การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ ด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูนและการบำบัดแบบธรรมชาติ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

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

สุดารัตน์ ผาสุกโก (Sudarat Pasukko)[1]* **ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์** (Dr. Nipon Tungkananuruk)**
คณิตา ตังคณานุรักษ์ (Kanita Tungkananuruk)***

บทคัดย่อ

ข้าวแคบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำแป้ง จากข้าวกับเกลือ น้ำทิ้งปริมาณมาก ประกอบกับมีสารอินทรีย์ (ซีโอดี = 1260 มก./ลิตร) และความเป็นกรดสูง (pH = 3.3) ถ้าถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีที่ง่ายต่อการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวด้วยกระบวนการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูน และพบว่าการแช่หินปูน 60 กิโลกรัมในน้ำเสีย 60 ลิตร ในระยะเวลา 7 วัน สามารถเพิ่มค่าพีเอชจาก 3.3 เป็น 7.0 จากนั้นนำน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรดมาศึกษาโดยการทดลองแบบแบตช์และการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง จากการทดลองแบบแบตช์ พบว่าถ่านกะลามะพร้าวสามารถบำบัดสีได้ 64.3% บำบัดความขุ่นได้ 94.9% และบำบัดซีโอดีได้ 42.8% และรูปแบบการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช การทดลองแบบไหลต่อเนื่องที่มีการบรรจุชั้นกรอง ซึ่งชั้นบนสุดเป็นถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินนาในอัตราส่วน 1:10 พบว่าการบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ดังนั้นระบบหญ้ากรองน้ำเสียจึงถูกนำมาทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยทดลองขนาดเล็กและปลูกกกกลมและธูปฤาษี ผลการทดลองพบว่าหน่วยทดลองที่ปลูกธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น และซีโอดีสูงที่สุด ที่ร้อยละ 79.8 และ 92.8 ตามลำดับ

ABSTRACT

Khaew Kaeb is produced from the fermention of starch water from rice with salt. The aquatic environmental problem could be occurred from large amount of the effluent with high organic content (COD=1260mg/L) and acidity (pH=3.3) was discharged to water

---

[1] *Correspondent author: seesine21@gmail.com*

** นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

**** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

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 7.0.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 at 64.3%, turbidity at 94.9% and COD at 42.8% and the adsorption model was conformed to both of Langmuir and Freundich 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 the experimental unit which growing *Typha angustifolia* Linn in mixed of coconut shell charcoal gave the highest removal efficiency percentage of turbidity and COD at 79.8 and 92.8 respectively.

คำสำคัญ : โรงงานข้าวแคบ การลดความเป็นกรด ระบบบำบัดแบบธรรมชาติ
Key Words : Khaew kaeb factory, Deacidification, Natural treatment system

บทนำ

โรงงานผลิตข้าวแคบมีอยู่มากมายหลายแห่งในแถบภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง จากกระบวนการผลิตข้าวแคบทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นในปริมาณมากจากกระบวนการผลิต โดยน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะขุ่นขาว มีสารอินทรีย์จำพวกแป้งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง และเมื่อเกิดกระบวนการหมักจากพวกจุลินทรีย์ในธรรมชาติจะทำให้เกิดสารประกอบจำพวกกรดอินทรีย์ [1] ทั้งนี้การผลิตข้าวแคบยังคงเป็นอุตสาหกรรมในระดับครัวเรือนจึงยังไม่มีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะทำให้เกิดผลเสียตามมาในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆนั้น กระบวนการปรับพีเอชของน้ำเสียนับว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญมากกระบวนการหนึ่ง ซึ่งการปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางจะเรียกว่า การสะเทิน การสะเทินน้ำเสียกรดด้วยหินปูนสามารถบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก และการนำหินปูนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียไม่จำเป็นที่จะต้องทำให้หินปูนอยู่ในรูปผง หรือในรูปของสารละลายก่อน [2] ประกอบกับ เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชบำบัดน้ำเสีย เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยกระบวนการทำงานร่วมกันระหว่าง ดิน น้ำและพืช การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นระบบที่ให้พืชช่วยดูดซับธาตุอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ที่พืชต้องการของจุลินทรีย์ในดิน พืชทั่วไป ได้แก่ ธูปฤาษี กกกลม (กกจันทบูรณ์) และหญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย ส่วนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม อาศัยการปล่อยน้ำเสียไหลต่อเนื่องในระบบ โดยมีการควบคุมอัตราการไหลให้น้ำเสียมีระยะเวลาการกักพัก พืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย คือ กกกลม (กกจันทบูรณ์) และ ธูปฤาษี [6] ส่วนกระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย [3] โดยถ่านกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นแอคติเวตเตดคาร์บอน โดยมีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดกลิ่น

(Deodorization) การดูดสี (Deocolourization) การลดสารคลอรีน (Dechiorination) และการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ ประกอบกับกะลามะพร้าวเป็นวัสดุพื้นบ้านที่พบได้ทั่วไป มีราคาถูก จึงมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแบบเทคโนโลยีอย่างง่าย [4]

ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบด้วยวิธีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียด้วยหินปูน โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาแช่ขังและระยะเวลาการใช้งานของหินปูน นำน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพกรด-ด่างแล้วมาบำบัดต่อด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยผู้วิจัยทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้ตัวดูดซับชีวมวลคือ ถ่านกะลามะพร้าวมาเป็นวัสดุปลูกร่วมกับดินเพื่อช่วยในการจับมลสารที่เป็นสารอินทรีย์ให้จุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไป

ผู้วิจัยคาดว่าจากผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบในระดับครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบด้วยวิธีการลดความเป็นกรดและความขุ่นด้วยหินปูน ร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสียและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

วิธีการวิจัย

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบ 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)

2. ศึกษาสภาวะการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน โดยชั่งหินปูนปริมาณ 60 กิโลกรัม แช่ขังในน้ำเสียปริมาณ 60 ลิตร ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาการแช่ขังที่ 1-10 วัน และอายุการใช้งานของหินปูนที่ 1-13 วัน

3. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ทำการทดลองแบบแบตช์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณถ่านกะลามะพร้าวตั้งแต่ 4 กรัมถึง 16 กรัม และระยะเวลาที่ใช้บำบัด (1-5 ชั่วโมง และ 1-5 วัน) ใช้น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการลดความเป็นกรดจาก ข้อ 2. ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในแต่ละครั้งการทดลอง และทำการศึกษากลไกการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์ หรือแบบฟรุนดิช โดยนำผลการทดลองที่ศึกษาได้จากการแปรผันปริมาณถ่านกะลามะพร้าวมาเขียนไอโซเทอร์มการดูดซับ

4. ศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินโดยการทดลองแบบแบตช์ อัตราส่วนระหว่างถ่านต่อดินที่ศึกษา คือ 1:10, 1:20, 1:30, 1:40 และ 1:50 โดยปริมาตรน้ำเสียที่ใช้แต่ละการทดลองเท่ากับ 50 มิลลิลิตร และระยะเวลาการแช่เท่ากับ 5 วัน ทำการวิเคราะห์ซีโอดี ความขุ่น และสีของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

5. การทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง (continuous flow)

ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บรรจุชั้น กรวด 9.6 เซนติเมตร ทรายหยาบ 4.2 เซนติเมตร ทรายละเอียด 2.8 เซนติเมตร และถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินนาในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ศึกษาได้จากข้อ 2.4 ซึ่งการบรรจุเป็นการเลียนแบบพื้นที่เพาะปลูกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหญ้ากรองน้ำเสียของโครงการวิจัยและพัฒนา

สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ดังแสดงในภาพที่ 1

5.1 การจำลองการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ทำการทดลองโดยเติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร อย่างต่อเนื่อง และเก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง นำมาหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ความขุ่น และสี ทำการทดลองซ้ำจนกระทั่งประสิทธิภาพการบำบัดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือมีประสิทธิภาพคงที่

5.2 การจำลองการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ขังทิ้งไว้ 5 วัน เก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์ในวันที่ 5 และปล่อยให้แห้ง 2 วัน นำน้ำที่ไหลผ่านจากคอลัมน์มาหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ความขุ่น และสี ทำการทดลองจนกระทั่งประสิทธิภาพการบำบัดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือมีประสิทธิภาพคงที่

6. การทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก (Filtrated Lysimeter Technique) ทำการทดลอง โดยใช้กระบะพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 51×51×54 เซนติเมตร บรรจุกรวดสูง 7 เซนติเมตร ทรายหยาบสูง 3 เซนติเมตร ทรายละเอียดสูง 2 เซนติเมตร และชั้นดินนาปนทรายผสมถ่านกะลามะพร้าวสูง 30 เซนติเมตร จำนวน 2 กระบะ ทำการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ต้นกกกลม และธูปฤาษี โดยแยกกันคนละกระบะ ทำการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการลดความเป็นกรดด้วยหินปูน 200 ลิตร ด้วยระบบบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพดีกว่า จากการทดลองข้อ 2.5 ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงครึ่งหนึ่ง หรือคงที่

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบด้วยการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนร่วมกับระบบบำบัดแบบธรรมชาติ 2 ระบบ สามารถอธิบายผลการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้ คือ ส่วนที่ 1เป็นการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบก่อนได้รับการบำบัด ส่วนที่ 2 ผลการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน ส่วนที่ 3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว ส่วนที่ 4 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินนา ส่วนที่ 5 ผลการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง ส่วนที่ 6 ผลเทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็ก และส่วนที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบ

เนื่องจากในกระบวนการผลิตข้าวแคบจำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมาก และน้ำเสียมีลักษณะสีขาวขุ่น มีปริมาณสารอินทรีย์และความเป็นกรดสูง เมื่อนำมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพเบื้องต้น ได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบมีค่าความเป็นกรดสูง (pH = 3.3) ค่าบีโอดี และซีโอดี เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม [5]

2. การปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน

2.1 ระยะเวลาในการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง คือพีเอชเท่ากับ 3.3 ในการศึกษาระยะเวลาการแช่ขังหินปูนในน้ำเสียด้วยอัตราส่วนระหว่างหินปูน 60 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 60 ลิตร และทำการวัดพีเอชทุกวันพบว่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกจากนั้นจะ เริ่มคงที่ที่พีเอชเท่ากับ 7.0 ตั้งแต่วันที่ 7 เป็นต้นไป ดังแสดงในภาพที่ 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระยะเวลาการลดสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนเท่ากับ 7 วัน เนื่องจากน้ำเสียมีสภาวะเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [3]

2.2 อายุการใช้งานของหินปูน

จากการทดลองการใช้หินปูนแช่ขังน้ำเสียซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า ระยะเวลาการลดสภาพความเป็นกรดของน้ำเสีย จะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น การใช้งานครั้งที่ 1 ใช้ระยะเวลาการแช่ขัง7 วัน การใช้งานซ้ำครั้งที่ 2 ใช้ระยะเวลาการแช่ขัง 9 วัน และการใช้งานซ้ำครั้งที่ 3 ใช้ระยะ

เวลาการแช่ขัง 11 วัน ค่าพีเอชจึงเข้าสู่สภาวะเป็นกลางที่พีเอชเท่ากับ 7.0 ดังภาพที่ 3 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนการใช้งานหินปูนเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพของหินปูนจะลดลง ส่งผลให้ระยะเวลาการลดสภาพความเป็นกรดในน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว

3.1 ปริมาณถ่านกะลามะพร้าว

จากการแปรผันปริมาณถ่านกะลามะพร้าวตั้งแต่ 4 กรัมจนถึง 16 กรัม ต่อปริมาณน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร พบว่าที่ปริมาณถ่าน 12 กรัมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 64.3 ความขุ่นร้อยละ 94.9 และซีโอดีร้อยละ 42.8 ซึ่งเป็นปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด ดังภาพที่ 4

3.2 ระยะเวลาสัมผัส

จากการศึกษาระยะเวลาสัมผัสทั้งที่เป็นชั่วโมงและวัน พบว่าที่ระยะเวลาสัมผัส 1–7 ชั่วโมงการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดีมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการบำบัดซีโอดีประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจะมีสภาวะคงที่ โดยพบว่าชั่วโมงที่ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดที่ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 74.0, 89.3 และ 49.1 ตามลำดับ ดังภาพที่ 5 ส่วนระยะเวลาการสัมผัส 1–7 วันพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการบำบัดซีโอดีประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 1–5 จากนั้นจะเริ่มลงลงจนมีสภาวะคงที่ เนื่องจากเกิดการคายซับ (desorption) โดยพบว่าที่ 5 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีดีที่สุดที่ร้อยละ 50.5, 45.8 และ 77.1 ตามลำดับ ดังภาพที่ 6

จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาทำให้มลสารมีโอกาสสัมผัส หรือถูกดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าวมากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับมีปริมาณจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับหรือมลสารจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้อัตราการดูดซับคงที่ และลดลง เนื่องจากเกิดการคายซับ [3]

3.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ และฟรุนดิช ได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 7 และภาพที่ 8 ตามลำดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากัน คือ 0.918 โดยช่วงความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้งานมีค่า $k = 4.3552x10^{-3}$, ค่า $n = 1.7699$ ดังนั้น กลไกการดูดซับจึงสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของทั้งแลงเมียร์ และฟรุนดิช โดยกลไกการดูดซับของแลงเมียร์เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน และของฟรุนดิช เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น [3]

4. อัตราส่วนระหว่างถ่านกะลามะพร้าวต่อดินนา

จากผลการทดลองแบบแบตช์ โดยแปรผันอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าว ต่อดินนาที่อัตราส่วน 1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 ผสมกับน้ำเสีย 50 มิลลิลิตรพบว่าทุกอัตราส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มค่อย ๆลดลง และที่อัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี ดีที่สุดที่ร้อยละ 81.6,97.7 และ 96.5 ตามลำดับ ดังภาพที่ 9

5. ผลการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง

การบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการลดสภาพความเป็นกรด 200 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่บรรจุชั้นวัสดุปลูก โดยทำการทดลอง 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 การบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม คือ แช่ขังน้ำเสียในคอลัมน์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อปล่อยน้ำผ่านคอลัมน์ และนำน้ำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัด ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพลดลง หรือคงที่ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสี และความขุ่น มีประสิทธิภาพ

ดีที่สุดที่ 1 ชั่วโมงหรือการบำบัดครั้งที่ 1 ที่ร้อยละ 77.0 และ 96.1 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดไม่คงที่และมีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่การบำบัดครั้งที่ 2 เป็นต้นไป ส่วนค่าซีโอดีพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ถึง 50% คือมีค่าความเข้มข้นจากซีโอดีเริ่มต้นที่ 1260 mg/L เหลือ 175 mg/L ในการบำบัดครั้งที่ 1 และลดลงเรื่อย ๆโดยพบว่าค่าซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดนี้ยังมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมจึงไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบ ดังแสดงในภาพที่ 10

แบบที่ 2 ทำการบำบัดน้ำเสียแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสีย คือขังน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรด 200 มิลลิลิตร นาน 5 วัน ปล่อยน้ำเสียผ่านคอลัมน์มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดและปล่อยให้ชั้นวัสดุปลูกในคอลัมน์แห้ง 2 วัน จัดเป็นการทดลองครั้งที่ 1 และเมื่อทำการทดลองซ้ำพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีมีแนวโน้มค่อย ๆลดลง ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 1 หรือการบำบัดครั้งที่ 1 สามารถลดสีและความขุ่นได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 88.5 และ99.9 ตามลำดับ ส่วนในการบำบัดครั้งที่ 2 ถึงครั้งที่ 11 มีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น ที่ใกล้เคียงกัน สำหรับค่าซีโอดีมีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุดที่ร้อยละ 97.7 (ค่าความเข้มข้น = 8mg/L) และคงที่จนถึงการบำบัดครั้งที่ 6 และจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 7 เป็นต้นไป โดยพบว่าค่าซีโอดีที่ผ่านระบบบำบัดนี้ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ดังนั้นระยะเวลา 1-6 สัปดาห์จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบแบบหญ้ากรองน้ำเสีย ดังแสดงในภาพที่ 11

แต่อย่างไรก็ตาม การบำบัดแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสียให้ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งสี ความขุ่น และซีโอดี สูงกว่าแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ดัง ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง 3 ครั้ง

6. การทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรองน้ำเสียในหน่วยย่อยขนาดเล็ก

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี ของพืชที่ใช้ในการบำบัด 2 ชนิด คือ กกกลม และธูปฤาษี โดยระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำผิวดิน และจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในชั้นใต้ดิน [6] ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็นสารอนินทรีย์ ที่เป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโต สำหรับชั้นดินที่มีการผสมถ่านกะลามะพร้าว ทรายหยาบ และทรายละเอียด จะเสมือนเป็นตัวดูดซับและชั้นกรองในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองเป็นดังนี้

6.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีของธูปฤาษีและกกกลม

การทดลองคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษีและกกกลม พบว่าธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น และซีโอดีสูงกว่ากกกลม โดยจากการบำบัดครั้งที่ 1 ธูปฤาษีให้ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 79.8 และ 92.8 ตามลำดับ และกกกลมให้ร้อยละการบำบัดเท่ากับ 75.0 และ 90.0 ดังภาพที่ 12 นอกจากนี้การลดลงของประสิทธิภาพการบำบัดของกระบะที่ปลูกกกกลมลดลงเร็วกว่ากระบะที่ปลูกธูปฤาษี

6.2 เปรียบเทียบระหว่างการใช้ดินเพียงอย่างเดียวกับดินผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูกธูปฤาษี

จากการทดลองด้วยกระบะที่บรรจุวัสดุปลูกที่มีถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดินในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักและปลูกธูปฤาษี พบว่าการบำบัดในสัปดาห์ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นและซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 79.8 และ 92.8 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ในแต่ละสัปดาห์ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเริ่มลดลงจนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในการบำบัดครั้งที่ 7 เป็นต้นไป ดังภาพที่ 13 และเนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะเมื่อนำมาผสมกับดินปลูกร่วมกับธูปฤาษี จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับกระบะปลูกที่ไม่ได้ใช้ถ่านกะลามะพร้าวผสมเป็นวัสดุปลูก

7. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยการปรับสภาพความเป็นกรดร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

เมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบมาปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนให้มีสภาวะที่เหมาะสม หลังจากนั้นปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดแบบหญ้ากรองน้ำเสียที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถ่านกะลามะพร้าว ร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี และ กกกลม พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าพีเอช สี การนำไฟฟ้า ความเค็ม ความขุ่น ซีโอดี และอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 3

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบก่อนได้รับการบำบัดมีค่าพีเอช ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ และค่าซีโอดี เกินเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม เมื่อนำมาปรับสภาพความเป็นกรดด่างด้วยหินปูนในอัตราส่วนน้ำเสีย 60 ลิตร ต่อหินปูน 60 กิโลกรัม พบว่าต้องใช้ระยะเวลา 7 วันสามารถลดความเป็นกรดในน้ำเสียได้จนมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.0 และการทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถ่านกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกะลามะพร้าว 12 กรัมต่อน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรด 50 มิลลิลิตร สามารถบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ร้อยละ 64.3, 94.9 และ 42.8 ตามลำดับ และระยะเวลาการสัมผัส 5 วันมีประสิทธิภาพการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดีร้อยละ 50.5,45.8 และ 77.1 ตามลำดับ โดยมีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ซึ่งมีลักษณะการดูดซับแบบชั้นเดียว และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดิช มีลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น นอกจากนั้นที่อัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวผสมกับดิน 1:10 ให้ประสิทธิภาพการลดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 97.7 และ 96.5 ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการทดลองการไหลแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำลองชั้นกรองของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และระบบหญ้ากรองน้ำเสีย โดยบำบัดน้ำเลียนแบบระบบบำบัดทั้งสองแบบ พบว่าระบบหญ้ากรองน้ำเสียสามารถบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดีกว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

จากนั้นทดลองโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้งานจริง โดยเลียนแบบการบำบัดน้ำแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่มีการปลูกพืช 2 ชนิด คือธูปฤาษี และกกกลม และเปรียบเทียบระหว่างใช้ดินเพียงอย่างเดียวกับใช้ดินผสมถ่านกะลามะพร้าวปลูก พบว่าการใช้ดินผสมกับถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูก ให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าการใช้ดินเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดที่ร้อยละ 79.8 และ 92.8 ตามลำดับ ส่วนของกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุด ที่ร้อยละ 75.0 และ 90.0 ตามลำดับ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูนร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ใช้ธูปฤาษีเป็นพืชบำบัดให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่ากกกลม แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของกกกลมจะลดลงเร็วกว่าธูปฤาษี

ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานข้าวแคบโดยการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยหินปูน และบำบัดต่อด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่เพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้ถ่านกะลามะพร้าว เป็นวิธีการบำบัดที่สามารถนำไปใช้จริงได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่ให้ทุนสำหรับการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สารเคมี อุปกรณ์ตลอดจนสถานที่ในการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Piyawan P. Process development khaew kaeb laplae uttaradit to preserve wisdom. Spatial Development Res J. 2012; 5(2): 82-99. Thai.
2. Sittichai T. Environmental pollution. Bangkok: Kasetsart University; 2007.
3. Nipon T, Kanita T. Principles of chemical water quality analysis. Bangkok: Kasetsart University ; 2007.
4. Aouypon B. Study on the efficiency of filter using sand and coconut-shell charcoal as filter media [MSc thesis]. Bangkok: Kasetsart university; 1988. Thai.
5. Water quality standards [Internet]. 1996 Nov 1 [updated 2012 May 26; cited 2012 Jun 5]. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s1
6. Wastewater treatment technologies [Internet]. 2000 Nov 1[updated 2009 Oct 5; cited 2012 Jun 5]. Available from: http://www.haii.or.th/wiki84/index.php

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำ โรงงานข้าวแคบ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2539)
พีเอช	3.3	5.5 – 9.0
สี (Pt-Co Unit)	128.6	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
EC (μS/cm.)	309	ไม่ได้กำหนด
TDS (mg/L)	198	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (mg/L)	0	2,000
ความขุ่น (NTU)	149	ไม่ได้กำหนด
ซีโอดี (mg/L)	1260	ไม่เกิน 120
บีโอดี (mg/L)	262	ไม่เกิน 20
อุณหภูมิ (Co)	28.8	ไม่เกิน 40

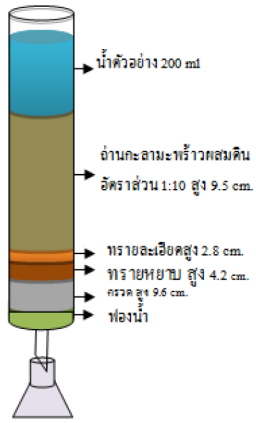
แหล่งที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2539)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมกับระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

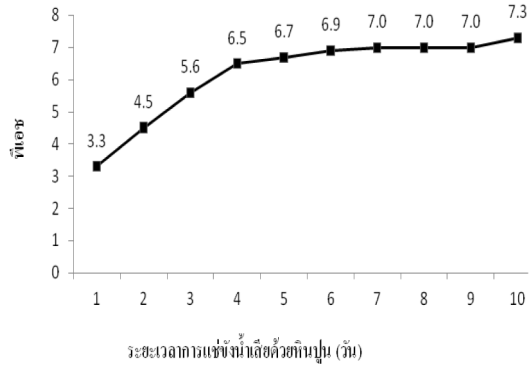
ครั้งที่การทดลอง	ระบบการบำบัด	
ครั้งที่ 1	**พื้นที่ชุ่มน้ำเทียม**	**หญ้ากรองน้ำเสีย**
ร้อยละการบำบัดสี	77.0	88.5
ร้อยละการบำบัดความขุ่น	96.1	99.9
ร้อยละการบำบัดซีโอดี	49.1	90.5
ครั้งที่ 2		
ร้อยละการบำบัดสี	72.4	77.0
ร้อยละการบำบัดความขุ่น	89.3	99.3
ร้อยละการบำบัดซีโอดี	49.1	93.7
ครั้งที่ 3		
ร้อยละการบำบัดสี	71.2	72.4
ร้อยละการบำบัดความขุ่น	83.0	96.6
ร้อยละการบำบัดซีโอดี	47.6	93.7

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสียที่ปลูกธูปฤาษีและกกกลม

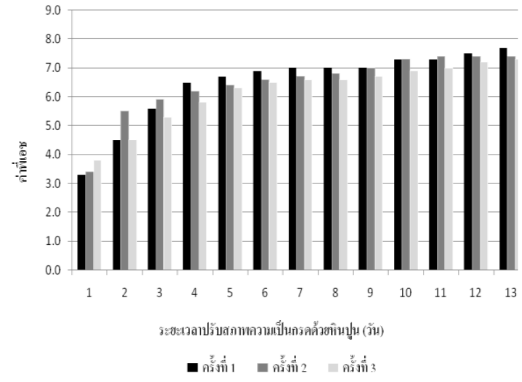
พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำโรงงานข้าวแคบเริ่มต้น	คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกกกลม	คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยธูปฤาษี	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ.2539)
พีเอช	3.3	7.9	7.9	5.5 – 9.0
สี (Pt-Co Unit)	128.6	97.2	57	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
EC (μS/cm.)	309	782	761	ไม่ได้กำหนด
TDS (mg/L)	198	495	480	ไม่เกิน 3,000
ความเค็ม (mg/L)	0.0	2.6	2.5	2,000
ความขุ่น (NTU)	149	32.1	30	ไม่ได้กำหนด
ซีโอดี (mg/L)	1260	8	8	ไม่เกิน 120
อุณหภูมิ (Co)	28.8	27.5	27.5	ไม่เกิน 40



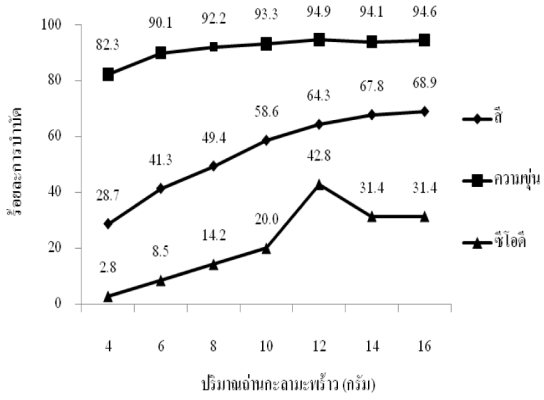
ภาพที่ 1 คอลัมน์ที่บรรจุชั้นวัสดุปลูกสำหรับการทดลองแบบการไหลต่อเนื่อง



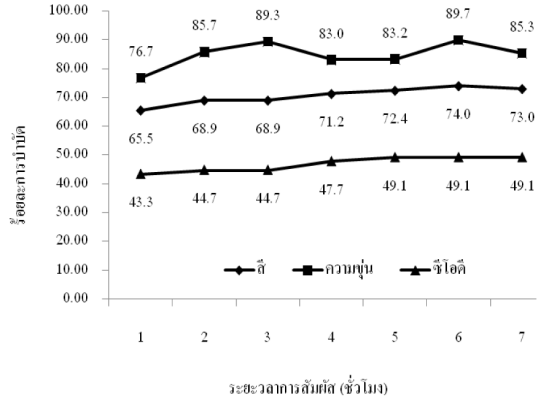
ภาพที่ 2 ระยะเวลาการแช่ขังน้ำเสียด้วยหินปูนกับพีเอชของน้ำเสีย



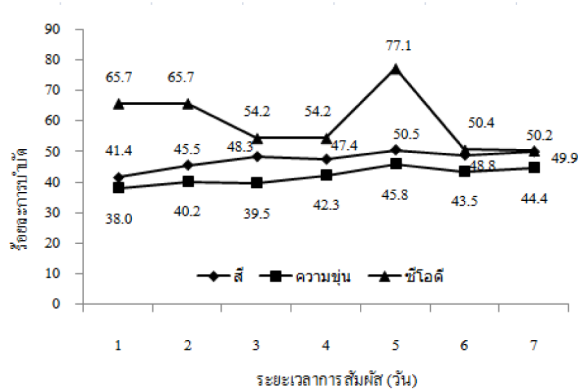
ภาพที่ 3 อายุการใช้งานของหินปูนกับระยะเวลาการลดสภาพความเป็นกรดของน้ำเสีย



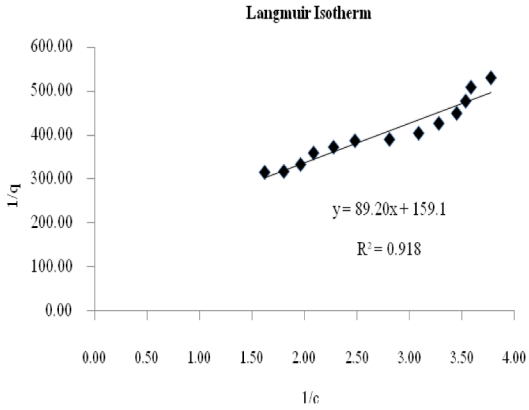
ภาพที่ 4 ปริมาณถ่านกะลามะพร้าวกับร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดี



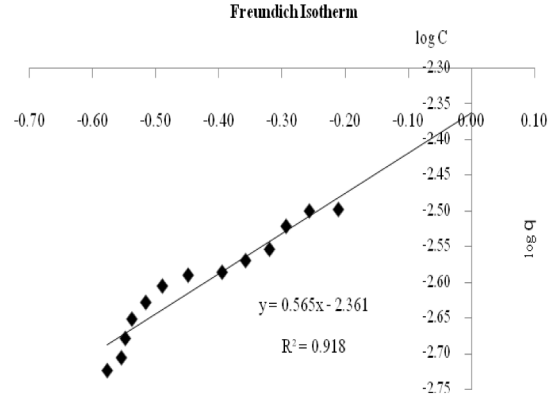
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีกับระยะเวลาการสัมผัสด้วยกระบวนการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว



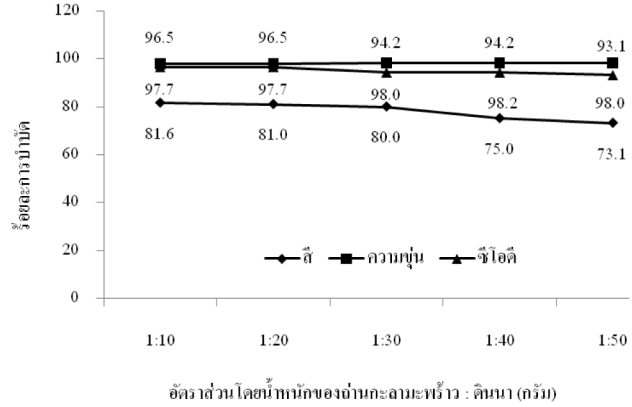
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสีความขุ่น และซีโอดีกับระยะเวลาการสัมผัสด้วยกระบวนการดูดซับของถ่านกะลามะพร้าว



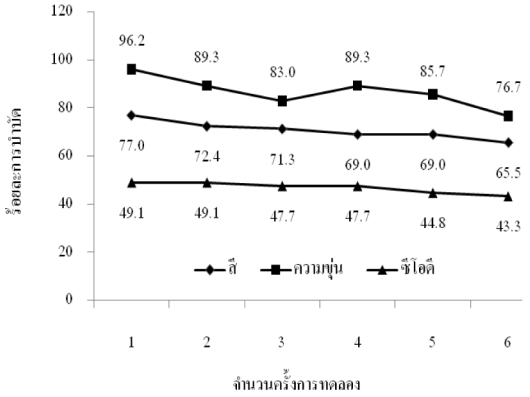
ภาพที่ 7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของถ่านกะลามะพร้าว



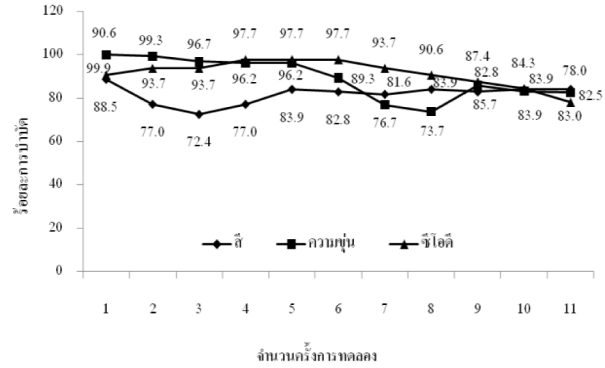
ภาพที่ 8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดิช ของถ่านกะลามะพร้าว



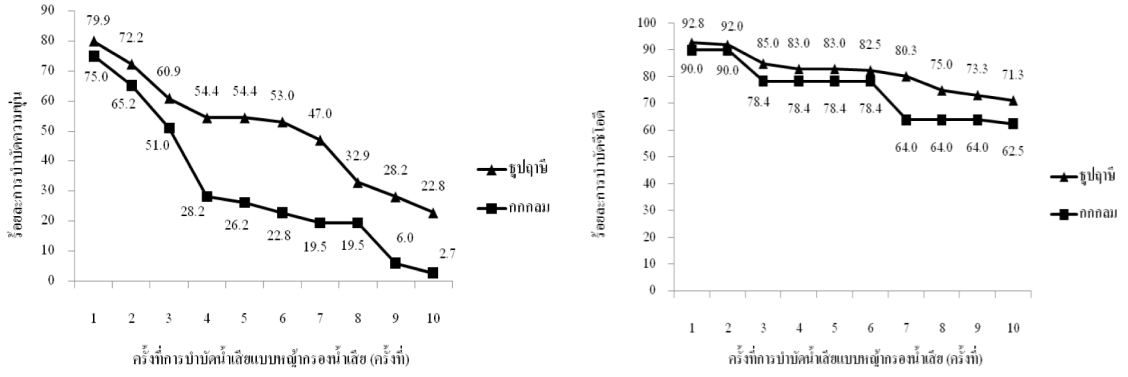
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดี กับอัตราส่วนถ่านกะลามะพร้าวต่อดินในอัตราส่วนต่าง ๆ



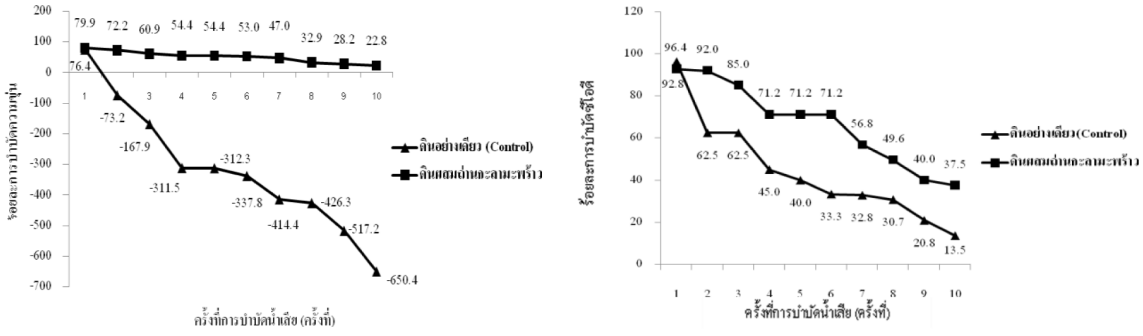
ภาพที่ 10 จำนวนครั้งการทดลองและร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีด้วยวิธีการบำบัดแบบพื้นที่ชุมน้ำเทียม



ภาพที่ 11 จำนวนครั้งการทดลองและร้อยละการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีด้วยวิธีการบำบัดแบบระบบหญ้ากรองน้ำเสีย



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (ก) และซีโอดี (ข) ระหว่างกกกลมและธูปฤาษีเป็นพืชบำบัดกับครั้งที่การบำบัดน้ำเสียแบบหญ้ากรองน้ำเสีย



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น (ก) และซีโอดี (ข) ระหว่างการใช้ดินอย่างเดียว(control) กับดินผสมถ่านกะลามะพร้าวร่วมกับการปลูกธูปฤาษี