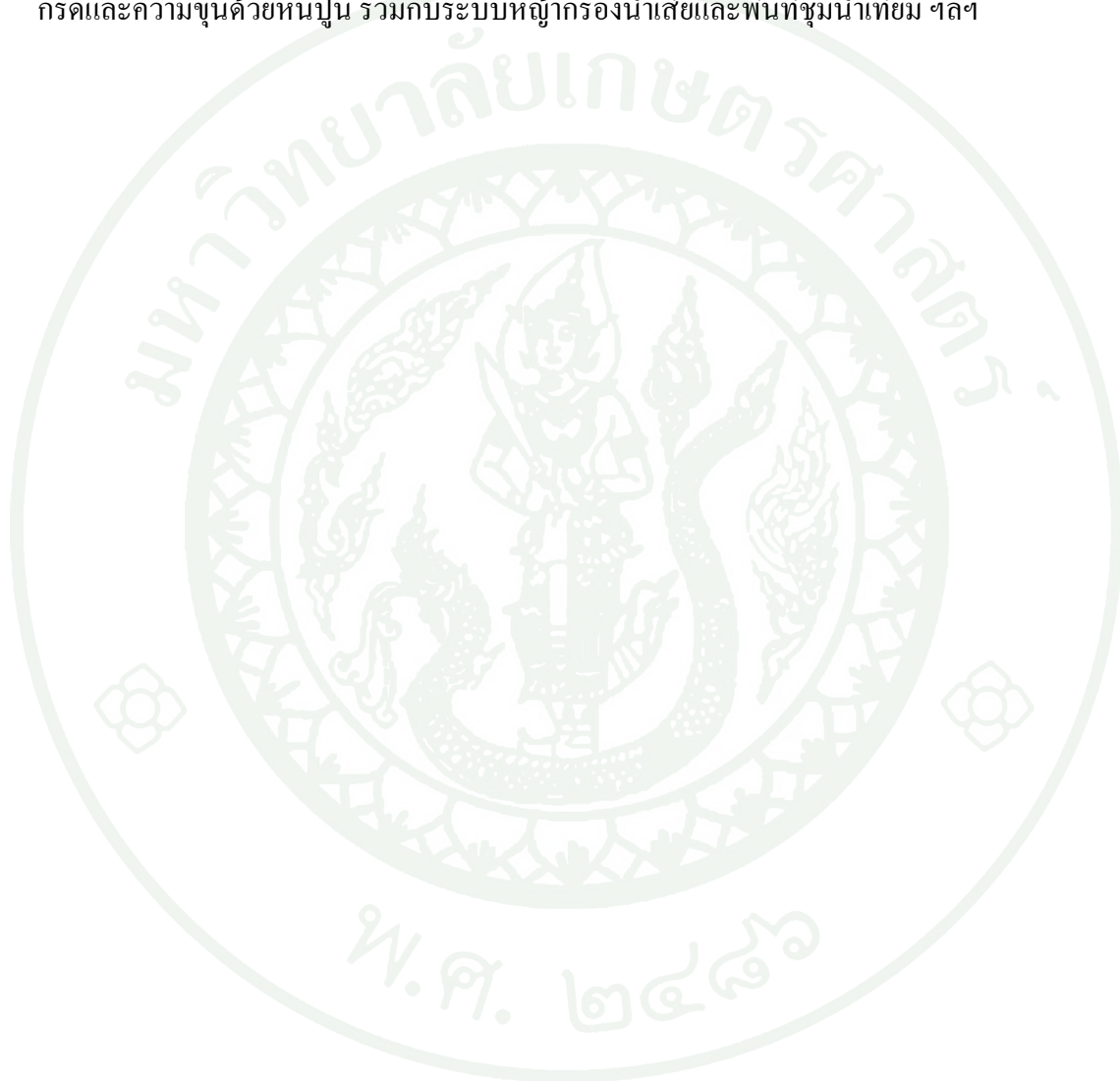
โรงงานผลิตข้าวแคบมีอยู่มากมายหลายแห่งในแถบภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง จากกระบวนการผลิตข้าวแคบมีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมากจากการหมักข้าว การกรอง การล้างแป้ง โดยน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะขุ่นขาว มีสารอินทรีย์จำพวกแป้งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง และเมื่อเกิดกระบวนการหมักจากพวกจุลินทรีย์ในธรรมชาติจะทำให้เกิดสารประกอบจำพวกกรด (ปีวรรณ, 2555) ประกอบกับการผลิตข้าวแคบยังคงเป็นอุตสาหกรรมในระดับครัวเรือนจึงยังไม่มี การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะก่อให้เกิดผลเสียมากมายในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบด้วยวิธีที่ง่ายและสะดวก และสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ได้อีกโดยผู้วิจัยจะทำการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียก่อนโดยใช้หินปูน ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาแช่ขัง และประสิทธิภาพการใช้งานของหินปูน นำน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพกรด-ด่างแล้วมาบำบัดต่อด้วยระบบบำบัดที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติช่วยธรรมชาติ คือระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมและระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการศึกษาและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยผู้วิจัยทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้ตัวดูดซับชีวมวลคือ ถ่านกะลามะพร้าวมาเป็นวัสดุปลูกร่วมกับดิน

ผู้วิจัยคาดว่าจากผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบในระดับครัวเรือน และความเป็นไปได้ในการดัดแปลงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการที่ง่ายและเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบด้วยวิธีการลดความเป็นกรดและความขุ่นด้วยหินปูน ร่วมกับระบบหมักกรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ฯลฯ



1.3 วัตถุดิบที่ใช้

1.3.1 ข้าวสารเจ้า 1 ถัง (ทำข้าวแคบแผ่นบาง ได้ประมาณ 1,300 แผ่น

1.3.2 งาดำ 1 กิโลกรัม

1.3.3 เปลือกถั่วเล็ก 10 ถุง

1.4 ขั้นตอนการผลิต

1.4.1 การล้างข้าว

การล้างข้าวโดยนำข้าวสารแช่น้ำในโอ่งประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นผึ่งไว้ในกระบายหรือกระบุง จนสะเด็ดน้ำใช้ใบตองปิดข้าว หลังจากนั้นรดน้ำข้าวในกระบายวันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 3 วัน



ภาพที่ 1 การล้างข้าว

1.4.2 การเตรียมแป้ง

ล้างข้าวสารเหนียวที่แช่แล้วอีกครั้งหนึ่งแล้วนำข้าวมาโม่ด้วยโม่หินหรือไฟฟ้า นำข้าวที่ได้ผสมกับน้ำจนเข้ากันแล้ว ใช้ผ้าขาวบางกรองเอาน้ำแป้ง นำน้ำแป้งลงพักในโอ่ง 1 คืน หลังจากนั้น นำน้ำแป้งที่เตรียมไว้ผสมน้ำให้พอดีไม่ให้แป้งข้นหรือเหลวเกินไป หิน จะได้แป้งสำหรับทำข้าวแคบ



ภาพที่ 2 การโม่แป้ง

1.4.3 การใส่ส่วนผสม

ผสมงาดำและเกลือลงในน้ำแป้ง คนให้เกลือละลาย โดยเติมเกลือลงไปได้เล็กน้อยตามใจชอบ และพิจารณาตามความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ เช่น ข้าวแคบหนาหรือข้าวแคบพ่นข้าวเหนียว จะต้องมีรสเค็มกว่าข้าวแคบที่ใช้พ่นหิมิ ซึ่งข้าวแคบพ่นหิมิมักนิยมทำแผ่นบางและรสจืด



ภาพที่ 3 การใส่ส่วนผสม

1.4.4 การทำแผ่นแป้ง

การเตรียมเตาและหม้อดิน ใช้เตาปั้นด้วยดินสำหรับใช้กับฟืนตั้งกะทะใส่น้ำ วางหม้อดินปากแคบลักษณะครึ่งใบไม่มีก้นลงไปในกะทะ เติมน้ำให้เหลือขอบกะทะประมาณ 2 นิ้ว ปากหม้อจึงผ้าขาวบางให้ตึง ตั้งไฟจนน้ำเดือดให้มีไอน้ำผ่านขึ้นมา เอาผ้าขาวบางปากหม้อประมาณ

2 นิ้ว เพื่อให้ไอน้ำผ่านออกมาได้ จากนั้นละเลงแป้งลงบนผ้าและทำข้าวแคบ นำน้ำแป้งที่เตรียมไว้
 ละเลงแป้งลงบนผ้าขณะที่มีไอน้ำเดือดอยู่ (คล้ายทำข้าวเกรียบปากหม้อ) ไว้ประมาณ 30 วินาที เปิด
 ฝาทิ้ง ถ้าจะทำให้เป็นแผ่นวงกลมบาง ๆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้ว ปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ
 30 วินาที เปิดฝาทิ้ง



ภาพที่ 4 การทำแผ่นแป้ง

1.4.5 การดัดแผ่นแป้ง

ถ้าทำเป็นข้าวแคบ หลังจากสุกและเปิดฝาทิ้งออก ให้ใช้ไม้ไผ่ปลายแหลมแซะ
 ด้านข้างด้านใดด้านหนึ่งแล้วนำไม้ไผ่กลม ๆ ซึ่งพันด้วยพลาสติกมารอไว้มือหนึ่งขมึนขอบแป้ง
 ด้วยไม้ปลายแหลม พาดต้นไม้ไผ่เพื่อดัดแป้งออกจากผ้า



ภาพที่ 5 การดัดแผ่นแป้ง

1.4.6 การตากแผ่นแป้ง

นำไปตากบนแผงหญ้าคา ผึ่งแดดให้แห้งแล้วจึงแกะวางเรียงซ้อนกันทำเป็นมัด ๆ ถ้าทำเป็นข้าวพัน ให้ใช้ไม้ไผ่ปลายแหลมอันเล็กๆ แซะด้านข้างแล้วม้วนให้ติดไม้ออกมา วางบนใบตองหรือใ้จาดึงไม้ออก จะได้ข้าวพัน 1 พัน



ภาพที่ 6 การตากแผ่นแป้ง

1.4.7 การตากแดด

เมื่อวางเรียงแผ่นแป้งแล้ว ตากแดดให้แห้ง ประมาณ 2 วัน



ภาพที่ 7 การตากแห้งแผ่นแป้ง

1.4.8 ย่างแผ่นแป้ง

นำแผ่นข้าวแคบที่ได้ไปย่างกับเตาถ่านหรือนำไปทอดจนเหลืองทั่วพร้อม
รับประทาน



ภาพที่ 8 การย่างแผ่นแป้ง

1.4.9 ผลิตภัณฑ์ข้าวแคบ



ภาพที่ 9 ผลิตภัณฑ์ข้าวแคบสำเร็จรูป



ภาพที่ 10 ผลิตภัณฑ์ข้าวพันผัก

1.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับการผลิตข้าวแคบ

1.5.1 ความหมายที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

ข้าวแคบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าว เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียวมาแช่น้ำโคลกหรืออบคให้ละเอียดเติมส่วนประกอบอื่น เช่น เกลือ น้ำตาล งา พริก ผักชี ผสมให้เข้ากันนำมาทำเป็นแผ่นบางบนผ้า นึ่งให้สุกแล้วทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น

1.5.2 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นแผ่นบาง แห้ง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน อาจแตกหักหรือมีรูเล็กๆ ได้บ้างเล็กน้อย

1.5.3 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวแคบ

1.5.4 กลิ่น

ต้องมีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของข้าวแคบ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 1.5.15.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนนจากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

1.5.5 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

1.5.6 วอเตอร์แอคทิวิตี (Water Activity)

ต้องไม่เกิน 0.8

หมายเหตุ: วอเตอร์แอคทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสปอร์ของจุลินทรีย์

1.5.7 วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้สีหรือวัตถุกันเสีย ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด

1.5.8 จุลินทรีย์

ก. นานจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ข. บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ค. ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

1.5.9 สุขลักษณะ

สุขลักษณะในการทำข้าวแคบ ให้เป็นไปตามคำแนะนำตาม GMP

1.5.10 การบรรจุ

ให้บรรจุข้าวแคบในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

1.5.11 น้ำหนักสุทธิหรือจำนวนแผ่นของข้าวแคบในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

1.5.12 เครื่องหมายและฉลาก

ก. ที่ภาชนะบรรจุข้าวแคบทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- 1) ชื่อผลิตภัณฑ์
- 2) ส่วนประกอบที่สำคัญ
- 3) ชนิดและปริมาณของวัตถุเจือปนอาหาร (ถ้ามี)
- 4) น้ำหนักสุทธิหรือจำนวนแผ่น
- 5) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า "ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี) "
- 6) ข้อแนะนำในการบริโภคและเก็บรักษา
- 7) ชื่อผู้ทำหรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

1.5.13 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ก. รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ข้าวแฉกที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำในระยะเวลาเดียวกัน

ข. การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

1) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุและเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 1.5.5 ข้อ 1.5.10 และข้อ 1.5.12 จึงจะถือว่าข้าวแฉกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี และกลิ่นให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 1.5.13.2 (1) แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 1.5.2 ถึงข้อ 1.5.4 จึงจะถือว่าข้าวแฉกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบวอเตอร์แอคทีวิตี และวัตถุเจือปนอาหารให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 100 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 1.5.6 และข้อ 1.5.7 จึงจะถือว่าข้าวแฉกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

4) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 100 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.7 จึงจะถือว่าข้าวแฉกรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.5.14 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างข้าวแฉกต้องเป็นไปตามข้อ 1.5.13.2(1) ข้อ 1.5.13.2(2) ข้อ 1.5.13.2(3) และข้อ 1.5.13.2(4) ทุกข้อ จึงจะถือว่าข้าวแฉกรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

1.5.15 การทดสอบ

ก. การทดสอบลักษณะทั่วไป สีและกลิ่น

1) ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบข้าวแควอย่างน้อย 5 คนแต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

2) วางตัวอย่างข้าวแควลงบนจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและดม

3) หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตาม ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์การให้คะแนนมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

(ข้อ (1.5.2))

ลักษณะที่ ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ต้องเป็นแผ่นบาง แห้ง ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน อาจแตกหักหรือมีรูเล็ก ๆ ได้บ้างเล็กน้อย	4	3	2	1
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของข้าวแคว	4	3	2	1
กลิ่น	ต้องมีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของข้าวแคว ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน	4	3	2	1

ที่มา: ปิยวรรณ (2547)

ข. การทดสอบสิ่งแปลกปลอมภาชนะบรรจุและเครื่องหมายและฉลากให้
ตรวจพินิจ

ค. การทดสอบวอเตอร์แอกทิวิตี ให้ใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี ที่ควบคุม
อุณหภูมิที่ (25 ± 2) องศาเซลเซียส

ง. การทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธี
ทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

จ. การทดสอบจุลินทรีย์ ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BA หรือวิธี
ทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

ฉ. การทดสอบน้ำหนักสุทธิหรือจำนวนแผ่น ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสมหรือ
ใช้วิธีนับ

1.6 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตข้าวแคบ

การผลิตข้าวแคบส่วนใหญ่เป็นการผลิตในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน ซึ่งขั้นตอนการ
ผลิตต้องใช้น้ำจำนวนมาก โดยใช้ในขั้นตอนของ การล้างทำความสะอาด การแช่ข้าว การไม่เปียก
การต้มข้าว การนึ่ง และการล้างเครื่องอุปกรณ์การผลิต โดยน้ำทั้งดังกล่าวมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก
ส่งผลให้ค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่วัดอยู่ในรูปความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) สูงมากกว่า
20,000 mg/L นอกจากนั้นยังมีการใส่สารเคมีเพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิต ซึ่งสารเคมีที่ใช้ได้แก่
เกลือ น้ำเสียที่ใช้ในกระบวนการผลิต จะถูกทำให้ไหลมารวมกัน แล้วไหลลงสู่ระบบบำบัดของแต่ละ
โรงงาน นอกจากนี้ น้ำเสียจะมีลักษณะสีขาวขุ่น มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์
ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 3.3-4.5 สำหรับปริมาณน้ำเสียต่อหน่วยการผลิตที่มีค่าไม่
แน่นอนขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

2. กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การดำเนินการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำ ให้อยู่ในสภาพที่มี
ความเหมาะสมพอที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรองรับน้ำเสียนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วในธรรมชาติจะ
มีการปรับสภาพน้ำเสียให้ดีขึ้นได้ ถ้าปริมาณความสกปรกของน้ำเสียไม่มากจนเกินไป แต่ในปัจจุบัน
จำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณน้ำใช้มีมากขึ้นตามไปด้วย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้
น้ำเสียเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมากขึ้น (พัฒนา, 2539)

การบำบัดน้ำเสียมีวิธีการบำบัด 4 วิธี คือ การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และ กระบวนการทางกายภาพ-เคมี ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่าย ซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก ปกติ จะใช้บำบัดเป็นขั้นแรกโดยใช้ตะแกรง แยกสิ่งปฏิกูลชิ้นใหญ่ๆ ออกก่อน เช่น กิ่งไม้ ถูพลาสติก เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียทางเคมีเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด-เบสสูงๆ โดยการเติมสารไปทำให้เกิดการตกตะกอน สารที่เติมลงไป เช่น $Al_2(SO_4)_3$ และ $FeCl_3$ เป็นต้น นอกจากนี้กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) การรวมตะกอน (Flocculation) ก็เป็นวิธีการทางเคมีเช่นกัน การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นการอาศัยหลักการใช้อินทรีย์ต่างๆ มาทำการย่อยสลายเปลี่ยนอินทรีย์สาร แบคทีเรียที่เลือกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มที่ 1 เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจน ได้แก่ ระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge, AS) ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นพวกไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2.1 กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพ เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณ 50-65% ส่วนเรื่องการแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD5) ประมาณ 20-30% เท่านั้น วิธีการต่างๆ ในกระบวนการนี้มีหลายวิธี เช่น การคัดด้วยตะแกรง เป็นการแยกเศษขยะต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสีย เช่น เศษไม้ ถูพลาสติก กระดาษ ตะแกรงมีหลายขนาด การคัดด้วยตะแกรงจึงเป็นการแยกขั้นตอนแรกในการบำบัดน้ำเสีย การคัดย่อย คือ การใช้เครื่องตัดทำลายเศษขยะขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง การกวาด เป็นการกำจัดน้ำมันและไขมันโดยทำการคัดหรือกวาดออกจากน้ำเสีย การทำให้ลอย จะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ การตกตะกอน เป็นการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเรื่องแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ

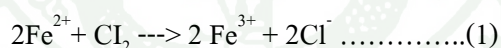
2.2 กระบวนการทางเคมี

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด ด่างสูงๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงใน

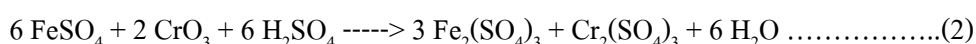
น้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้เมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ ดังนี้

2.2.1 การทำให้เกิดตะกอน อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถ แยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ โดยสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่างๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) เกลือเหล็ก (FeCl_3 , FeSO_4) และเกลือของแคลเซียม ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี

2.2.2 การเกิดออกซิเดชันทางเคมี อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ให้แก่สารเคมีที่เติมลงไป ในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังสมการที่ (1)



2.2.3 การเกิดรีดักชันทางเคมี เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรือไอออน ของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) ในสภาพที่เป็นกรดดังสมการที่ (2)



2.2.4 การสะเทิน เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (pH < 7 ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมีฤทธิ์

เป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2.3 กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพ (biological process) เป็นการอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์ต่างๆ มาทำการย่อยสลายเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ดีที่สุดในแง่ของการลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ แต่หลักการนี้เลือกสภาวะแวดล้อมให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ โดยสัมพันธ์กับปริมาณของจุลินทรีย์ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย แบคทีเรียที่เลือกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) และแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria)

2.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี

กระบวนการทางกายภาพ-เคมี เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสีย ที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนอื่นแล้ว เช่น กระบวนการดังต่อไปนี้

2.4.1 การดูดซับด้วยถ่าน วิธีการนี้ใช้ผงถ่านหรือคาร์บอนเป็นตัวดูดซับสารเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง

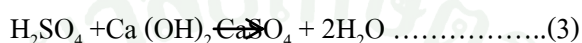
2.4.2 การแลกเปลี่ยนประจุ วิธีการนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียดับตัวกลางที่บรรจุซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยจะมีการถ่วงน้ำหนักภายใน

3. การบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายประเภท สิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของโรงงาน การบำบัดจึงยุ่งยากซับซ้อน และเสียค่าใช้จ่ายสูง ทั้งนี้เพราะขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสิ่งที่เจือปนในน้ำเสีย เช่น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ในกรณีของสารอินทรีย์ การบำบัดจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ ลดอุณหภูมิของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียนั้นมีอุณหภูมิสูง ปรับความเป็นกรด-เบสให้เหมาะสม ก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบ

กำจัดต่อไป ระบบการกำจัดแบบไร้อากาศ เป็นการกำจัดโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไร้อากาศ ระบบการกำจัดแบบให้อากาศ กำจัดได้ โดยวิธีการทางเคมี ซึ่งวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมีดังนี้ (สิทธิชัย, 2541)

3.1 การทำสะเทิน ใช้บำบัดน้ำทิ้งที่มีลักษณะสมบัติเป็นกรด-เบสอย่างแรงโดยใช้สารเคมี เช่น ใช้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาสะเทินน้ำทิ้งที่มีกรดกำมะถันดังสมการที่ (3)



3.2 การปรับสภาพ เป็นการกักเก็บน้ำทิ้งที่มาจากแหล่งต่างๆซึ่งอาจมีคุณลักษณะต่างกันไว้ในบ่อเดียวกัน และเมื่อระยะเวลาผ่านไป จะทำให้น้ำทิ้งมีคุณลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งทำให้ง่ายต่อการบำบัด

3.3 การตกตะกอน ใช้ในการขจัดพวกตะกอนหนักของสารต่างๆให้ออกจากน้ำทิ้ง โดยลดความเร็วของการไหลของน้ำทิ้งลงจนถึงค่าหนึ่งที่ตะกอนหนักทั้งหลายสามารถแยกตัวออกจากน้ำทิ้งจมลงสู่ก้นถังแยกตะกอน

3.4 การรวมตัวและการสมานตะกอน ใช้สารเคมีบางชนิดใส่ลงไปในน้ำทิ้ง แล้วเกิดสารที่มีลักษณะเหนียวอยู่ เรียกว่า "ฟล็อก" มีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อถูกพัดพาไปสัมผัสกับตะกอนแขวนลอยทั้งหลาย จะดูดตะกอนเหล่านั้นติดผิวไว้ เมื่อตะกอนเข้ามารวมตัวกับฟล็อกมากๆ ก็จะมีน้ำหนักสามารถแยกตัวออกจากน้ำจมลงสู่ก้นถังแยกตะกอนได้

3.5 การทำให้ตกตะกอน ใช้ในการขจัดสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ เช่น สาร อนินทรีย์ โลหะหนัก โดยใส่สารเคมีบางชนิดลงไปในน้ำทิ้ง สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการขจัดออกกลายเป็นตะกอน ถ้าตะกอนนั้นหนักพอก็จะแยกออกจากน้ำได้ด้วยน้ำหนักของตะกอนเอง แต่ถ้าตะกอนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก จะต้องผ่านการรวมและการสมานตะกอนก่อน

4. การลดความเป็นกรดของน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนด้วยหินปูน

4.1 หลักการสะเทิน

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ นั้น กระบวนการปรับพีเอชของน้ำเสียนับว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญมากกระบวนการหนึ่ง ซึ่งการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางจะเรียกว่า การสะเทิน

การที่สารละลายหรือของเหลวใดๆ มีฤทธิ์เป็นกรด เนื่องจากว่าสารละลายนั้นแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน และถ้าสารละลายหรือของเหลวใดๆ มีฤทธิ์เป็นด่างเนื่องจากสารละลายนั้นแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ดังนั้นจึงสามารถบอกค่าความเป็นกรด หรือความเป็นด่างของของเหลวได้ด้วยค่าพีเอช ซึ่งพีเอชมีค่าเท่ากับ $-\log [H^+]$ เมื่อ $[H^+]$ คือค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจน ไอออนในหน่วยโมลต่อลิตร สำหรับการสะเทินนั้นเป็นการปรับสภาพของของเหลวให้เป็นกลาง คือ มีพีเอชเท่ากับ 7 ซึ่งแสดงว่าของเหลวจะมีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากัน ในการสะเทินนั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารกรด หรือสารด่างลงไปในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้สารละลายหรือของเหลวนั้นมีสภาพเป็นกลาง และจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้แก่ลือกับน้ำ ดังสมการที่ (4)



4.2 ความสำคัญของกระบวนการสะเทิน

จากปัญหามลพิษทางน้ำที่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน สาเหตุของปัญหาล้วนใหญ่มาจากการปล่อยน้ำเสียจากแหล่งต่างๆลงสู่แหล่งน้ำ โดยที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อน และแหล่งกำเนิดน้ำเสียเหล่านี้กำลังเพิ่มจำนวนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกันตามไปตามแต่ละประเภทหรือชนิดของโรงงานนั้นๆ ปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย คือ ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ดังนั้นขั้นตอนการสะเทินน้ำเสียที่มีสภาพความเป็นกรดหรือด่างมากจนเกินไปจึงมีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ มักมีช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ของการบำบัด

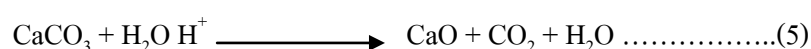
4.3 กระบวนการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน

หินปูน (CaCO_3) เป็นหินชั้นชนิดหนึ่ง พบอยู่ในทุกภาคของประเทศไทย แหล่งที่มีการผลิตในปริมาณมาก คือ แหล่งหินปูนในจังหวัดสระบุรี นครศรีธรรมราช เพชรบุรี นครสวรรค์ และกาญจนบุรี

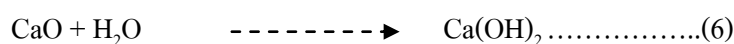
หินปูนมีส่วนประกอบทางเคมีชนิดต่างๆ ดังนี้ SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , MgO , MgCO_3 , CaO , CaO_3 , AlO_3 และ Na_2O ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ CaO เป็นสิ่งสำคัญต่อหินปูนมาก เพราะเป็นตัวบ่งชี้ว่าหินปูนนั้นบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด และ CaO_3 จะเป็นตัวบ่งชี้ในการนำหินปูนนั้นไปใช้อุตสาหกรรมชนิดใด

เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก การนำหินปูนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียไม่จำเป็นที่จะต้องทำให้หินปูนอยู่ในรูปผง หรือในรูปของสารละลายก่อน ในกรณีที่ใส่หินปูนมากเกินไปหินปูนจะทำหน้าที่เป็นตัวฟลอปเปอร์ทำให้น้ำที่ผ่านการสะเทินแล้วมีค่าพีเอชไม่เกิน 8 ดังนั้นการใช้หินปูนมากเกินไปย่อมไม่มีผลเสียต่อการบำบัดน้ำเสีย แต่การใช้หินปูนในการบำบัดน้ำเสียสภาพกรด ไม่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ H_2SO_4 มากกว่า 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะจะเกิดสาร CaSO_4 มากเกินไป ทำให้ไปปกคลุมบริเวณผิวหินปูนจนหมดประสิทธิภาพในการปรับพีเอช และน้ำเสียที่มีอลูมิเนียม (Al^{+3}) หรือ (Fe^{+3}) มากจะเกิดปัญหาเช่นเดียวกัน คือเกิดตะกอนเคมีไฮดรอกไซด์ของ Al หรือ Fe ปกคลุมก้อนหินปูน

การบำบัดน้ำเสียด้วยหินปูนเป็นปฏิกิริยาที่ใช้เฉพาะแคลเซียมคาร์บอเนตในหินปูนเท่านั้น เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมคาร์บอเนตในหินปูน จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถและอายุการใช้งานของหินปูนในการบำบัดน้ำเสีย จากการวิจัยและการศึกษาพบว่าหินปูนสามารถลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำได้ ลดสถานะความเป็นกรดต่าง โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำทิ้ง โดยใช้หินปูนหรือ CaCO_3 จะทำให้ความสามารถของการละลายของโลหะหนักลดลง ตกตะกอนแยกจากสารละลายได้ กล่าวคือ เมื่อสารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ไหลผ่านหินปูน CaCO_3 จะเกิดปฏิกิริยา ดังสมการที่ (5)



โดย CaO จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำในสารละลาย ดังสมการที่ (6) (7)



Ca(OH)_2 ที่เกิดขึ้น จะแตกตัวให้ OH^- ไอออนซึ่งจะทำให้พีเอชของสารละลายที่เป็นกรดถูกสะเทิน (neutralized) ทำให้พีเอชสูงขึ้น ไอออนของโลหะหลายชนิด เช่น ตะกั่ว (Pb),ปรอท (Hg), แคดเมียม (Cd), นิกเกิล (Ni), ทองแดง (Cu) มีความสามารถในการละลายลดลง จึงตกตะกอน แยกจากสารละลาย สารละลายที่ไหลผ่าน CaCO_3 ข้างต้นจะมีพีเอชที่ถูกสะเทิน ใกล้เคียงกับแหล่งน้ำธรรมชาติ และมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษลดลง เป็นการช่วยลดปริมาณสารที่ก่อมลพิษก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน

ในการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูนนั้น มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการสะเทิน เช่น เปอเซนต์ของแคลเซียมคาร์บอเนตในหินปูน จะเป็นตัวกำหนดความสามารถและอายุการใช้งานของระบบสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน พื้นที่ผิวสัมผัสของหินปูน เป็นปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน ลักษณะของน้ำเสียกรด เป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน อัตราเร็วของปฏิกิริยา ตลอดจนคุณภาพน้ำที่ผ่านการสะเทินแล้ว และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาการสะเทินจะเกิดได้เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูน

5. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ

เรียกว่า ตัวดูดซับ คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลง ในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

5.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

5.1.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

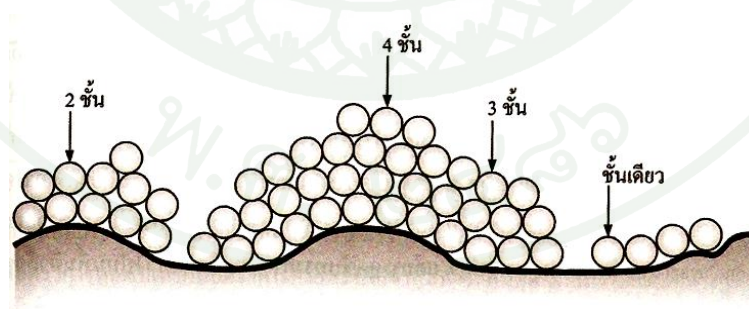
5.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

5.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับดูดติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

5.2 รูปแบบของการดูดซับ

สำหรับรูปแบบการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

5.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption หรือ Van Der Waals Adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงได-โพลไดโพล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันหลายชั้น (Multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 11 เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวตัวถูกดูดซับด้วย ในระหว่างชั้นอาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไป จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลง เป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรภาพมากขึ้น



ภาพที่ 11 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้นและสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

5.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมี มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโคเวเลนต์) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณที่จำเพาะเจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าวจะเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ ประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรี ต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20 – 100 กิโลแคลอรี ต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

5.3.1 ความดัน ความดัน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันของระบบ ถ้าน้ำมีความดันต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับ จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าความดันสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

5.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

5.3.3 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดิ (พอดิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูด

ระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

5.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดซับได้ดี

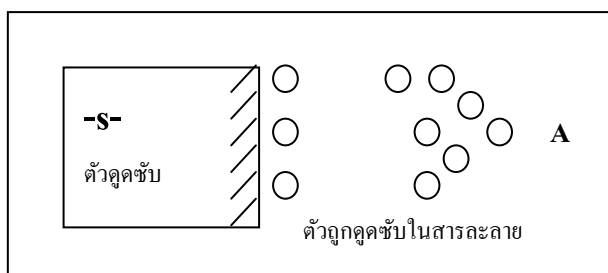
5.3.5 pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

5.3.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

5.3.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

5.4 สมดุลการดูดซับ

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้นในช่วงเริ่มต้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย สถานะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

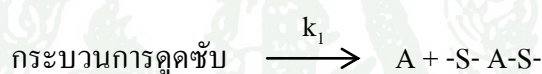
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมลต่อลิตรในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

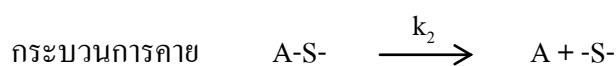
(1-q) เป็นสัดส่วน โมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

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



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$r_2 = k_2(q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

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

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

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

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



ณ สภาวะสมดุล



$$K = \frac{q}{C}$$

$\dots\dots\dots(9)$

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

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

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม หรือ โมลต่อกรัม

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม กรัม หรือ กิโลกรัม

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลิตร

C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายหน่วยเป็นความเข้มข้นเป็นโมลาร์

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็นโมลาร์

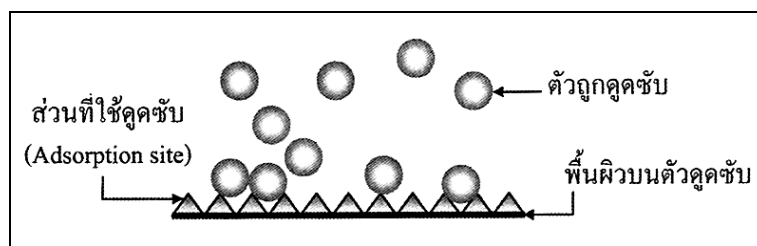
5.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล กับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับการดูดซับ ไอโซเทอร์มที่นิยมใช้กัน ได้แก่ สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) และสมการแบบฟรุนดลิช (Freundlich)

5.5.1 สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์

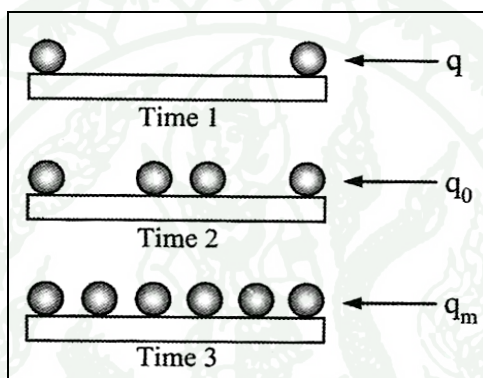
สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวถูกดูดซับ แต่ละโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว แต่ละพื้นผิวของตัวถูกดูดซับมีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน ดังภาพที่ 13 ตัวถูกดูดซับมีพลังงานในการดูดซับเหมือนกัน และโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเกิดข้ามพื้นผิวหรือไม่สามารถเกิดขึ้นกับโมเลกุลที่อยู่ติดกันได้ (Faust and Aly, 1987)

พื้นผิวตัวถูกดูดซับจะปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว ดังภาพที่ 14 (ถูกดูดซับได้มากที่สุด)



ภาพที่ 13 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 14 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (8) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่ง รูปแบบของสมการแลงเมียร์ จะใช้สมการที่ (8) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

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

เมื่อจัดรูปสมการที่ (11) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

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

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

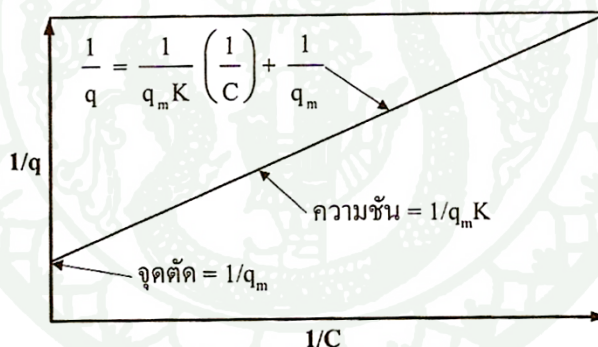
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

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

จุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

5.5.2 สมการการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich Isotherm)

สมการแบบฟรุนดิชมีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง มีรูปแบบดังสมการที่ (13)

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

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

เมื่อจัดรูปสมการที่ (13) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

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

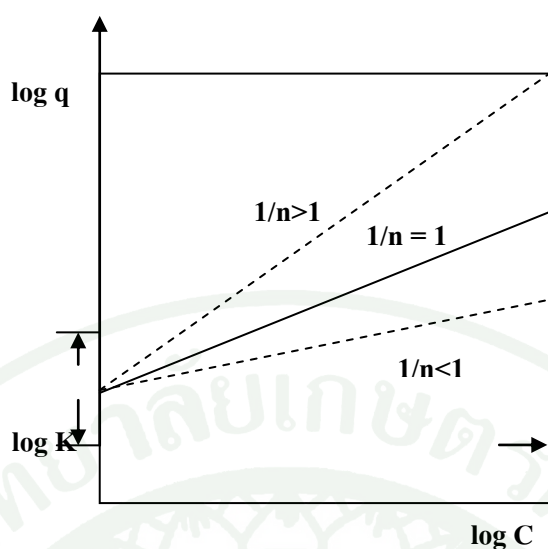
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

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



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

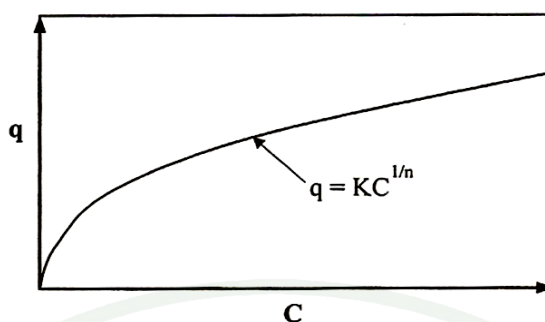
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

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

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

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกลักษณะความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่ามีพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (14) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้ ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนด์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

5.6 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ

5.6.1 ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอควิเวเตดซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์ อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

5.6.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

5.6.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษ ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

5.6.4 วัสดุชีวภาพ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีเลือบ ไคโตซาน กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว เปลือกไม้ ถั่วแกลบดำ เป็นต้น

5.6.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

6. ถ่านกะลามะพร้าว

กะลามะพร้าวเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นแอคติเวตเตดคาร์บอน กะลามะพร้าวเป็นวัสดุพื้นบ้านที่พบได้ทั่วไป เพราะในประเทศไทยใช้มะพร้าวในการประกอบอาหารเป็นประจำ และจำนวนมาก ทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ประโยชน์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันที่ชาวบ้านนำมาใช้คือ นำมาเป็นเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่โดยไม่ทราบถึงคุณค่า โดยเฉพาะนำมาทำ แอคติเวตเตดคาร์บอน ดังนั้นการนำถ่านกะลามะพร้าวมาใช้เป็นตัวดูดซับร่วมกับวัสดุปลูกจึงมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแบบเทคโนโลยีอย่างง่าย เพราะมีราคาถูก และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำประโยชน์ (อวยพร, 2531)

6.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว

ถ่านกะลามะพร้าวเป็นถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีลักษณะเป็นเกล็ดเกรด PHO 8x30 (ผ่านการทดสอบมาตรฐานตาม American Society for Testing and Material, ASTM) ดังภาพที่ 18 การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 18 ถ่านกะลามะพร้าว

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว

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

6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากถ่านกะลามะพร้าว

จากลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านกะลามะพร้าว ทำให้ถ่านกะลามะพร้าวถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดกลิ่น (Deodorization) การดูดสี (Deocolorization) การลดสารคลอรีน (Dechlorination) และการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น

เพ็ญจันทร์ (2553) ศึกษาการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำเสียด้วยถ่านกกกลม และถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ พบว่า ถ่านกกกลมปริมาณ 5 กรัมและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ปริมาณ 4 กรัมมีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่พีเอช 5 ความเร็วรอบการเขย่า 100 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 30 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที และความเข้มข้นของ ฟอर्मัลดีไฮด์ 20 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 66.00 และ 42.70 ซึ่งสามารถกำจัดฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งของบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บุญยา (2555) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงใบผักตบชวาและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ในการดูดซับสีข้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาออยดุง พบว่า ผงใบ

ผักตบชวา 1 กรัม สามารถดูดซับสีย้อมได้ 6 ชนิด ร้อยละการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 55.43 ในขณะที่ถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์ 5 กรัม สามารถดูดซับสีย้อมได้ 9 ชนิด ร้อยละการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 93.04

อวยพร (2531) ศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่น สี ระดับน้ำสูญเสีย และระยะเวลาการกรองของถังกรอง ที่ใช้ทรายและถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าวเพียงอย่างเดียว พบว่าความขุ่นของน้ำที่กรองได้เฉลี่ย 1 NTU โดยเป็นเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นโดยเฉลี่ยมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดสี อยู่ในช่วง 30%-50% ระยะเวลาในการกรองมีค่าระดับน้ำสูญเสีย 1.50 เมตร และระยะเวลาในการกรองที่ได้มากกว่าถังกรองที่ใช้ทรายอย่างเดียวไม่น้อยกว่าสองเท่า

Amuda *et al.* (2007) ศึกษาการกำจัดโลหะหนัก จากน้ำเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม โดยใช้ถ่านกะลามะพร้าว พบว่าการดูดซับ zinc (II) มีลักษณะการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนมากกว่าฟรอนดิช ดังนั้นจึงเป็นการดูดซับที่ผิวแบบชั้นเดียว

7. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติช่วยธรรมชาติด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย อาศัยกระบวนการทำงานร่วมกันระหว่าง ดิน น้ำและพืช โดยทำการปลูกพืชที่ทนน้ำท่วมขังได้ในดินที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินนา 3 ส่วน ต่อทราย 1 ส่วนให้มีเนื้อดินเป็นดินร่วน เพื่อช่วยเพิ่มการซึมซาบและการระบายน้ำ เมื่อทำการขังน้ำเสียแล้ว จุลินทรีย์ในดินจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ และธาตุอาหารให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2543)

7.1 กระบวนการบำบัดด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นมลสารหลัก จะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจน (O_2) ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อการหายใจและถูกใช้ให้หมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องเติมออกซิเจนแก่ระบบ โดยอาศัยกระบวนการ Thermo-Osmosis โดยพืชที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะน้ำท่วมขังได้ ซึ่งใบอ่อนของพืชจะมีความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนจากบรรยากาศ ผ่านกาบใบมาปลดปล่อยบริเวณรากขนอ่อน ทำให้บริเวณรอบราก มีออกซิเจนแพร่ออกมา ส่งผลให้ในบริเวณรอบรากพืชมีทั้งการเจริญเติบโตทั้งในด้านชนิด และปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายเพิ่ม

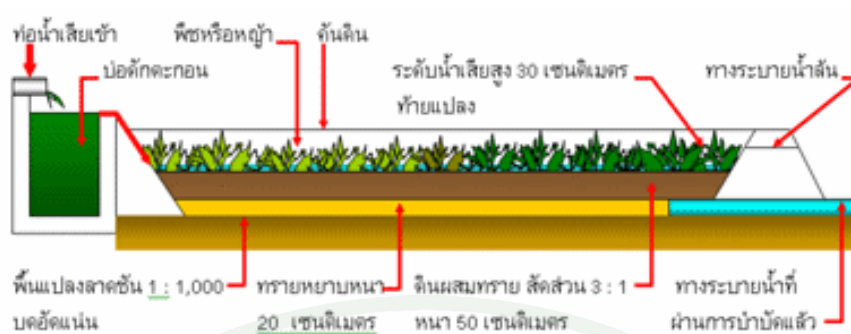
มากขึ้น สารประกอบอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะถูกแบคทีเรียบริเวณรอบรากพืช และแบคทีเรียในดินย่อยสลายเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้พืชเจริญเติบโต

นอกจากนี้ในส่วนของน้ำเสียที่ขังอยู่บริเวณผิวดินก็มีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนด้วยเช่นกัน โดยอาศัยแบคทีเรียที่ลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ เพื่อให้แมลงก้นตื้นพืช สหรัยและพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อการเจริญเติบโตและปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาละลายน้ำ ให้แบคทีเรียไว้ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป

7.2 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย

7.2.1 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นระบบที่ให้พืชช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ที่พืชต้องการของจุลินทรีย์ในดิน การปลดปล่อยออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากระบบราก สหรัย และแมลงก้นตื้น โดยการปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านแปลงพืชหรือหญ้า โดยน้ำเสียจะไหลผ่านผิวดินและต้นพืชหรือหญ้าเป็นระยะทางอย่างน้อย 50 เมตร ระดับความสูงของน้ำเสียที่กักขังบริเวณท้ายแปลงเท่ากับ 30 เซนติเมตร ชั่งน้ำเสียสูง 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 วันสลับปล่อยแห้ง 2 วัน ดังภาพที่ 19 เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินมีโอกาสดักจับ และ ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบ โดยปล่อยระบายน้ำทางระบบท่อใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับพืชและหญ้าที่ใช้ในการบำบัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ หญ้าอาหารสัตว์ ได้แก่ หญ้าคาลา หญ้าโคสโครอส และหญ้าสตาร์ พืชทั่วไป ได้แก่ ฐปถาญี กกกลม (กกจันทบูรณ) และหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย เมื่ออายุของหญ้าและพืชครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะตัดหญ้านั้นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ หญ้าที่ตัดออกเหล่านี้สามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ส่วนพืชทั่วไปนำไปใช้ในการจักสานได้เป็นอย่างดี

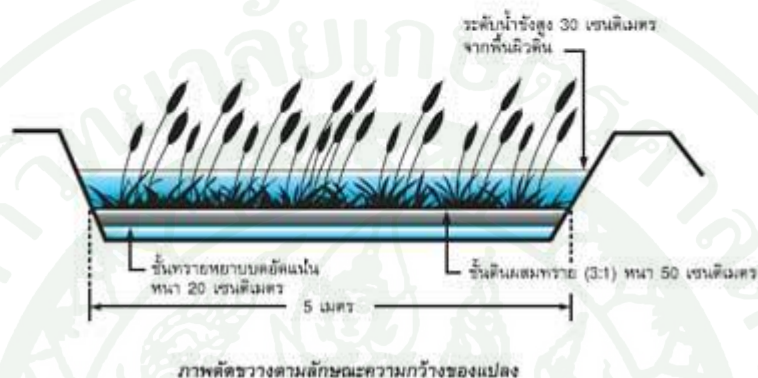


ภาพที่ 19 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองและหญ้ากรอง

ที่มา: มุลนิธิชัยพัฒนา (2543)

7.2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม อาศัยการปล่อยน้ำเสียไหลต่อเนื่องในระบบ โดยขังน้ำเสียสูง 30 เซนติเมตร และควบคุมอัตราการไหลให้น้ำเสียมีระยะเวลาการกักพักภายในระบบ 24 ชั่วโมง โดยพืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย คือ กกกลม (กกจันทบูรณ) และ ธูปฤาษี ดังภาพที่ 20 ซึ่งช่วยในการบำบัดน้ำเสีย อาศัยการปลดปล่อยแก๊ซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย อีกทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน และระยะเวลาการกักพักเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 20 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ที่มา: มุลินรัชชัยพัฒนา (2543)

ก. ฐูปฤาณี (*Typha angustifolia* Linn.)

เป็นวัชพืชล้มลุก อายุประมาณ 2 ปี สูงประมาณ 1.5 - 2 ม. เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ อยู่ในวงศ์ Typhaceae มีระบบรากที่ดี ช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้น สวนไม้ผลต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ใบเหนียวนิ่มใช้มุงหลังคา ใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า เชือก ขอดอ่อนกินได้ทั้งสด และทำให้สุก ในการป้องกันกำจัดฐูปฤาณี ควรทำก่อนออกดอก จะดีที่สุด เมล็ดมีการแพร่ระบาดได้ดีโดยลมและน้ำได้ง่าย การตัดต้นขนาดใหญ่ ควรตัดให้ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ และฐูปฤาณีสามารถกำจัดในโตรเจนจากน้ำเสียในทีละกลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กก. ต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

ข. กกกลมหรือกกจันทบูรณ (Cyperus Corymbosus Rottb.)

เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ลักษณะลำต้นกลม เฉพาะลำต้นส่วนปลายใกล้ๆ กับดอกเท่านั้นที่จะเป็นสามเหลี่ยม ลำต้นสีเขียวเข้มเป็นมัน สูงประมาณ 1 ถึง 2 เมตร อยู่ในวงศ์Cyperaceae ลักษณะของลำต้นแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ลำต้นใต้ดิน มีลักษณะเป็นแง่งสั้นๆ หรือเหง้า เรียกว่า Rhizome ลำต้นที่ทอดยาวอยู่บนพื้นดิน มีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็กสีน้ำตาล ซึ่งมีความยาวตามชนิดของกก เรียกว่า Stolon บางครั้งลำต้นส่วนนี้จะบวมโตขึ้นเป็นที่สะสมอาหารแต่ขยายพันธุ์ไม่ได้ ลำต้นที่มีก้านยาว สีเขียว ชูขึ้นไปในอากาศ เรียกว่า Arial Stem

7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากรูปฤาษี และกกกลม

ปวีณา (2552) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี ด้วยระบบดินน้ำขัง 5 วัน สลับแห้ง 2 วันร่วมกับรูปฤาษี โดยปลูกในแปลงดิน ใช้น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 และ 2 มาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในแปลงที่มีรูปฤาษีและแปลงที่ไม่มีรูปฤาษี พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และซีโอดี ที่ใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อผึ่งที่ 1 ในแปลงที่มีรูปฤาษี มีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อผึ่งที่ 2 ในแปลงที่มีรูปฤาษี และแปลงที่มีรูปฤาษีสามารถบำบัดได้ดีว่าแปลงที่ไม่มีรูปฤาษี ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ใช้น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อผึ่งที่ 1 ร่วมกับแปลงการปลูกรูปฤาษีเพื่อบำบัดค่าบีโอดีและซีโอดี เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดและยังสามารถนำรูปฤาษีไปใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

จุฑามาศ (2554) ได้ศึกษาผลการใช้กกกลม รูปฤาษี และพุทธรักษา ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้าราชบุรี โดยทำการคัดเลือกพืชบำบัดน้ำทิ้งของโรงไฟฟ้าราชบุรี ด้วยวิธีพืชบำบัดเลือกพืช 3 ชนิดคือ กกกลม รูปฤาษี และพุทธรักษา โดยใช้แปลงควบคุมขนาด 1x10x1 เมตร พบว่ารูปฤาษีมีแนวโน้มเหมาะสมมากที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งโรงไฟฟ้าราชบุรี

8. ดินที่ใช้ในการศึกษา

8.1 ดินเหนียว

ดินเหนียว เนื้อดินประกอบด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป มีอนุภาคขนาดทราย ร้อยละ 45 หรือน้อยกว่า และมีอนุภาคขนาดทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 40 ดินเหนียวเป็น

ดินที่มีเนื้อละเอียด ในสภาพดินแห้งจะแตกออกเป็นก้อนแข็งมาก เมื่อเปียกน้ำแล้วจะมีความยืดหยุ่น สามารถปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ เหนียวเหนอะหนะติดมือ เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี แต่สามารถอุ้มน้ำ คูดึด และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดี เหมาะที่จะใช้ทำนาปลูกข้าว เพราะเก็บน้ำได้นานเนื้อดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดินเหนียว และดินเหนียวปนทราย

8.2 ดินทราย

ดินทราย เป็นดินที่มีอนุภาคขนาดทรายเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 85 ลักษณะโดยทั่วไปจะเกาะตัวกันหลวมๆ และมองเห็นเป็นเม็ดเดี่ยวๆ ได้ถ้าสัมผัสดินที่อยู่ในสภาพแห้งจะรู้สึกสากมือ เมื่อลองกำดินที่แห้งนี้ไว้ในอุ้งมือแล้วคลายมือออกดินก็จะแตกออกจากกันได้ แต่ถ้ากำดินที่อยู่ในสภาพชื้นจะสามารถทำให้เป็นก้อนหลวมๆ ได้ แต่พอสัมผัสจะแตกออกจากกันทันที ดินทรายเป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดีมาก แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะความสามารถในการคูดึดธาตุอาหารพืชน้อย พืชที่ขึ้นบนดินทรายจึงมักขาดทั้งธาตุอาหารและน้ำ เนื้อดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดินทราย ดินทรายปนดินร่วน และดินร่วนปนทราย

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานข้าวแคว

ปิยธิดา (2544) โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งข้าว ที่มีกำลังการผลิตเดิมวันละ 190 ตัน/วัน มีปริมาณน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี 3,555 มก./ล วันละ 1,000 ลบ.ม. ใช้วิธีการบำบัด น้ำเสียในบ่อเปิด 5 บ่อที่ประกอบด้วยบ่อบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ 3 บ่อ บ่อบำบัดแบบใช้ อากาศ 1 บ่อ และบ่อพักน้ำ 1 บ่อ จากปัญหาเรื่องกลิ่นต่อชุมชน และเสถียรภาพของบ่อ ที่เนื่องมาจาก Shock Load ประกอบกับ โรงงานต้องการขยายกำลังการผลิตแป้งข้าวเพิ่ม ขึ้นเป็น 375 ตัน/วัน และมีปริมาณน้ำเสีย 2,000 ลบ.ม./วัน ซึ่งระบบเดิมไม่สามารถ รับได้ โรงงานจึงได้ทำการปรับปรุงระบบบำบัดเดิม โดยการเพิ่มระบบบำบัดแบบเปิด (Anaerobic Fixed Film : AFF) ขนาด 5,200 ลบ.ม. เพื่อรับน้ำเสียที่ออกมาจาก กระบวนการผลิตน้ำที่ออกมาจากระบบ AFF จะถูกบำบัดในบ่อเปิด 5 บ่อที่มีอยู่เดิม ผลการศึกษา พบว่า การเพิ่ม ระบบบำบัดแบบเปิดสามารถรองรับน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์ 12,964 กก.-ซีโอดี/วัน (ก่อนขยายโรงงานมีภาระสารอินทรีย์ 3,555 กก.-ซีโอดี/วัน) ได้โดยประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีมีค่า 98% น้ำที่ออกจากบ่อสุดท้ายมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ pH 8, COD 175 มก./ล., Alkalinity 500 มก./ล., TKN 8 มก./ล. และ BOD 35 มก./ล. จากการศึกษาประสิทธิภาพ

ของระบบ AFF โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ใน ช่วงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2543-มีนาคม พ.ศ. 2544 พบว่าระบบ AFF สามารถกำจัดสาร อินทรีย์ในรูปซีโอดีได้ถึง 85%

สุดารัตน์ (2553) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสและบีโอดีในน้ำเสียโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีในโรงงานอุตสาหกรรมเส้นไหม พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ความเร็วรอบการกวนช้า 20 รอบต่อนาที นาน 20 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 60 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 190-230 และ 9-10.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่า pH คือ 6, 5, 7 และ 6 ตามลำดับ และ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดบีโอดี มีค่า pH คือ 7, 6, 8 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นำค่าสภาวะที่เหมาะสมมาใช้ทดลองกับน้ำเสียก่อนเข้าและออกจากระบบ UASB ของโรงงานอุตสาหกรรมเส้นไหม พบว่าสามารถกำจัดบีโอดีและฟอสฟอรัส คือ 90% และ 99.7% ตามลำดับ

อานันต์ (2544) การประเมินปริมาณของเสียและมลสารที่เกิดขึ้น โดยการสำรวจและเก็บตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทแป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้ง ในพื้นที่เป้าหมาย ประเมินได้ว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น ประมาณ 2,240 ลบ.ม./วัน คิดเป็นปริมาณมลสารในรูปซีโอดีและสารประกอบไนโตรเจน ประมาณ 6,840 Kg/COD/วัน และ 230-680 KgTKM/วัน ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของเสีย (Treatability study) เพื่อผลิต ก๊าซชีวภาพพบว่าของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทแป้งและ ผลิตภัณฑ์จากแป้ง สามารถถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็น ก๊าซชีวภาพได้ดี และพบว่าน้ำเสียรวม มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ได้ร้อยละ 70 และประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.4-0.5 ลบ.ม./KgCOD Removal โดยมีมีเทนร้อยละ 70 เป็นองค์ประกอบใน ก๊าซชีวภาพ

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, Turbidity-Meter, Digital TDS-Meter and EC-Meter
- 1.4 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 1.5 คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร สูง 33 เซนติเมตร พร้อมแคมป์และขาตั้งใช้สำหรับการทดลองแบบไหลผ่านต่อเนื่อง
- 1.6 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ Whatman
- 1.7 กะบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 51×51×54 เซนติเมตร สำหรับใช้ในเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

2. สารเคมี

- 2.1 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$) Grade AR
- 2.2 เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (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 อินดิเคเตอร์เฟอโรอิน (Ferroin) Grade AR
- 2.5 เมอร์คิวริกซัลเฟต (Mercuric sulfate; $HgSO_4$) Grade AR

2.6 ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) Grade AR

2.7 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline monohydrate; $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) Grade AR

2.8 ไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) Grade AR

2.9 เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (FAS) Grade AR

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

4. วัสดุปลูก เช่น ดินนา เป็นดินเหนียวปนทราย กรวด ทรายหยาบ และทรายละเอียด

5. พืชที่ใช้บำบัดมี 2 ชนิด คือ กกกลม และรูปฤาษี

6. น้ำเสียจากโรงงานข้าวแคว

7. หินปูน จากจังหวัดสระบุรี

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.10 N

อบโพแทสเซียมไดโครเมต ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งอย่างละเอียด 4.91 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร เติมเมอร์คิวริกซัลเฟต 33.30 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

1.2 กรดซัลฟิวริกเจเนต

ซังซัลเวอร์ซัลเฟต 10.11 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร กวนช้าๆ จนซัลเวอร์ซัลเฟต ละลายหมด

1.3 สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต 1.48 กรัม และไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.69 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N

ซังเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 39.20 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งก่อนนำไปใช้

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์

2.1 ปิเปตสารละลายสีแพลตทินัม-โคบอลต์ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00, 18.00 และ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตรแต่ละขวด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ ความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00, 50.00, 60.00, 70.00, 80.00, 90.00 และ 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.2 นำสารละลายมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ จากข้อ 2.1 มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสง (แกนตั้ง) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแพลตทินัม-โคบอลต์ (แกนนอน)

3. การเตรียมถ่านกะลามะพร้าว

นำถ่านกะลามะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิดไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

4. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานข้าวแฉะ

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สี (color) ความขุ่น (turbidity) ความเค็ม (salinity) สภาพการนำไฟฟ้า (conductivity) ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) อุณหภูมิ (temperature) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

5. ศึกษาสถานะการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน

ชั่งหินปูน 60 กิโลกรัม แข่งขันในน้ำเสีย 60 ลิตร ในแต่ละการทดลอง บั๊จจัยที่ศึกษาได้แก่ ระยะเวลาการบำบัด และอายุการใช้งานของหินปูน

5.1 ระยะเวลาการบำบัดหรือการแข่งขันน้ำเสีย ทำการวัดค่าพีเอชของน้ำเสียที่ปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนทุกวัน จนค่าพีเอชคงที่ใกล้เคียงกับสภาวะที่เป็นกลางหลังจากนั้น นำน้ำเสียที่ผ่านการลดสภาพการลดความเป็นกรดด้วยหินปูนมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และเก็บรักษาน้ำเสียในตู้เย็น เพื่อนำน้ำเสียไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 21 บันทึกระยะเวลาที่ใช้



ภาพที่ 21 การลดสภาพความเป็นกรดของน้ำเสียด้วยหินปูน

5.2 อายุการใช้งานของหินปูน โดยการใช้หินปูนชุดเดิมแช่ขังในน้ำเสีย ทำการทดลองจนประสิทธิภาพการเพิ่มพีเอชลดลง หรือใช้ระยะเวลาจนเกินไปจนน้ำเสียเน่าเสียเพิ่มขึ้น

6. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบเบตซ์

ทำการทดลองโดยวิธีแบบเบตซ์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว ระยะเวลาที่ใช้บำบัด และไอโซเทอร์มของการดูดซับ ทำการทดลองดังนี้

6.1 ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว ทำการชั่งถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการอบเพื่อไล่ความชื้น ปริมาณ 4,5,6,7,8,9,10,11 และ 12 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เติมน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรดจากข้อ 5 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในแต่ละขวดเขย่าและตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำน้ำที่กรองได้ไปตรวจวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีไอดี

6.2 ระยะเวลาที่ใช้บำบัด ชั่งถ่านกะลามะพร้าวในปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 6.1 ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 6.1 โดยแปรผันระยะเวลาที่ใช้บำบัดเป็นชั่วโมง คือ ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ชั่วโมง และแปรผันระยะเวลาที่ใช้บำบัดเป็นวัน คือ ตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน

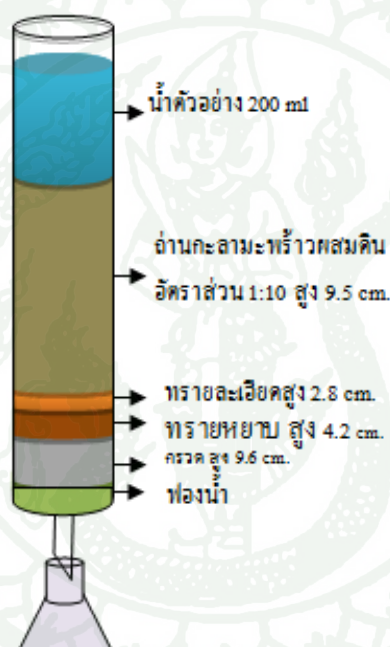
6.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ ของถ่านกะลามะพร้าวว่ามีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ หรือแบบฟรุนดลิช โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6.1 โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับที่ศึกษาได้จากข้อ 6.2 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มการดูดซับ

7. ศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

อัตราส่วนระหว่างถ่านต่อดินที่ศึกษา คือ 1:10, 1:20, 1:30, 1:40 และ 1:50 และปริมาตรน้ำเสียที่ใช้แต่ละการทดลองเท่ากับ 50 มิลลิลิตร และระยะเวลาการแช่เท่ากับ 5 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง คุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ก่อนและหลังการบำบัดคือ ค่าซีไอดี ความขุ่น และสี และคำนวณหาร้อยละการบำบัด เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี ความขุ่น และสีของแต่ละการทดลอง

8. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง

8.1 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 33 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 4.45 เซนติเมตร ทรายหยาบ 1.90 เซนติเมตร ทรายละเอียด 1.27 เซนติเมตร และ ถ่านกัมมันต์ผงผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้จากข้อ 8 สูง 16.50 เซนติเมตร ดังภาพที่ 25 ซึ่ง การบรรจุเป็นการจำลองและเลียนแบบพื้นที่เพาะปลูกระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหญ้ากรอง น้ำเสียแบบน้ำไหลได้ผิวดินของโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ



ภาพที่ 22 คอลัมน์ที่บรรจุชั้นวัสดุปลูกสำหรับการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

8.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และหญ้ากรองน้ำเสีย

8.2.1 การบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมทำโดยจางค์น้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรด 200 มิลลิกรัมในคอลัมน์ ตามจำนวนชั่วโมงที่ศึกษาได้จากการทดลองแบบเบตซ์ ข้อที่ 6.2 ปล่อยน้ำเสียออก นำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัด ทำการทดลองซ้ำจนกระทั่งประสิทธิภาพการบำบัดลดลงจากเดิมประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

8.2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบหล้ากรองน้ำเสียทำโดยขังน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรด 200 มิลลิลิตรตามจำนวนวันที่ศึกษาได้จากการทดลองแบบเบตซ์ข้อที่ 6.2 ปล่อยน้ำเสียนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัด และปล่อยให้ชั้นวัสดุปลูกแห้ง 2 วันจึงทำการเติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ทำการทดลองเช่นเดิมจนกระทั่งประสิทธิภาพการบำบัดลดลงจากเดิมประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

8.3 ชุดควบคุม ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 8.2.1 และ 8.2.2 แต่เปลี่ยนจากการใช้น้ำเสียเป็นน้ำกลั่นแทนในการทดลอง เพื่อใช้เป็นชุดควบคุมผลการทดลองของวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง

9. การจำลองการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหล้ากรองน้ำเสียโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (Filtrated Lysimeter Technique)

9.1 ทำการทดลอง โดยใช้กระบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 51×51×54 เซนติเมตร บรรจุกรวดสูง 7 เซนติเมตร ทราบหยาบ 3 เซนติเมตร ทราบละเอียด 2 เซนติเมตร และชั้นดินนาปนทรายผสมถ่านกะลามะพร้าวสูง 30 เซนติเมตร ปลูกพืช 2 ชนิด คือ ต้นกกกลม และรูปฤาษี โดยปลูกชนิดละกระบะ ดังภาพที่ 23 คูแลงนพืชเจริญเติบโตจนแข็งแรง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 23 กระบะปลูกต้นกกกลม (ก) และรูปฤาษี (ข) สำหรับเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

9.2 เติมน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรดด้วยหินปูน 20 ลิตร ลงในกระเบะ ปล่อยทิ้งไว้ 5 วัน ปล่อยน้ำออกทางด้านล่างของกระเบะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด มาหาประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี และปล่อยให้ชั้นวัสดุปลูกแห้ง 2 วัน เติมน้ำเสีย ทำการทดลอง เช่นเดิมจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือมีสภาวะคงที่

9.3 วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากข้อ 10.2 เช่นเดียวกับข้อ 4

9.4 ชุดควบคุม ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 10.1 และ 10.2 แต่เปลี่ยนจากการใช้น้ำเสีย เป็นน้ำกลั่นแทนในการทดลอง เพื่อศึกษาว่ามีการชะล้างสิ่งเจือปนออกจากชั้นวัสดุปลูกหรือไม่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

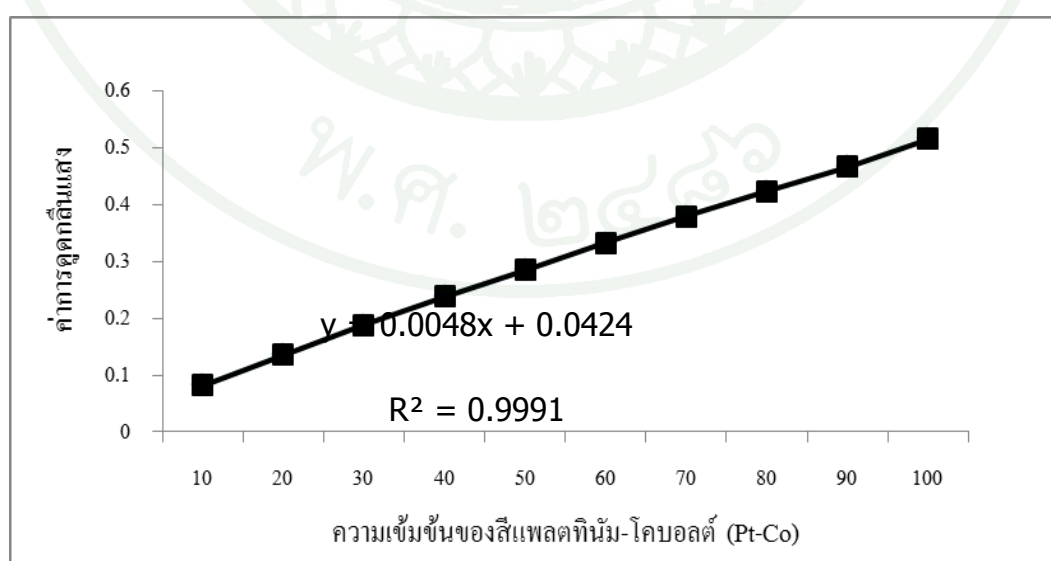
9.5 รวบรวมข้อมูล ประเมิน และวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบด้วยการปรับสภาพด้วยหินปูน ร่วมกับระบบบำบัดแบบธรรมชาติ 2 แบบคือระบบหมุนกรองน้ำเสีย และพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ได้ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 9 ส่วน ดังนี้ คือ ส่วนที่ 1 เป็นการเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีแพลตทินัม-โคบอลต์ ที่ 2 เป็นผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบก่อนได้รับการบำบัด ส่วนที่ 3 เป็นการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน ส่วนที่ 4 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวด้วยวิธีแบบแบดซ์และไอโซเทอร์มของการดูดซับ ส่วนที่ 5 เป็นผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด ส่วนที่ 6 เป็นการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง ส่วนที่ 7 เป็นเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก ส่วนที่ 8 เป็นการศึกษาชุดควบคุมโดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนที่ 9 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบ

1. กราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์

กราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์ที่เตรียมจากการทดลองข้อที่ 2 มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง สมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 0.0048x + 0.0424$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9991 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟมาตรฐานสีแพลตทินัม-โคบอลต์

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานข้าวแค้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานข้าวแค้น ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่าน้ำเสียมีลักษณะเด่นคือ มีความเป็นกรดสูง พีเอชเท่ากับ 3.3 และมีซีโอดีและบีโอดีสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม (ฝ่ายตรวจและบังคับการ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) แสดงว่าน้ำเสียมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มาก ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานข้าวแค้นควรได้รับการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานข้าวแค้น กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

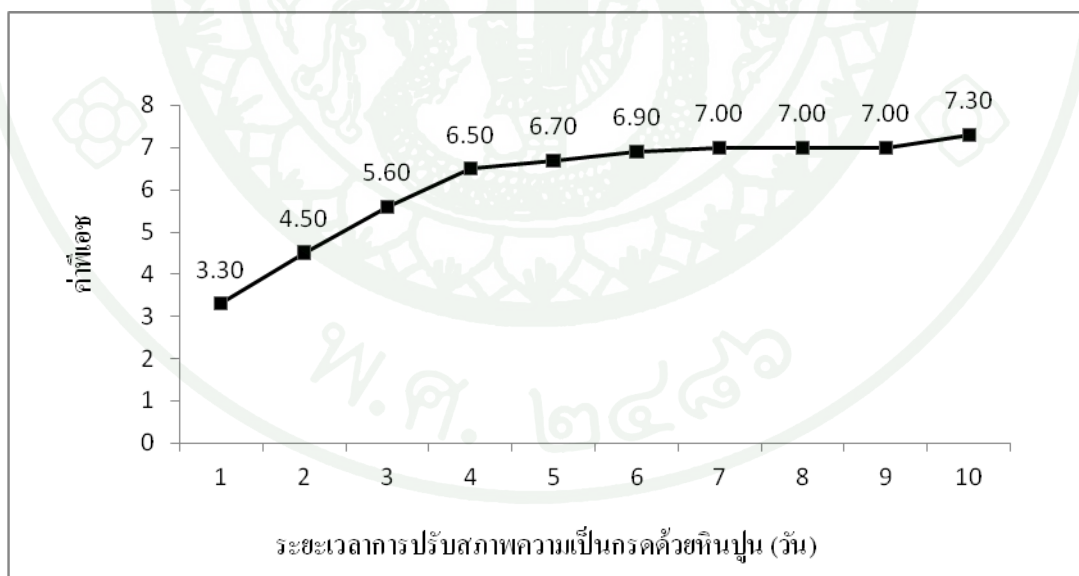
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำ โรงงานข้าวแค้น	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม
พีเอช	3.3	5.5 – 9.0
ดี (Pt-Co Unit)	128.67	5-15*
EC ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)	309	-
TDS (mg/L)	198	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (mg/L)	0	2,000
ความขุ่น (NTU)	149	-
ซีโอดี (mg/L)	1260	ไม่เกิน 120
บีโอดี (mg/L)	262	ไม่เกิน 20
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	28.8	ไม่เกิน 40

* มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค

3. การปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำเสียจากโรงงานข้าวแควด้วยหินปูน

3.1 ระยะเวลาในการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานข้าวแควมีความเป็นกรด พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3.3 ในการศึกษา ระยะเวลาการแช่ขังหินปูนในน้ำเสียด้วยอัตราส่วนระหว่างหินปูน 60 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 60 ลิตร และทำการวัดพีเอชทุกวันพบว่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกจากนั้นจะ เริ่มคงที่ที่พีเอชเท่ากับ 7.0 ตั้งแต่วันที่ 7 เป็นต้นไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระยะเวลาการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนเท่ากับ 7 วัน เนื่องจากเป็นค่าพีเอชที่เป็นกลาง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากที่สุด และจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการลดสภาพด้วยหินปูน พบว่ามีค่าสีเท่ากับ 172.42 Pt-Co Unit ความขุ่นเท่ากับ 286 NTU และซีโอดี เท่ากับ 400 mg/l ดังนั้นแสดงว่าการแช่ขังน้ำเสียด้วยหินปูนมีประสิทธิภาพในการลดความเป็นกรด ทำให้ค่าพีเอชอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม สำหรับค่าสี และความขุ่นยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องอาศัยการบำบัดในขั้นตอนต่อไป

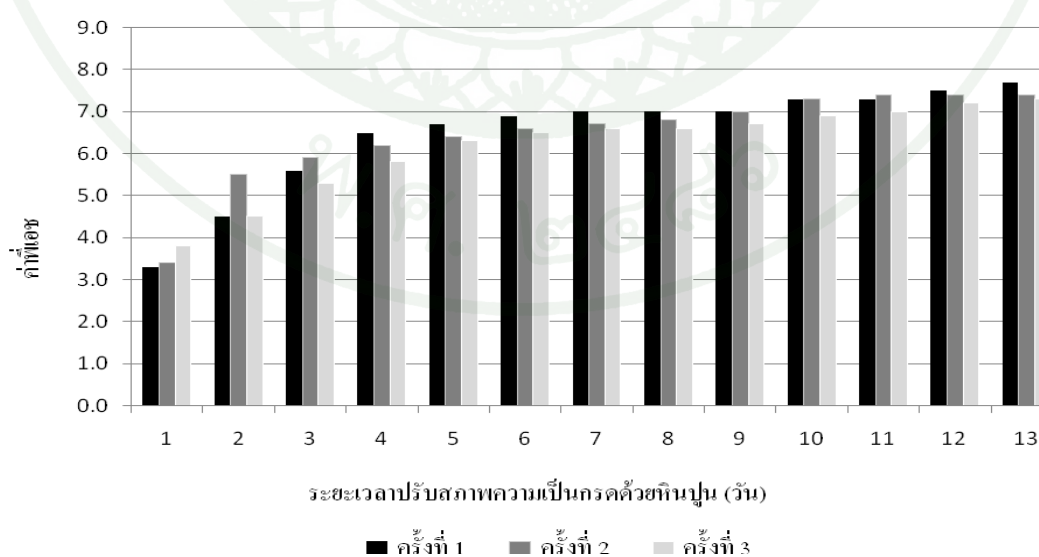


ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนกับพีเอชของน้ำเสีย

3.2 อายุการใช้งานของหินปูน

จากการใช้หินปูนแช่ขังน้ำเสียอัตราส่วนของหินปูน 60 กิโลกรัม ต่อน้ำเสีย 60 ลิตร พบว่าการแช่ขังน้ำเสียครั้งแรกใช้ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดประมาณ 7 วัน ค่าพีเอชจึงเท่ากับ 7 และเมื่อมีการใช้หินปูนชุดเดิมปรับสภาพความเป็นกรดซ้ำหลายครั้ง พบว่าต้องใช้ระยะเวลาการปรับสภาพพีเอชนานขึ้น ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณหินปูน เป็นอัตราส่วน 2:1 เพื่อให้ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดสั้นลง ดังนั้นแสดงว่าเมื่อจำนวนครั้งการใช้งานหินปูนเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพของหินปูนจะลดลง ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดนานขึ้น ดังตัวอย่างการบันทึกผลการศึกษาระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน จำนวน 3 ครั้ง ดังภาพที่ 26 พบว่า ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำเสีย ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น ในครั้งที่ 1 ใช้ระยะเวลาการแช่ขัง 7 วัน ครั้งที่ 2 ใช้ระยะเวลาการแช่ขัง 9 วัน และครั้งที่ 3 ใช้ระยะเวลาการแช่ขัง 11 วัน ค่าพีเอชจึงเข้าสู่สภาวะเป็นกลางที่พีเอชเท่ากับ 7.0 นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดใช้ระยะเวลานาน จะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณหินปูนดังที่กล่าวข้างต้น

นอกจากนี้ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดของหินปูน ยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และลักษณะของน้ำเสียที่แตกต่างกัน รวมถึงปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในหินปูนที่ลดลง จึงส่งผลให้ระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรด-เบสแต่ละครั้ง มีระยะเวลาไม่คงที่

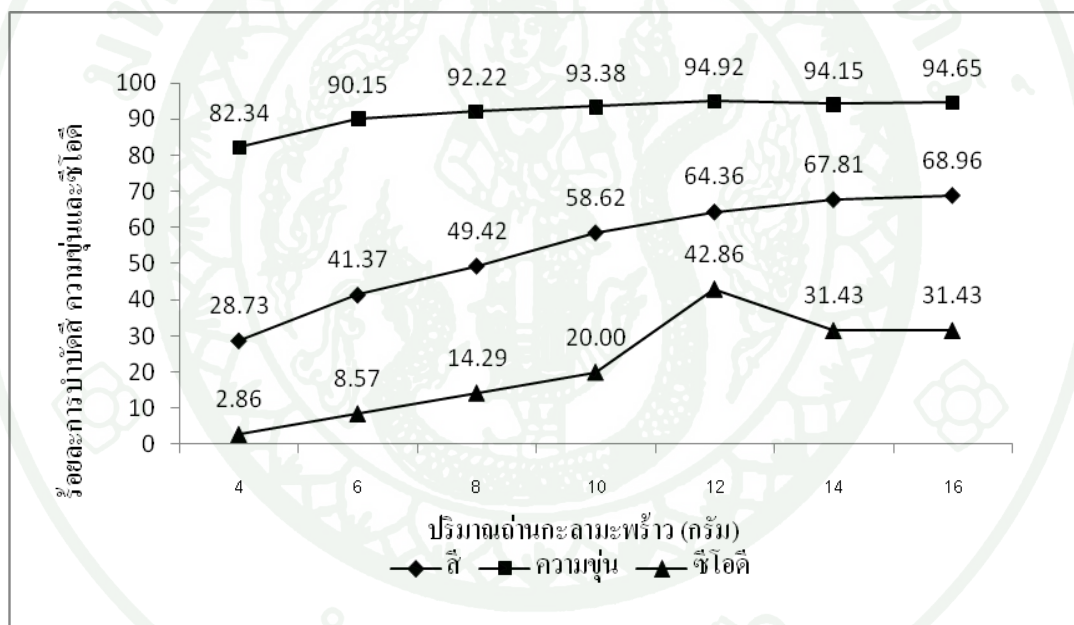


ภาพที่ 26 ค่าพีเอชระยะเวลาการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน

4. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวด้วยวิธีแบบเบตซ์ และไอโซเทอร์มของการดูดซับ

4.1 ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

เนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดกลืน การดูดสี และการกำจัดสารอินทรีย์ ในน้ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จากการแปรผันปริมาณถ่านกะลามะพร้าวตั้งแต่ 4 จนถึง 16 กรัม ต่อน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยหินปูน 50 มิลลิลิตร พบว่าที่ปริมาณถ่าน 12 กรัม ให้ประสิทธิภาพ ในการบำบัดสีร้อยละ 64.36 ความขุ่นร้อยละ 94.92 และซีไอดีร้อยละ 42.86 ซึ่งเป็นปริมาณที่ให้ ประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุด ดังภาพที่ 27

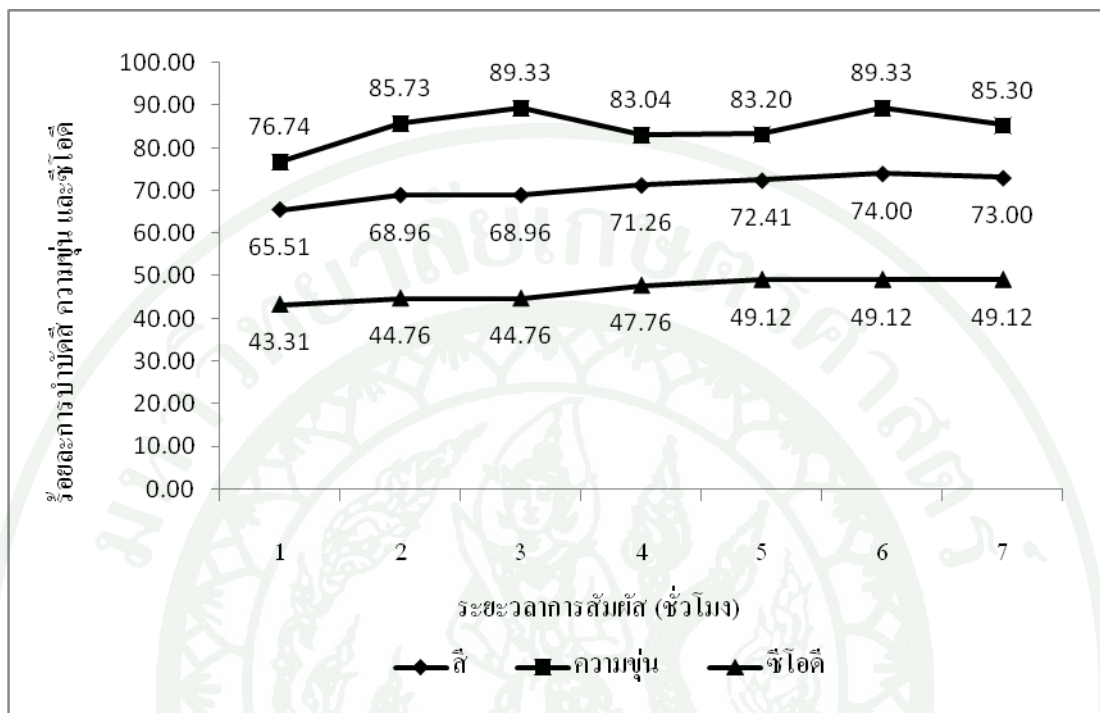


ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีไอดีกับปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

4.2 ระยะเวลาการสัมผัส

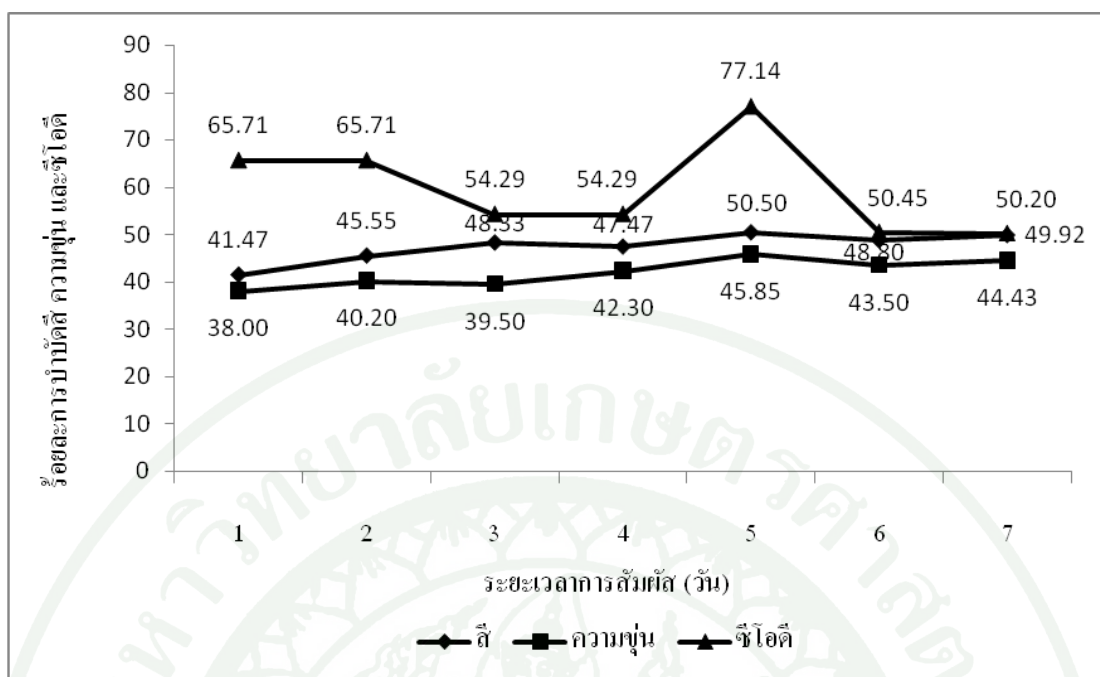
จากการศึกษาระยะเวลาสัมผัสทั้งที่เป็นชั่วโมงและวัน พบว่าที่ระยะเวลาสัมผัส 1-7 ชั่วโมง การกำจัดสี ความขุ่น และซีไอดีมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการบำบัดซีไอดี ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีสภาวะคงที่ โดยพบว่า

ชั่วโมงที่ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดที่ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 74.00, 89.33 และ 49.12 ตามลำดับ
 ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดท้อง ตับ และไตกับระยะเวลาการสัมผัส

ส่วนระยะเวลาการสัมผัส 1-7 วันพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดท้อง ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการบำบัดไตประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 1-5 จากนั้นจะเริ่มลดลงจนมีสภาวะคงที่ เนื่องจากเกิดการคายขับ โดยพบว่าที่ 5 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดท้อง ความชุ่มชื้น และไตดีที่สุดที่ร้อยละ 50.50, 45.85 และ 77.14 ตามลำดับ ดังภาพที่ 29



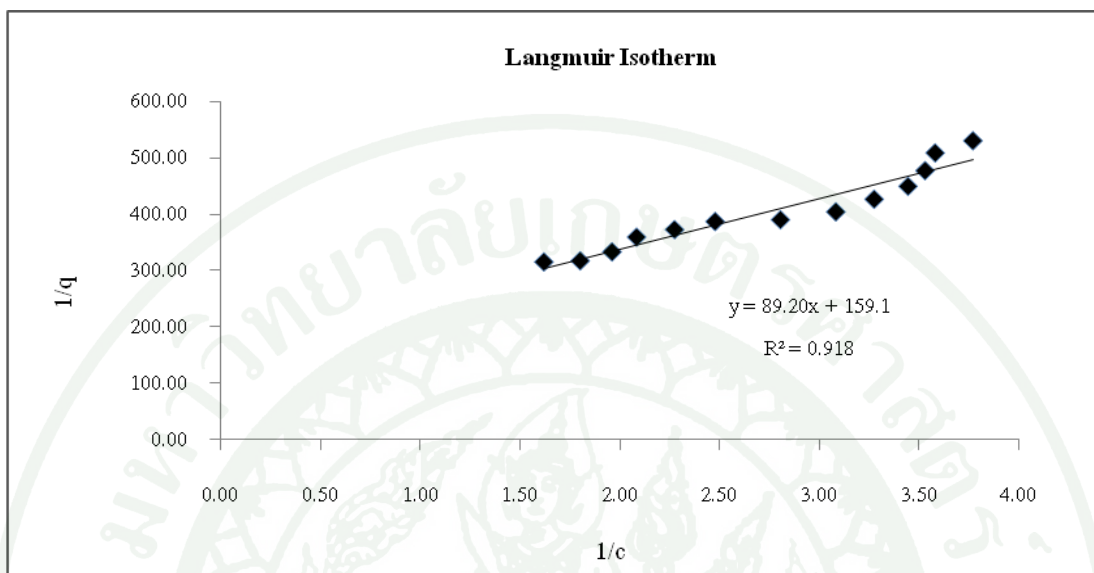
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดดี ความดัน และซีไอดีกับระยะเวลาการสัมผัส

จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้มีผลสารมีโอกาสสัมผัส หรือถูกดูดซับด้วยถ่าน กะลามะพร้าวมากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับมีปริมาณจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับหรือมลสารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้อัตราการดูดซับคงที่ และอาจมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการคายซับ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาการสัมผัส 5 วันนั้นสามารถ บำบัดบีไอดี ซีไอดี สารอินทรีย์ละลายและสารอินทรีย์แขวนลอย (อาภรณ์, 2539) รวมถึงการบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (จันทวรรณ, 2539)

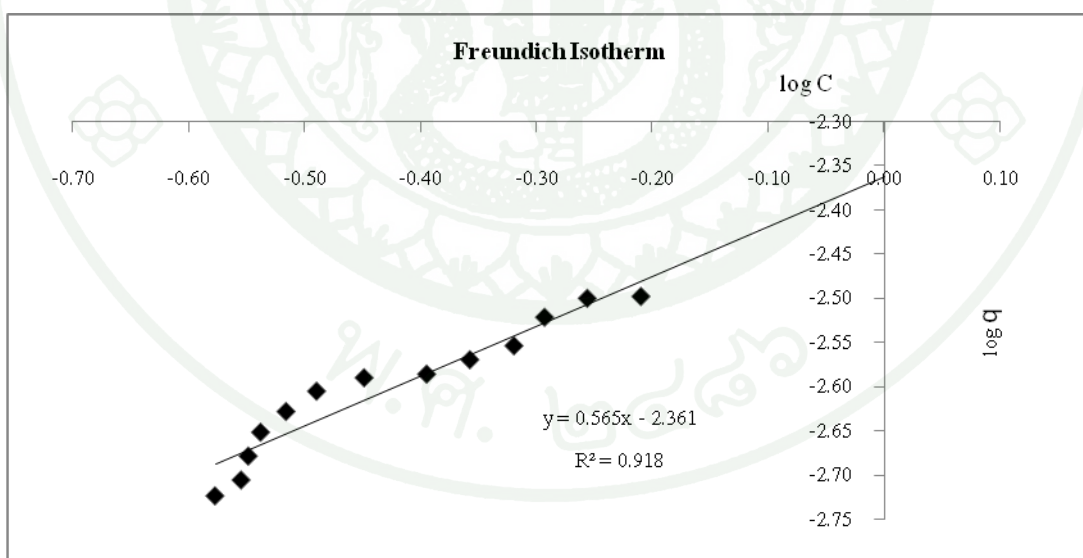
4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และฟรุนดิช (Freundlich Isotherm) ได้กราฟดังภาพที่ 30 และภาพที่ 31 ตามลำดับ ได้สมการเชิงเส้นถดถอย คือ $y = 89.20x + 159.1$ และ $y = 0.565x - 2.361$ ตามลำดับ และ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.918 และ 0.9307 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้น กลไกการดูดซับจึงสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของทั้งแลงเมียร์และฟรุนดิช โดยการดูดซับแบบแลงเมียร์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน และแบบฟรุนดิช เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะ

ถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)



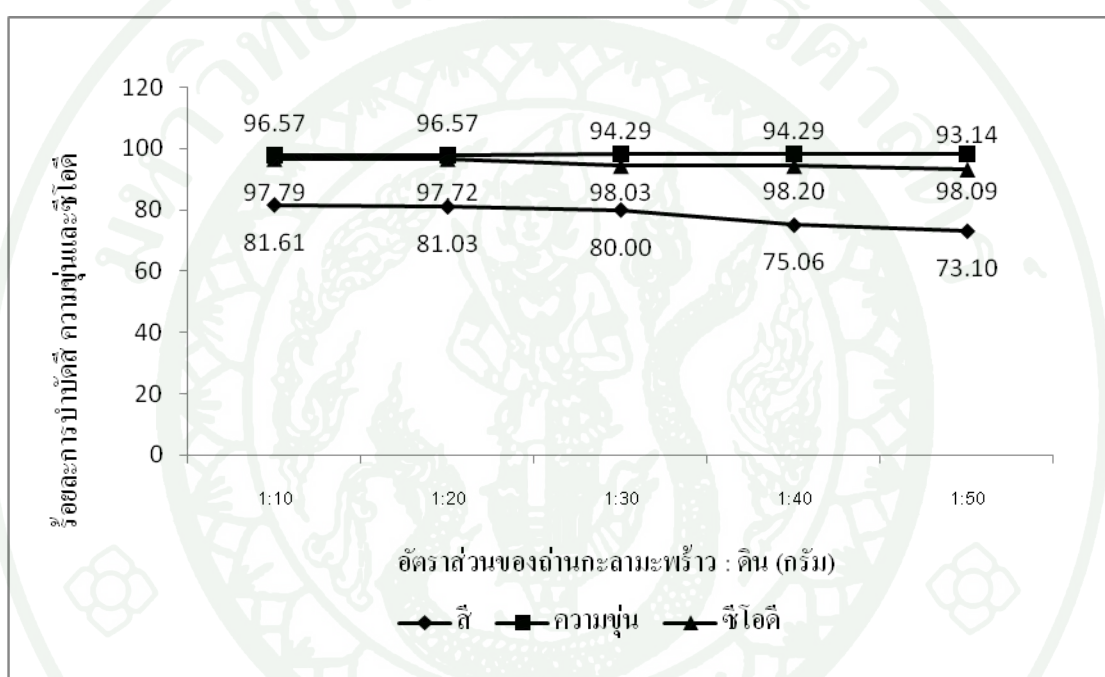
ภาพที่ 30 ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวแบบแลงเมียร์



ภาพที่ 31 ไอโซเทอร์มการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวแบบฟรุนดิช

5. การศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด

จากผลการทดลองแบบเบตซ์ โดยแปรผันอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าว ต่อดินในอัตราส่วน 1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 ผสมกับน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรด 50 มิลลิลิตรพบว่า ทุกอัตราส่วนที่ศึกษาให้ประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี ดีที่สุดที่ร้อยละ 81.61, 97.79 และ 96.57 ตามลำดับดังภาพที่ 32



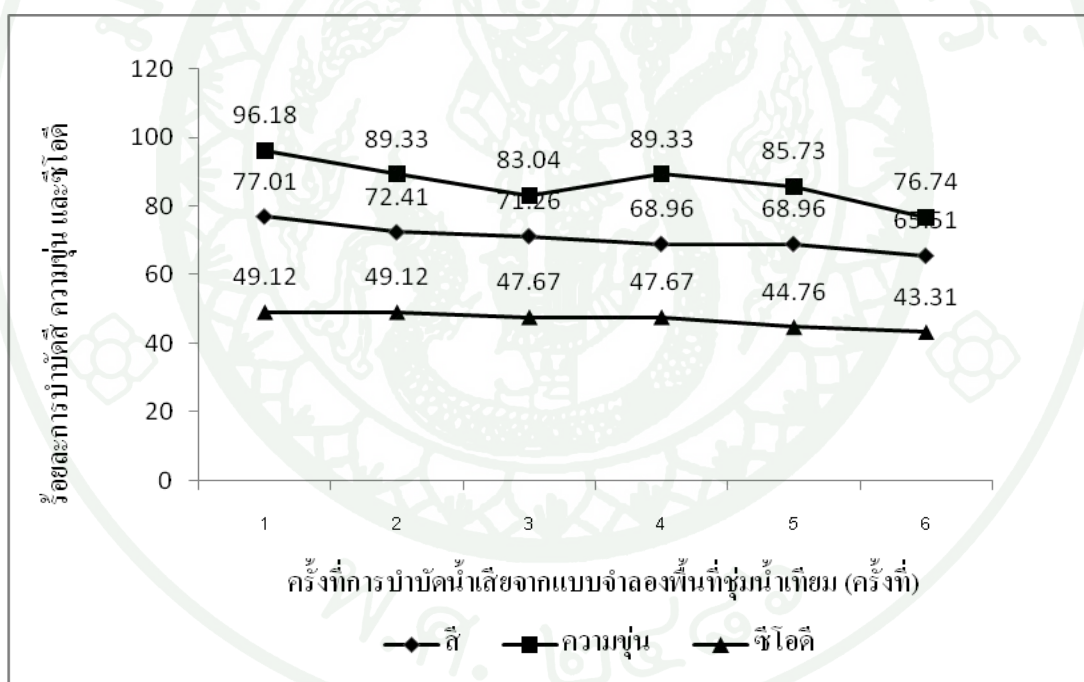
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

6. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง

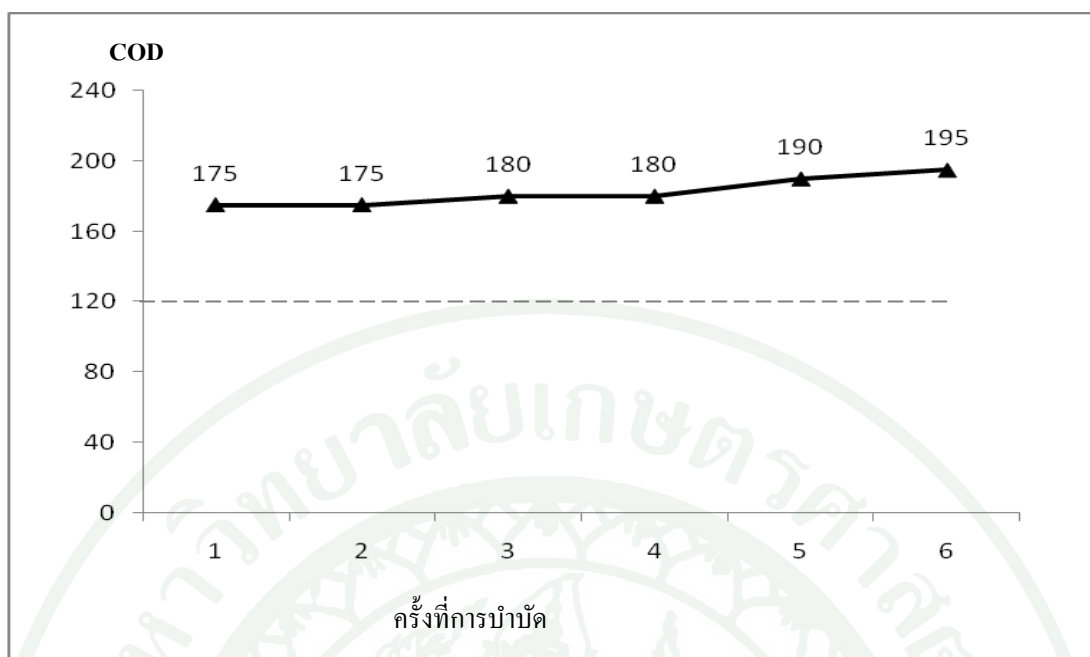
การบำบัดโดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง ทำการทดลองโดยบรรจุชั้นวัสดุปลูกในคอลัมน์ แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 33 เซนติเมตร คือชั้น กรวด 4.45 เซนติเมตร ทรายหยาบ 1.90 เซนติเมตร ทรายละเอียด 1.27 เซนติเมตร และถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนที่ศึกษาได้ดังภาพที่ 32 สูง 16.50 เซนติเมตร โดยเป็นการจำลองหรือเป็นการเลียนแบบ พื้นที่เพาะปลูกของระบบบำบัดแบบธรรมชาติ ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกรองและตัวดูดซับ

6.1 การจำลองระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ทำการทดลองโดยอาศัยผลการทดลองจากวิธีแบบเบตซ์ข้อที่ 6.1 ทำโดยแข่งน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน 200 มิลลิลิตรในคอลัมน์ 1 ชั่วโมง ซึ่งได้จากการศึกษาการทดลองแบบเบตซ์ ข้อที่ 6.2 หลังจากนั้นปล่อยน้ำเสียมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทำการทดลองเช่นเดิมจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสี และความขุ่น มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ 1 ชั่วโมงหรือการบำบัดครั้งที่ 1 ที่ร้อยละ 77.01 และ 96.18 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดไม่คงที่และมีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่การบำบัดครั้งที่ 2 เป็นต้นไป ส่วนค่าซีโอดีพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ถึง 50% ดังภาพที่ 33 โดยพบว่าค่าซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดนี้ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ดังภาพที่ 34 ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมจึงไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคว



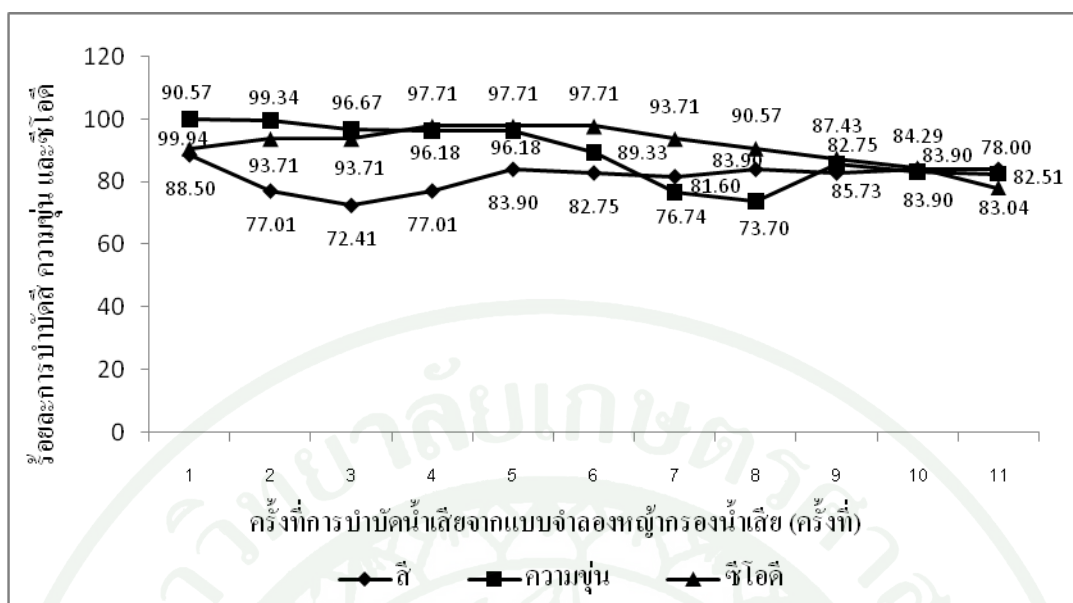
ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดี กับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม



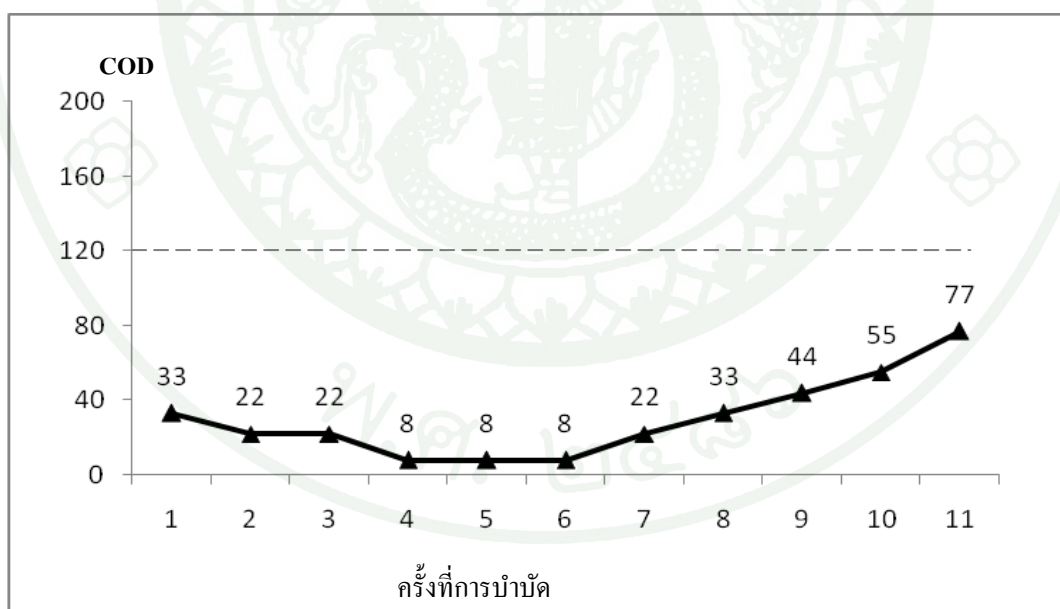
ภาพที่ 34 ซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

6.2 การจำลองระบบบำบัดแบบหล้ากรองน้ำเสีย

ทำการแข่งขันน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ศึกษาได้จากการทดลองแบบแบตช์ข้อที่ 6.2 หลังจากนั้นปล่อยน้ำเสีย นำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัด และปล่อยให้ชั้นวัสดุปลูกแห้ง 2 วันจึงทำการเติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ทำการทดลองเช่นเดิม จนกระทั่งประสิทธิภาพการบำบัดลดลงจากเดิมประมาณครึ่งหนึ่ง หรือคงที่ ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 1 หรือการบำบัดครั้งที่ 1 สามารถลดค่า ความขุ่นได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 88.50 และ 99.94 ส่วนในการบำบัดครั้งที่ 2-11 มีประสิทธิภาพการบำบัดค่า ความขุ่น ที่ใกล้เคียงกัน สำหรับค่าซีโอดีมี ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดที่ร้อยละ 97.71 และคงที่จนถึงการบำบัดครั้งที่ 6 และจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 7 เป็นต้นไป ดังภาพที่ 35 โดยพบว่าค่าซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดนี้ยังมีค่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ดังภาพที่ 36 ดังนั้นระยะเวลา 1-6 สัปดาห์ จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบแบบหล้ากรองน้ำเสีย



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดี กับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย



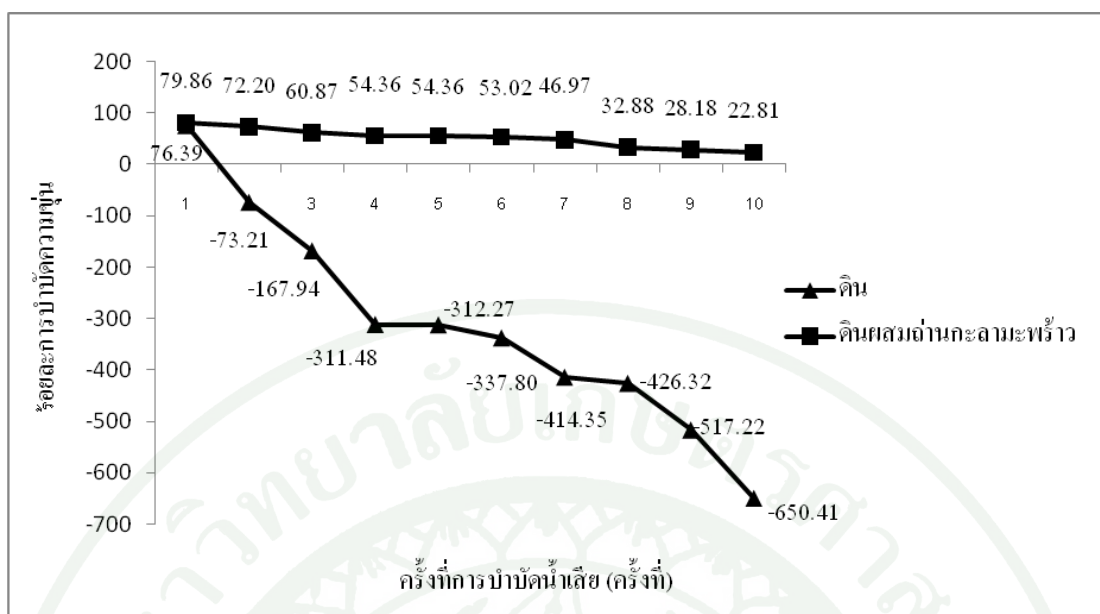
ภาพที่ 36 ซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียกับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

7. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดีในน้ำเสียโรงงานข้าวแคบ โดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กจำลองการบำบัดแบบห้ญการกรองน้ำเสีย

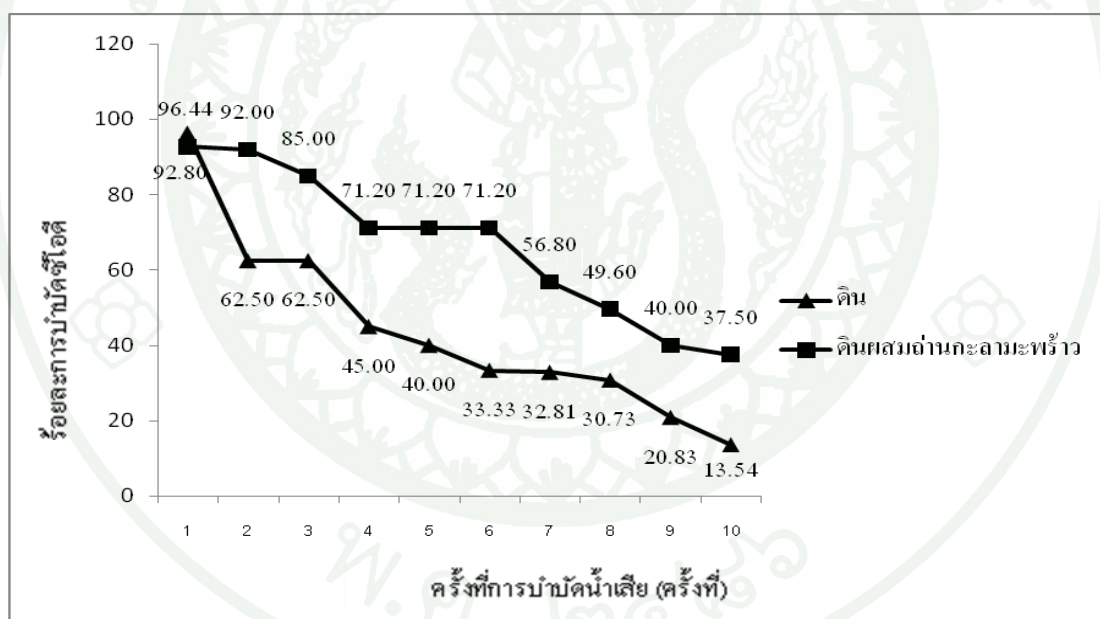
การทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบห้ญการกรองน้ำเสียอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำผิวดิน และจุลินทรีย์มีอยู่ในชั้นใต้ดิน โดยทำหน้าที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ให้เป็นสาร อนินทรีย์ ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำหรับพืชใช้ในการเจริญเติบโต และผ่านการกรองโดยรากพืช และชั้นดินที่มีการผสมถ่านกะลามะพร้าว รวมถึงชั้นทรายหยาบ และทรายละเอียด ที่เป็นตัวกลางในการบำบัด ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกบำบัดออกไป ในการทดลองนี้แบ่งผลการศึกษาออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนแรกอธิบายการใช้รูปถาญี ส่วนที่สองเป็นการใช้กกกลม และส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีของพืชทั้งสองชนิด

7.1 การใช้รูปถาญี

จากการทดลองด้วยกระบะที่บรรจุวัสดุปลูกที่มีถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักและปลูกรูปถาญี พบว่าการบำบัดในสัปดาห์ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นและซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 79.86 และ 92.80 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสัปดาห์ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเริ่มลดลงจนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในการบำบัดครั้งที่ 7 ดังภาพที่ 38 เป็นต้นไป และเนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อนำมาผสมกับดินปลูกร่วมกับรูปถาญี จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับกระบะปลูกที่ไม่ได้ใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมเป็นวัสดุปลูก ดังภาพที่ 37

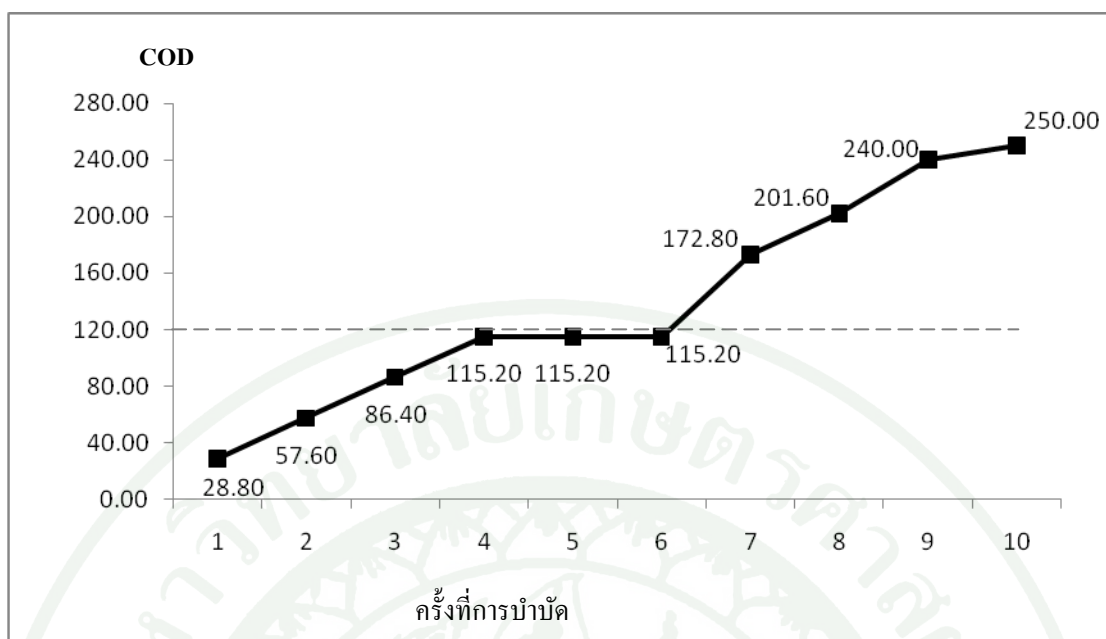


(ก)



(ข)

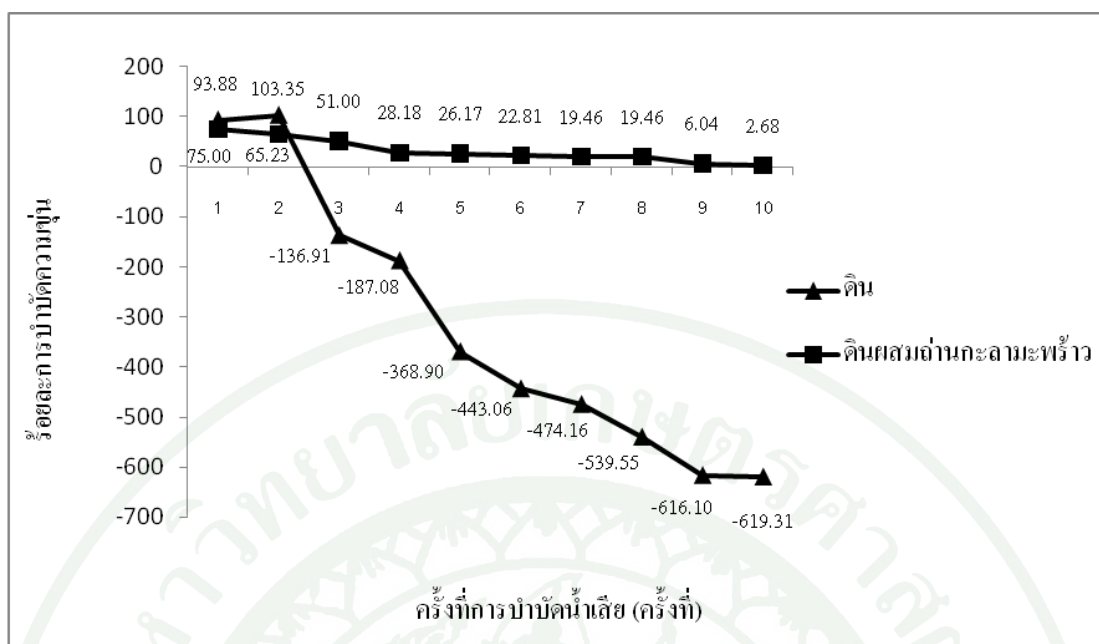
ภาพที่ 37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความชื้น(ก) และซีไอดี(ข) ระหว่างการใช้ดินและถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกธูปฤาษีกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสีย



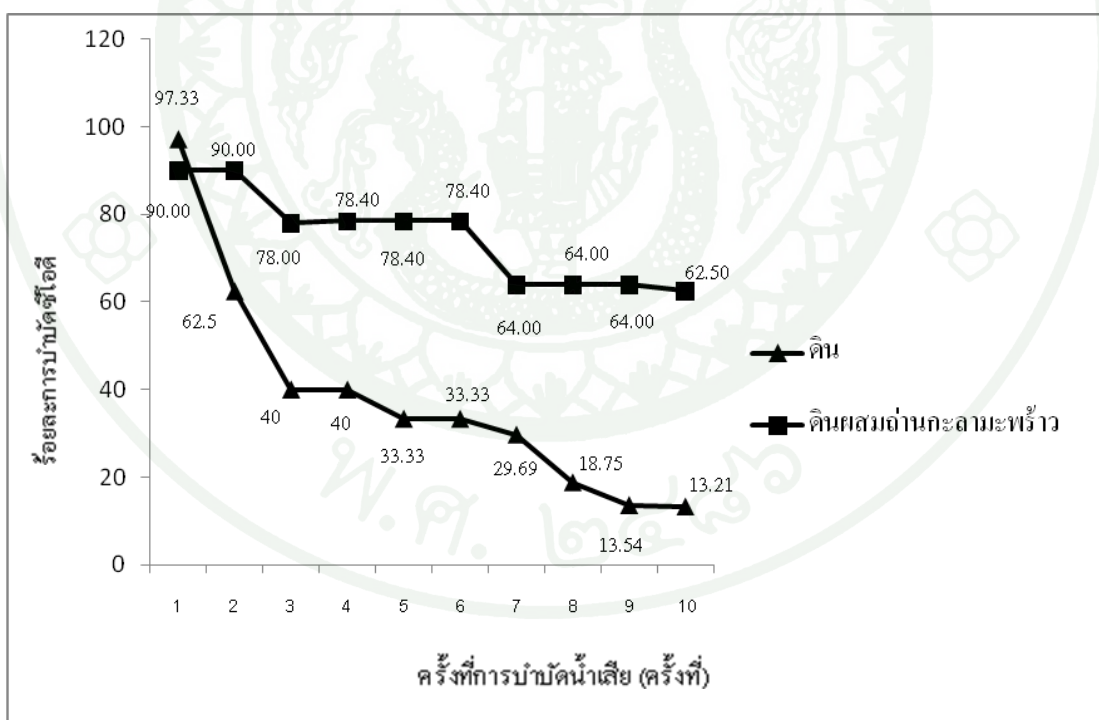
ภาพที่ 38 ซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกหญ้าฉ่ำกับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

7.2 การใช้กกกลม

จากการทดลองด้วยกระบะที่บรรจุวัสดุปลูกที่มีถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักและปลูกกกกลม พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดเป็นไปในลักษณะเดียวกับรูปถ่ายคือมีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น และซีโอดี ดีที่สุดในสัปดาห์ที่ 1 หรือครั้งที่ 1 ที่ร้อยละ 81.81 และ 92.80 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสัปดาห์ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเริ่มลดลงจนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในครั้งที่ 7 เป็นต้นไป ดังภาพที่ 40 และเนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อนำมาผสมกับดินปลูกร่วมกับกกกลม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับกระบะปลูกที่ไม่ได้ใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมเป็นวัสดุปลูก ดังภาพที่ 39

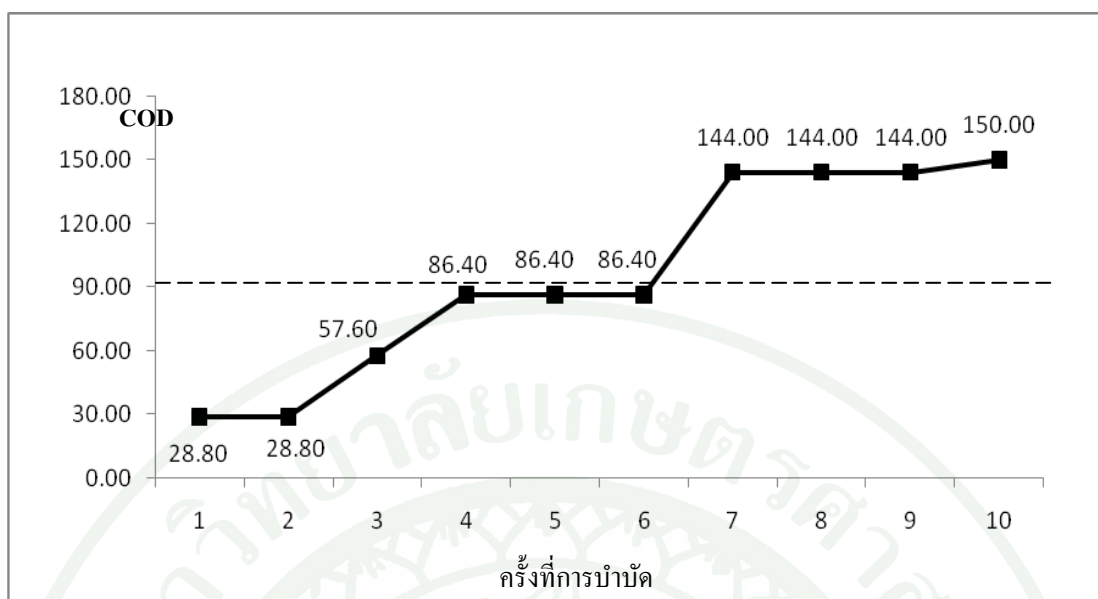


(ก)



(ข)

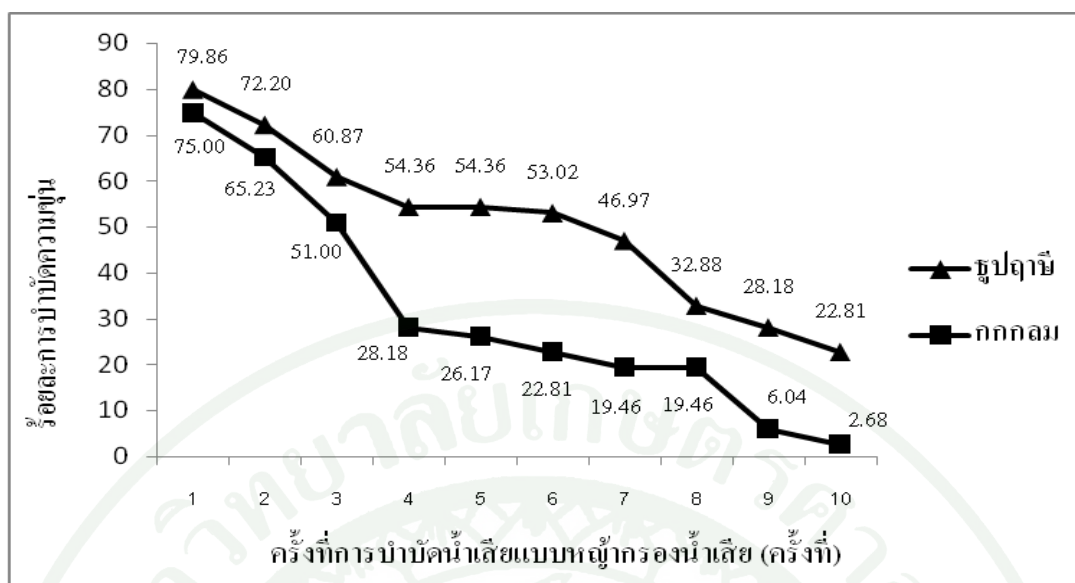
ภาพที่ 39 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความชุ่มชื้น(ก) และซีโอดี(ข) ระหว่างการใช้ดินและ ถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกกกกลมกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสีย



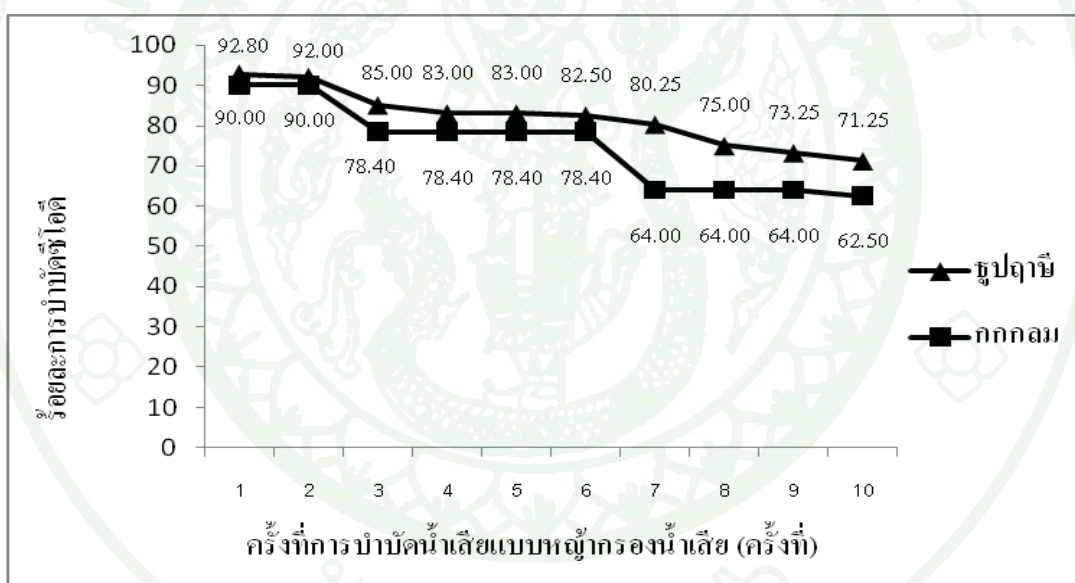
ภาพที่ 40 ซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกะลามะพร้าวผสมดินร่วมกับการปลูกกกกลม
กับครั้งที่การบำบัดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

7.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดดี ความชุ่ม และซีโอดีของรูปถ่านและกกกลม

การทดลองคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก
ด้วยระบบหมุนกรองน้ำเสียร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ รูปถ่านและกกกลม พบว่ารูปถ่านให้
ประสิทธิภาพการบำบัดความชุ่ม และซีโอดีได้ดีกว่าการปลูกกกกลม จากการบำบัดครั้งที่ 1 รูปถ่าน
ให้ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 79.86 และ 92.80 ตามลำดับ ดังภาพที่ 41 นอกจากนี้การลดลงของ
ประสิทธิภาพการบำบัดของกระบะที่ปลูกกกกลมลดลงเร็วกว่ากระบะที่ปลูกรูปถ่าน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 41 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความชื้น(ก) และซีโอไซด์(ข) ระหว่างกกลมและรูปถ่ายเป็นพืชบำบัดกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียแบบหมุนเวียนน้ำเสีย

8. ชุดควบคุม

จากการทดลองข้อ 7.4 ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบในระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อศึกษาว่าในกระบวนการบำบัดมีการชะสี ความขุ่น และซีโอดีออกมาจากวัสดุปลูกหรือไม่ พบว่า น้ำกลั่นที่ผ่านชั้นวัสดุเพาะปลูกจากการทดลองมีการชะสีที่ทำให้เกิดสี ความขุ่น และซีโอดีออกมา โดยค่าสี ความขุ่น และซีโอดีของน้ำกลั่นก่อนเข้าระบบบำบัดเท่ากับ 0.001 Pt-Co Unit, 0.20 NTU และ 0.00 mg/L ตามลำดับ หลังออกจากกระบวนการบำบัดมีค่าสี ความขุ่น ซีโอดี พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ และความเค็มสูงกว่าผลวิเคราะห์น้ำกลั่นเริ่มต้น ดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็น ข้อด้อยของระบบบำบัดนี้ ที่มีชั้นวัสดุเพาะปลูกของการทดลองเป็นดินนา ทราย และกรวด ทำให้ เกิดการชะสีสิ่งเจือปนทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกมา โดยกระบะที่ปลูกกกกลมมีการ ชะสีสารปนเปื้อนออกมามากกว่ารูปถ่าย เนื่องจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดจะ เป็นการเติมออกซิเจนแก่ระบบ โดยใบอ่อนของพืชจะมีความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนจาก บรรยากาศผ่านกาบใบมาปลดปล่อยบริเวณรากขนอ่อน ทำให้บริเวณรอบรากมีออกซิเจนแพร่ ออกมาทำให้บริเวณรอบรากพืชมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านชนิด และปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้ ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายมากขึ้น สารประกอบอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะถูก แบคทีเรียบริเวณรอบรากพืชและแบคทีเรียในดินย่อยสลายเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งพืชสามารถ ดึงดูดไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างเนื้อเยื่อทำให้พืชเจริญเติบโต แต่ด้วยลักษณะ ของกกกลมเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีเพียงส่วนของลำต้นที่เป็นแหล่งสะสมอาหารและขยายพันธุ์เมื่อ เกิดการชะสีสารเจือปนต่างๆจะถูกสะสมในส่วนของลำต้นบนดิน และลำเลียงผ่านลำต้นที่เป็น ก้านยาวโดยไม่มีใบในการลำเลียงออกซิเจนมายังรากเหมือนกับรูปถ่ายที่เป็นพืชล้มลุกมีจำนวนใบ มาก ส่งผลให้กกกลมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้น้อยกว่ารูปถ่าย

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยชุดควบคุม

พารามิเตอร์	ผลวิเคราะห์ น้ำกลั่น	ผลวิเคราะห์น้ำกลั่นหลังผ่านระบบบำบัด	
		การบำบัดร่วมกับรูปถ่าย	การบำบัดร่วมกับกกกลม
พีเอช	7.1	7.9	7.9
สี (Pt-Co Unit)	0.001	13.04	46.37
EC ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)	404.00	296	334
TDS (mg/L)	274.00	187	211
ความเค็ม (mg/L)	0.00	1.20	2.20
ความขุ่น (NTU)	0.20	0.41	1.23
ซีโอดี (mg/L)	0	8	8

9. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแฉบ

เมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานข้าวแฉบมาปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนให้มีสภาวะที่เหมาะสม หลังจากนั้นปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดแบบหมุนเวียนน้ำเสียที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ขาว ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ รูปถ่าย และ กกกลม พบว่าสามารถลดความเป็นกรดของน้ำ หรือปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดความขุ่น และซีโอดีให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมได้เช่นกัน แต่พบว่าการบำบัดด้วยวิธีดังกล่าวยังไม่สามารถบำบัดค่าสีให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภคได้ แต่ยังทำให้ค่า EC , TDS และความเค็มเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูก
ธูปฤาษีและกกกลม

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำ โรงงานข้าว แคบเริ่มต้น	คุณภาพน้ำที่ ผ่านการบำบัด ด้วยกกกลม	คุณภาพน้ำที่ ผ่านการบำบัด ด้วยธูปฤาษี	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม
พีเอช	3.3	7.9	7.9	5.5 – 9.0
ดี (Pt-Co Unit)	128.67	97.20	57	5-15*
EC ($\mu\text{S}/\text{cm.}$)	309	782	761	-
TDS (mg/L)	198	495	480	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (mg/L)	0.0	2.6	2.5	2,000
ความขุ่น (NTU)	149	32.1	30	-
ซีโอดี (mg/L)	1260	8	8	ไม่เกิน 120
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	28.8	27.50	27.50	ไม่เกิน 40

* มาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภค

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

คุณภาพน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบก่อนได้รับการบำบัดมีค่าพีเอช สี ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ และค่าซีโอดี เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เมื่อนำมาปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนในอัตราส่วนน้ำเสีย 60 ลิตร ต่อหินปูน 60 กิโลกรัม พบว่าต้องใช้ระยะเวลา 7 วันสามารถลดความเป็นกรดในน้ำเสียได้จนมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.0 และการทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถ่านกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกะลามะพร้าว 12 กรัมต่อน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรด 50 มิลลิลิตร สามารถบำบัดสี ความขุ่น และ ซีโอดีได้ร้อยละ 64.36, 94.92 และ 42.86 ตามลำดับ และระยะเวลาการสัมผัส 5 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่นและ ซีโอดีร้อยละ 50.50, 45.85 และ 77.14 ตามลำดับ โดยมีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ซึ่งมีลักษณะการดูดซับแบบชั้นเดียว และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช มีลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น นอกจากนั้นที่อัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดิน 1:10 ให้ประสิทธิภาพการลดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 97.79 และ 96.57 ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการทดลองการไหลแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำลองชั้นกรองของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยบำบัดน้ำเสียแบบระบบบำบัดทั้งสองแบบ พบว่าระบบบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดีกว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

จากนั้นทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้งานจริง โดยเลียนแบบการบำบัดน้ำแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ฤๅษี และกกกลม และเปรียบเทียบระหว่างใช้ดินเพียงอย่างเดียวกับใช้ดินผสมถ่านกะลามะพร้าวปลูก พบว่าการใช้ดินผสมกับถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูก ให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าการใช้ดินเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าฤๅษีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 79.86 และ 92.80 ตามลำดับ ส่วนของกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 75.00 และ 90.00 ตามลำดับ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนร่วมกับระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้ฤๅษีเป็นพืชบำบัดให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่ากกกลมต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญแต่ประสิทธิภาพการบำบัดของกกกลมลดลงเร็วกว่าฤๅษี

ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแควโดยการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน และบำบัดต่อด้วยระบบหมุนำกรองน้ำเสียที่เพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้ถ่านกะลามะพร้าว เป็นวิธีการบำบัดที่สามารถนำไปใช้จริงได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. การลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนอาจใช้ระยะเวลานาน ควรมีวิธีการศึกษาที่ใช้ในการลดสภาพความเป็นกรดที่ให้ระยะเวลาการปรับสภาพที่รวดเร็ว เพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่น
2. ศึกษาตัวดูดซับประเภทอื่นๆ เช่น ตัวดูดซับชีวมวล ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแควต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- จุฬามาศ พุ่มศิริ. 2554. **ผลการใช้กกกลม ฐปถาษี และพุทธรักษา ในการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งโรงไฟฟ้าราชบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุษยา มากลาด. 2555. **การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้า โครงการพัฒนาโดยคงด้วยผงใบผักตบชวาและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยธิดา สนิทไชย. 2544. **การประเมินผลกระทบของการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งข้าว; Impact Assessment on the Improvement of Rice Flour Industry Wastewater Treatment System of Flour Industry**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปิยวรรณ คำกำยาน, เจษฎา มิ่งฉาย, ปิยะมาศ คำทิพย์, ปาริชาติ คณะธรรม, ไสยเพ็ญ เถิดเจิม, พินิต นนทโคตร และ วิไลพร พรหมตรุษ. 2547. **ข้าวแคะ: การศึกษาเชิงประวัติศาสตร์**.
- ปิยวรรณ ปาลาศ. 2555. **การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแคะอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์เพื่ออนุรักษ์ภูมิปัญญา**. วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ 5 (2): 82- 99.
- ปวีณา สังข์ศรีอินทร์. 2552. **การบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรีด้วยรูปถาษีในระบบดินสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒนา มุลพฤษ. 2539. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. หจก. เอ็นเอสแอลพรีนติ้ง, กรุงเทพฯ.

เพ็ญจันทร์ คำบาง. 2553. **การกำจัดฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายด้วยถ่านกกกลมและถ่านกะลามะพร้าวเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. 2543. **คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ**. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ตันชนะสุชัย. 2541. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิต, ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภารัตน์ แสงสวัสดิ์. 2553. **การกำจัดฟอสฟอรัสและบีโอดีในน้ำเสียโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเส้นไหม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อวยพร บัวใบ. 2531. **การศึกษาประสิทธิภาพของถักรองที่ใช้ทรายและถ่านกะลามะพร้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาณัติ มีป้อม. 2544. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพใน จังหวัดนครปฐม : 1) ของเสียที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ขนาดกลางและเล็ก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Amuda, O.S., A.A. Giwa, and I.A. Bello. 2007. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. **Biochemical Engineering Journal**. 36: 174-181

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

William, M. and W.M. Patrick, Jr. 1994. From wasteland to wetland. **J. Environ. Qual**, 23: 292-296.



ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	0.62	0.61	0.63	0.62	28.73
5	0.55	0.54	0.56	0.55	36.78
6	0.51	0.51	0.51	0.51	41.37
7	0.48	0.49	0.48	0.48	44.82
8	0.44	0.44	0.44	0.44	49.42
9	0.41	0.42	0.40	0.40	54.02
10	0.34	0.35	0.36	0.36	58.62
11	0.32	0.32	0.32	0.32	63.21
12	0.32	0.31	0.30	0.31	64.36
13	0.29	0.28	0.30	0.29	66.66
14	0.28	0.28	0.28	0.28	67.81
15	0.29	0.27	0.28	0.28	67.81
16	0.27	0.27	0.27	0.27	68.96

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว (กรัม)	ความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	50.50	50.50	50.50	50.50	82.34
5	30.75	31.75	32.75	31.75	88.89
6	28.15	28.15	28.15	28.15	90.15
7	27.55	27.55	27.55	27.55	90.36
8	21.25	22.25	23.25	22.25	92.22
9	19.60	20.60	21.60	20.60	92.79
10	18.93	18.93	18.93	18.93	93.38
11	14.07	16.07	15.07	16.07	94.38
12	14.52	14.52	14.52	14.52	94.92
13	16.09	17.09	15.09	17.09	94.02
14	15.72	16.72	17.72	16.72	94.15
15	16.02	16.02	16.02	16.02	94.39
16	14.30	15.30	16.30	15.30	94.65

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับปริมาณถ่านกะลามะพร้าวที่เหมาะสม

ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว (กรัม)	ร้อยละของการบำบัด
4	1.16
5	1.16
6	6.97
7	6.97
8	12.79
9	12.79
10	18.60
11	18.60
12	41.86
13	36.04
14	30.23
15	30.23
16	30.23

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละการบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	118.66	119.66	117.66	118.66	65.51
2	106.78	106.78	106.78	106.78	68.96
3	106.78	106.78	106.78	106.78	68.96
4	98.87	98.87	98.87	98.87	71.26
5	94.91	94.91	94.91	94.91	72.41
6	90.44	88.44	89.44	89.44	74.00
7	91.88	92.88	93.88	92.88	73.00

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	80.02	80.02	80.02	80.02	76.74
2	50.00	48.00	49.00	49.00	85.73
3	35.71	36.71	37.71	36.71	89.33
4	57.80	57.80	57.80	57.80	83.04
5	57.80	57.80	57.80	57.80	83.20
6	35.16	35.16	35.16	35.16	89.78
7	50.57	50.57	50.57	50.57	85.30

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	43.31
2	44.76
3	47.67
4	47.67
5	49.12
6	49.12
7	49.12

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	201.34	201.34	201.34	201.34	41.47
2	187.3	188.3	186.3	187.30	45.55
3	177.74	177.74	177.74	177.74	48.33
4	180.7	181.7	179.7	180.70	47.47
5	170.28	170.28	170.28	170.28	50.50
6	176.13	176.13	176.13	176.13	48.80
7	172.28	172.28	172.28	172.28	49.92

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ค่าความขุ่น			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	213.28	213.28	213.28	213.28	38.00
2	205.72	205.72	205.72	205.72	40.20
3	208.12	208.12	208.12	208.12	39.50
4	199.49	198.49	197.49	198.49	42.30
5	186.28	186.28	186.28	186.28	45.85
6	194.36	195.36	193.36	194.36	43.50
7	191.17	191.17	191.17	191.17	44.43

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาที่เหมาะสม (วัน)

ระยะเวลาสัมผัส (วัน)	ร้อยละของการบำบัด
1	65.71
2	65.71
3	54.29
4	54.29
5	77.14
6	50.45
7	50.20

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดินในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว : ดิน	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:10	0.160	0.160	0.160	0.160	81.61
1:20	0.165	0.165	0.165	0.165	81.03
1:30	0.174	0.174	0.174	0.174	80.00
1:40	0.217	0.217	0.217	0.217	75.06
1:50	0.234	0.234	0.234	0.234	73.10
1:60	0.210	0.210	0.210	0.210	75.86
1:70	0.227	0.227	0.227	0.227	73.91
1:80	0.230	0.230	0.230	0.230	73.56

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน
ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว : ดิน	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1:10	6.310	6.310	6.310	6.310	97.79
1:20	6.42	6.520	6.62	6.520	97.72
1:30	5.54	5.640	5.74	5.640	98.03
1:40	5.04	5.140	5.24	5.140	98.20
1:50	5.55	5.450	5.35	5.450	98.09
1:60	4.48	4.580	4.68	4.580	98.40
1:70	3.64	3.740	3.84	3.740	98.69
1:80	4.26	4.360	4.46	4.360	98.48

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี ของถ่านกะลามะพร้าวผสมดิน
ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ถ่านกะลามะพร้าว : ดิน	ร้อยละของการบำบัด
1:10	96.57
1:20	96.57
1:30	94.29
1:40	94.29
1:50	93.14
1:60	95.43
1:50	94.29
1:80	95.43

ตารางผนวกที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว

ปริมาณถ่าน กะลามะพร้าว (กรัม)	Co	C	V	q	1/q	1/C	log q	log C
4	0.87	0.616	0.05	0.00770	314.46	1.62	0.21	-0.21
5	0.87	0.554	0.05	0.00554	316.45	1.81	0.26	-0.26
6	0.87	0.509	0.05	0.00424	332.22	1.96	0.29	-0.29
7	0.87	0.479	0.05	0.00342	358.42	2.09	0.32	-0.32
8	0.87	0.439	0.05	0.00274	371.74	2.28	0.36	-0.36
9	0.87	0.403	0.05	0.00224	386.10	2.48	0.39	-0.39
10	0.87	0.356	0.05	0.00178	389.10	2.81	0.45	-0.45
11	0.87	0.324	0.05	0.00147	403.22	3.09	0.49	-0.49
12	0.87	0.305	0.05	0.00127	425.53	3.28	0.52	-0.52
13	0.87	0.290	0.05	0.00112	448.43	3.45	0.54	-0.54
14	0.87	0.283	0.05	0.00101	476.19	3.53	0.55	-0.55
15	0.87	0.279	0.05	0.00093	507.61	3.58	0.55	-0.55
16	0.87	0.265	0.05	0.00083	529.10	3.77	0.58	-0.58

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.20	0.10	0.30	0.20	77.01
2	0.24	0.34	0.14	0.24	72.41
3	0.25	0.25	0.25	0.25	71.26
4	0.27	0.27	0.27	0.27	68.96
5	0.27	0.27	0.27	0.27	68.96
6	0.30	0.40	0.20	0.30	65.51

ตารางผนวกที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	10.90	10.90	10.90	10.90	96.18
2	30.50	30.50	30.50	30.50	89.33
3	47.5	48.50	49.5	48.50	83.04
4	30.50	30.50	30.50	30.50	89.33
5	41.8	40.80	39.8	40.80	85.73
6	66.50	66.50	66.50	66.50	76.74

ตารางผนวกที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์

ระยะเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ร้อยละของการบำบัด
1	49.12
2	49.12
3	47.67
4	47.67
5	44.76
6	43.31

ตารางผนวกที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.10	0.3	0.2	0.10	88.50
2	0.20	0.2	0.3	0.20	77.01
3	0.24	0.24	0.24	0.24	72.41
4	0.20	0.1	0.3	0.20	77.01
5	0.14	0.14	0.14	0.14	83.90
6	0.15	0.13	0.14	0.15	82.75
7	0.16	0.15	0.17	0.16	81.60
8	0.14	0.13	0.15	0.14	83.90
9	0.15	0.15	0.15	0.15	82.75
10	0.14	0.14	0.14	0.14	83.90
11	0.14	0.15	0.13	0.14	83.90

ตารางผนวกที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความขุ่น กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหล
ผ่านคอลัมน์ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าความขุ่น			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.15	0.15	0.15	0.15	99.94
2	0.87	1.87	2.87	1.87	99.34
3	9.50	9.50	9.50	9.50	96.67
4	10.90	10.90	10.90	10.90	96.18
5	11.90	10.90	9.90	10.90	96.18
6	30.50	30.50	30.50	30.50	89.33
7	67.50	66.50	65.50	66.50	76.74
8	75.20	75.20	75.20	75.20	73.70
9	40.80	40.80	40.80	40.80	85.73
10	47.50	48.50	49.50	48.50	83.04
11	51.00	50.00	49.00	50.00	82.51

ตารางผนวกที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับระยะเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่าน
คอลัมน์ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	90.57
2	93.71
3	93.71
4	97.71
5	97.71
6	97.71
7	93.71
8	90.57
9	87.43
10	84.29
11	78.00

ตารางผนวกที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับ
ดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.33	0.33	0.33	0.33	50.00
2	0.40	0.40	0.40	0.40	39.39
3	0.44	0.44	0.44	0.44	33.33
4	0.57	0.47	0.37	0.47	28.78
5	0.49	0.49	0.49	0.49	25.75
6	0.51	0.50	0.49	0.50	24.24
7	0.52	0.51	0.50	0.51	22.72
8	0.55	0.55	0.55	0.55	16.66
9	0.57	0.57	0.57	0.57	13.63
10	0.58	0.58	0.58	0.58	12.12

ตารางผนวกที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่มชื้นกับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าความชุ่มชื้น			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	27.10	26.10	28.10	27.10	81.81
2	51.80	51.80	51.80	51.80	65.23
3	73.00	74.00	72.00	73.00	51.00
4	107.00	108.00	106.00	107.00	28.18
5	110.00	110.00	110.00	110.00	26.17
6	115.00	116.00	114.00	115.00	22.81
7	120.00	120.00	120.00	120.00	19.46
8	125.00	124.00	126.00	125.00	19.46
9	140.00	140.00	140.00	140.00	6.04
10	145.00	145.00	145.00	145.00	2.68

ตารางผนวกที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดีกับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	92.80
2	92.80
3	85.60
4	78.40
5	78.40
6	78.40
7	64.00
8	64.00
9	64.00
10	62.50

ตารางผนวกที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.03	0.03	0.03	0.03	92.97
2	0.54	0.54	0.54	0.54	-17.83
3	0.55	0.55	0.55	0.55	-20.07
4	0.56	0.56	0.56	0.56	-22.25
5	0.89	0.89	0.90	0.90	-95.65
6	1.02	1.03	1.02	1.02	-121.74
7	1.15	1.15	1.16	1.15	-150.00
8	2.10	2.11	2.12	2.11	-358.70
9	2.53	2.54	2.54	2.54	-452.17
10	2.55	2.56	2.55	2.55	-454.35

ตารางผนวกที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	2.51	2.50	2.66	2.56	93.88
2	85.30	84.80	84.90	85.00	-103.35
3	101.20	98.80	97.09	99.03	-136.91
4	120.00	121.00	119.00	120.00	-187.08
5	195.00	197.00	196.00	196.00	-368.90
6	232.00	235.02	214.10	227.04	-443.06
7	239.15	240.00	241.11	240.09	-474.16
8	267.00	268.00	267.00	267.33	-539.55
9	298.00	301.05	299.98	299.68	-616.10
10	301.00	300.00	301.00	300.67	-619.31

ตารางผนวกที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับการใช้ดินเพียงอย่างเดียวร่วมกับ การปลูกพืช (กกกลม) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	97.33
2	62.50
3	40.00
4	40.00
5	33.33
6	33.33
7	29.69
8	18.75
9	13.54
10	13.21

ตารางผนวกที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับดินผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับ การปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.33	0.32	0.31	0.32	51.51
2	0.32	0.33	0.34	0.33	50.00
3	0.35	0.34	0.33	0.34	48.48
4	0.35	0.35	0.35	0.35	46.96
5	0.39	0.38	0.37	0.38	42.42
6	0.39	0.40	0.41	0.40	39.39
7	0.44	0.44	0.44	0.44	33.33
8	0.46	0.47	0.48	0.47	28.78
9	0.50	0.50	0.50	0.50	24.24
10	0.53	0.52	0.51	0.52	21.21

ตารางผนวกที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับดินผสมถ่านกะลามะพร้าว
ร่วมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1.00	30.00	30.00	30.00	30.00	79.86
2.00	41.40	41.40	41.40	41.40	72.20
3.00	58.30	58.30	58.30	58.30	60.87
4.00	67.00	69.00	68.00	68.00	54.36
5.00	69.00	67.00	68.00	68.00	54.36
6.00	70.00	70.00	70.00	70.00	53.02
7.00	78.00	80.00	79.00	79.00	46.97
8.00	99.00	101.00	100.00	100.00	32.88
9.00	108.00	106.00	107.00	107.00	28.18
10.00	115.00	115.00	115.00	115.00	22.81

ตารางผนวกที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับดินผสมถ่านกะลามะพร้าว
ร่วมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	92.80
2	85.60
3	78.40
4	71.20
5	71.20
6	71.20
7	56.80
8	49.60
9	40.00
10	37.50

ตารางผนวกที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	0.05	0.05	0.05	0.05	89.13
2	0.51	0.52	0.51	0.52	-13.04
3	0.62	0.62	0.62	0.62	-34.78
4	0.72	0.73	0.72	0.73	-58.70
5	0.96	0.97	0.97	0.97	-110.87
6	0.90	0.89	0.90	0.90	-95.65
7	0.98	0.99	0.98	0.98	-113.04
8	1.10	1.10	1.10	1.10	-139.13
9	1.92	1.92	1.93	1.92	-317.39
10	2.20	2.20	2.20	2.20	-378.26

ตารางผนวกที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดความชุ่ม กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ค่าความชุ่ม			ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ การบำบัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	9.83	10.26	9.53	9.87	76.39
2	72.30	72.40	72.50	72.40	-73.21
3	112.00	113.00	111.00	112.00	-167.94
4	175.00	173.00	168.00	172.00	-311.48
5	166.00	175.00	176.00	172.33	-312.27
6	182.00	183.00	184.00	183.00	-337.80
7	215.00	216.00	214.00	215.00	-414.35
8	220.00	221.00	219.00	220.00	-426.32
9	255.00	265.00	254.00	258.00	-517.22
10	312.00	312.00	317.00	313.67	-650.41

ตารางผนวกที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดชีโอดี กับการใช้ดินอย่างเดียรร่วมกับการ
ปลูกพืช (ธูปฤาษี) ทุกสัปดาห์

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	ร้อยละของการบำบัด
1	96.44
2	62.50
3	62.50
4	45.00
5	40.00
6	33.33
7	32.81
8	30.73
9	20.83
10	13.54

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวสุดารัตน์ ผาสุกโก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 พฤษภาคม 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดอ่างทอง
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (พืชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-