



รายงานการวิจัย

การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย
(Use of natural materials for wastewater treatment)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย (Use of natural materials for wastewater treatment)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อ.ดร. จริญญา ยิ้มรัตน์บวร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

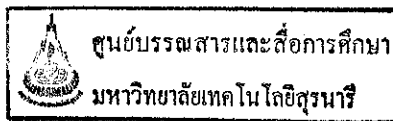
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2549



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547 เรื่อง การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย และดร.แจลล์ มาศวรรณา ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 3 อ.เมือง จ.ขอนแก่น ผู้ให้การสนับสนุน วัตถุประสงค์บปอแก้วในการศึกษาวิจัย เป็นอย่างสูง

จริยา ยี่มรัตน์บวร

23 มิถุนายน 2549

บทคัดย่อ

การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีราคาไม่แพง ใช้พลังงานต่ำ และยังช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีลงได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำต้นปอแก้ว (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) มาผลิตเป็นถ่าน เพื่อศึกษาการใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยวัดความสามารถในการดูดซับ ในเตรท-ไนโตรเจน และออร์โทฟอสเฟตของถ่านปอแก้วซึ่งมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 2 ขนาดได้แก่ ถ่านปอแก้ว A (4.75-6.30 มม.) และ B (2.00-4.75 มม.) เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ (AC) พบว่าการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่าน สามารถอธิบายได้ด้วย Freundlich Isotherm โดยมีค่า K ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ $AC > B > A$ ดังค่าที่แสดงคือ 0.0321, 0.0147 และ 0.0071 ตามลำดับ และการดูดซับออร์โทฟอสเฟตของตัวอย่างถ่าน สามารถอธิบายได้ด้วย Langmuir Isotherm โดยมีค่า X_m ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ $AC > B > A$ ดังค่าที่แสดงคือ 0.0859, 0.0486 และ 0.0403 ตามลำดับ และผลการศึกษาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ AC และถ่านปอแก้ว A และ B จะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ใกล้เคียงกัน จากผลการนำไปทดสอบกับชุดกรองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์การค้า AC สูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A ประมาณร้อยละ 13 และประสิทธิภาพการดูดซับและออร์โทฟอสเฟตสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A สองเท่า ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ AC จะสูงกว่าถ่านปอแก้ว ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตไม่สูง และจากลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านปอแก้วสามารถเป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้

Abstract

Use of natural materials for wastewater treatment

Presently, the attempts have been made by utilizing natural material as an adsorbent for wastewater treatment due to its low cost, low energy required and fewer chemicals used. In this study, Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) was prepared to use as a charcoal adsorbent in the treatment process. The nitrate-nitrogen and orthophosphate adsorption capacities of Roselle charcoal with 2 different particle sizes, A (4.75-6.30 mm) and B (2.00-4.75 mm) were measured and compared with an activated charcoal (AC). The equilibrium data of nitrate-nitrogen were fitted well with the Freundlich Isotherm. The K values related to the capacity of adsorbent for nitrate-nitrogen of such charcoal studied were in the following orders: $AC > B > A$ expressed as 0.0321, 0.0147 and 0.0071 respectively. The equilibrium data of orthophosphate were fitted well with the Langmuir Isotherm. The X_m values related to the capacity of adsorbent for nitrate-nitrogen of such charcoal studied were in the following orders: $AC > B > A$ expressed as 0.0859, 0.0486 and 0.0403 respectively. Activated charcoal required contact time to reach equilibrium as closed as both of Roselle charcoal A and B. In addition, the removal efficiency results of filter unit laboratory shown Activated charcoal had 13 % nitrate-nitrogen removal efficiency and 2 times of orthophosphate removal efficiency higher than Roselle charcoal A and B. Although removal efficiency of activated charcoal was higher than that of Roselle charcoal, Roselle charcoal is an interesting alternative adsorbent due to lower cost of its production and physical and chemical characteristics.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ในโตรเจนในน้ำเสีย.....	3
2.2 ฟอสฟอรัสในน้ำเสีย.....	5
2.3 ปอแก้ว.....	6
2.4 ประเภทของสารดูดซับ.....	7
2.5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ.....	8
2.6 การดูดซับ.....	11
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	12
2.8 ไอโซเทอมของการดูดซับ.....	12
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การเตรียมตัวอย่างและการจำแนกขนาด	18
3.2 ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน	18
3.3 ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน	19
3.4 วัดความสามารถในการดูดซับของถ่าน	19
3.5 การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ.....	20
3.6 การทดสอบนำตัวอย่างถ่าน ไปใช้เป็นตัวกรองในชุดจำลอง.....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน.....	22
4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน.....	25
4.3 ความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่าน.....	25
4.4 การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ	29
4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับในเตรท-ใน โครเจนและออร์โทฟอสเฟตในชุดการกรอง	29
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	56
ประวัตินักวิจัย.....	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินชนิดต่างๆ	10
2.2	ความสามารถในการดูดซับ Cu ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5	17
4.1	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน	23
4.2	ปริมาณคาร์บอน ใน โตรเจน และซัลเฟอร์ ของตัวอย่างถ่าน	25
4.3	ค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมฟรุนดลิช แลงเมียร์ และค่า coefficient of determinations (r^2) จากการทดสอบการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่าน	27
4.4	ค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมฟรุนดลิช แลงเมียร์ และค่า coefficient of determinations (r^2) จากการทดสอบการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของตัวอย่างถ่าน	28
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟต	31

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	รูปแบบของไอโซเทอมของการดูดซับ	13
3.1	ชุดกรอง (Filter Unit)	21
4.1	ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่าน	23
4.2	ค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่าน	24
4.3	ค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน	24
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างถ่าน	25
4.5	กราฟไอโซเทอมการดูดซับในตรรก-ไนโตรเจนแบบ Freundlich Isotherm ของตัวอย่างถ่าน	27
4.6	กราฟไอโซเทอมการดูดซับออร์โธฟอสเฟตแบบ Langmuir Isotherm ของตัวอย่างถ่าน	28
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความเข้มข้นของไนโตรท-ไนโตรเจนที่สถานะสมดุลและความเข้มข้นไนโตรท-ไนโตรเจนเริ่มต้น และระยะเวลาเวลาของการดูดซับ	30
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตที่สถานะสมดุลและความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟตเริ่มต้น และระยะเวลาเวลาของการดูดซับ	30

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดได้น้อยมาก จึงก่อให้เกิดปัญหาโทรฟิเคชัน (Eutrophication) กับแหล่งน้ำธรรมชาติได้ สารประกอบไนโตรเจนพบในแหล่งน้ำในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูงจะมีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรค เช่น โรค methemoglobinemia ในเด็กเกิดใหม่มากขึ้น (Wasik *et al*, 2001; Mizuta *et al*, 2004) วิธีการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยทั่วไปมักใช้วิธีการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) และการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) ซึ่งวิธีการดีไนทริฟิเคชันมักจะมีปัญหาในการรักษาภาวะให้เหมาะสมกับแบคทีเรีย และการกำจัดเซลล์แบคทีเรียที่ตายแล้ว (Wasik *et al*, 2001) ส่วนวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีปัญหาเรื่องสารรบกวนต่างๆ เช่น ซัลเฟตไอออน และการเกิดน้ำเกลือ (brine) เนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของสารแลกเปลี่ยนประจุ (Bae *et al*, 2002; Koparal *et al*, 2002) ส่วนวิธีการกำจัดฟอสฟอรัสโดยทั่วไปจะใช้วิธีทางชีวภาพ ได้แก่ การเลี้ยงเชื้อในถังปฏิกรณ์เพื่อคัดพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถจับฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งได้แก่ กระบวนการโฟรีดอกซ์ กระบวนการฟอสทริป และกระบวนการเอสปีอาร์ วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสทางเคมี ได้แก่ การตกตะกอนฟอสเฟตด้วยสารเคมี และการดูดซับ

ดังนั้นการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีการดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรท ง่ายต่อการดำเนินการ (Mizuta *et al*, 2004) มีค่าใช้จ่ายต่ำ และไม่ต้องใช้พลังงานหรือสารเคมีใด (Kim, 2004) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมาก (Gumermen *et al*, 1997; Ozturk and Bektas, 2004) กระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Agbanobi, 1999) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษามากขึ้นสำหรับการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับ และพบว่าวัสดุจากธรรมชาติมีประสิทธิภาพสูงในการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ (Abe *et al*, 2001) ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการที่จะนำถ่านซึ่งสามารถผลิตได้ภายในชุมชนมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (Imaoka *et al*, 1994; Yatagai *et al*, 1995) และจากผลการศึกษาของ Mizuta *et al*, (2004) พบว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนในช่วงความเข้มข้น 0-10 มก./ลิตรสูงกว่าถ่านกัมมันต์ ได้มีการนำพืชชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นถ่านเพื่อนำมาใช้ในการดูดซับมลพิษจากน้ำเสียมากขึ้น ต้นปอแก้ว (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) เป็นพืชที่ปลูกเพื่อผลิตเส้นใยเป็นการค้าในปัจจุบัน ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ใน

อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ อาหารสัตว์ และใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันเป็นต้น (Sameshima *et al.*, 1998) ได้มีการศึกษานำต้นปอไปใช้ดูดซับมลพิษจากน้ำเสีย พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเท่ากับ 1.3-1.7 กรัม/ตร.ม./วันและฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.24-0.26 กรัม/ตร.ม./วัน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นหลังจากใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว (Abe *et al.*, 1997; Abe and Ozaki, 1998) และจากการศึกษาของ Aoi (2000) นำเอาแกนของต้นปอไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์การค้าพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์การค้าที่ผลิตขายตามท้องตลาด ถ่านปอแก้วเป็นถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้ออ่อนจึงมีความพรุนมากกว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้อแข็ง และชุมชนสามารถผลิตใช้ได้เองตามกระบวนการเผาถ่านของชุมชน นอกจากนี้ถ่านปอแก้วยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้ว โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานำต้นปอแก้วซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติผลิตเป็นถ่านเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุดูดซับราคาถูก เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการดูดซับและการกำจัดมลพิษจากน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการนำวัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นตัวกรองในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
- 1.2.2 ศึกษาความเหมาะสมของวัสดุธรรมชาติในการนำมาใช้เป็นตัวกรองในการบำบัดน้ำเสีย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์
- 1.3.2 ศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท – ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์
- 1.3.3 ศึกษาความสามารถในการดูดซับไนเตรท – ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์
- 1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท – ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในชุดจำลอง

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไนโตรเจนในน้ำเสีย

ไนโตรเจนที่พบในน้ำตามแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำเสีย น้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่หลายรูปแบบคือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) หรือไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ที่เรียกว่า ไนโตรเจนอินทรีย์หรือออร์แกนิกไนโตรเจน (Organic Nitrogen) ไนไตรต์ (NO_2) และไนเตรต (NO_3) ไนโตรเจนมีวาเลนซ์ได้หลายค่า และการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์นี้เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต ขึ้นอยู่กับว่าเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนในรูปที่ไม่ละลายน้ำเป็นละลายน้ำ หรือจากสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปต่างๆก็อาจเปลี่ยนกลับไปมาได้โดยแบคทีเรียเช่นกัน โดยกระบวนการที่เรียกว่า ammonification nitrification และ denitrification ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญกับระบบนิเวศน้ำ เพราะทำให้มีสารอาหารซึ่งพวกพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆในน้ำสามารถนำไปใช้ได้ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2543) ไนโตรเจนในรูปต่างๆในน้ำมีความสำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย

2.1.1.1 ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen) ไนเตรทปกติพบน้อยมากในน้ำผิวดินแต่จะพบในระดับสูงในน้ำใต้ดินบางแห่ง ในปริมาณที่มากเกินไปไนเตรทจะมีส่วนในการทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia ในทารก ในน้ำโสโครกใหม่ๆจากบ้านเรือนจะพบไนเตรทในปริมาณน้อยมาก แต่ในน้ำทิ้งของ nitrifying biological treatment plant อาจพบไนเตรทในปริมาณที่สูงถึง 50 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตร ไนเตรทจัดเป็นสารอาหารสำคัญสำหรับ photosynthetic autotroph หลายตัว และในบางกรณียังพบว่าไนเตรทเป็น growth limiting nutrient ด้วย

2.1.1.2 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen) ไนไตรท์เป็นสภาวะกึ่งกลางของวัฏจักรไนโตรเจนทั้งในการออกซิเดชันของแอมโมเนียไป เป็นไนเตรทและในการรีดักชันของไนเตรท การออกซิเดชันและรีดักชันนี้อาจเกิดในโรงงาน กำจัดน้ำเสีย ในระบบการจ่ายน้ำและในน้ำธรรมชาติ ไนไตรท์อาจเข้ามาสู่ระบบประปาโดย การใช้มันเป็นตัวขัดขวางการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) ในน้ำของกระบวนการอุตสาหกรรม ไนไตรท์จำนวนเล็กน้อยที่พบในน้ำเนื่องจากการสลายตัวของชีวของโปรตีนเป็นตัวชี้ให้ทราบถึงความสกปรกเนื่องจากอินทรีย์สาร ไนไตรท์อาจพบบ้างในน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดแล้ว ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินไม่ค่อยพบไนไตรท์

2.1.1.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia - Nitrogen) หมายถึงไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูป

NH₄⁺ หรือในรูป NH₃ ซึ่งสมดุลกัน ตามธรรมชาติจะพบแอมโมเนียในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และในน้ำโสโครก แอมโมเนียจำนวนมากเกิดจากกระบวนการ deamination ของสารประกอบที่มีอินทรีย์สารไนโตรเจน และจากการไฮโดรไลซิสของยูเรีย นอกจากนี้ยังอาจเกิดตามธรรมชาติโดยการรีดักชันของไนเตรทภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในโรงบำบัดน้ำเสียบางแห่งแอมโมเนียจะถูกเติมลงไปเพื่อรวมกับคลอรีนตกค้างในน้ำ

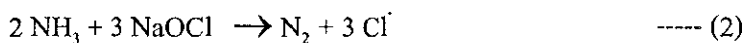
2.1.1.4 อินทรีย์สารไนโตรเจน (Organic Nitrogen) ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์จัดเป็นอินทรีย์สารไนโตรเจน ทั้งนี้รวมทั้งไนโตรเจนในรูปกรดอะมิโน และสารอินทรีย์อื่นๆที่สังเคราะห์ขึ้น ส่วนใหญ่ของอินทรีย์สารไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ้านเรือนอยู่ในรูปของโปรตีนและผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายของมัน เช่น polypeptides และกรดอะมิโน (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2543)

2.1.2 วิธีการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสีย

2.1.2.1 วิธีทางกายภาพ เช่น การไล่ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia stripping) โดยการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนให้อยู่ในรูปแอมโมเนีย และแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ไอออนและทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 10.8-11.5 เพื่อเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นก๊าซแอมโมเนียดังแสดงในสมการที่ 1

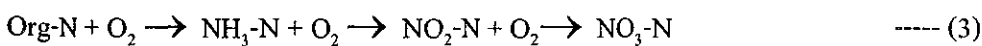


2.1.2.2 วิธีทางเคมี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) โดยการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกในน้ำเสียดังสมการที่ 2

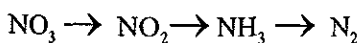


2.1.2.3 วิธีทางชีวภาพ โดยอาศัยปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชัน (Nitrification-Denitrification) ดังแสดงในสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

ปฏิกิริยาไนทริฟิเคชัน



ปฏิกิริยาดีนทริฟิเคชัน



การใช้ระบบ AS (Activated Sludge) กำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียได้แก่ การใช้แบบที่เรียกแบบแวนลอยในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตและ/หรือเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ระบบ AS แบบต่างๆ ไปจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนได้ (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2542)

2.2 ฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียอยู่ในรูปต่างๆกันของฟอสเฟต เช่น ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) หรือคอนเด็นส์ฟอสเฟต (Condensed phosphate) ฟอสเฟตเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือในรูปของซากพืชและสัตว์ ฟอสเฟตรูปต่างๆเข้ามาปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียได้หลายทาง เช่น เดิมลงไปใต้น้ำประปา เพื่อป้องกันการตกตะกอนภายหลังของ CaCO_3 นอกจากนี้ยังมาจากน้ำที่ใช้ในการซักฟอก หรือล้างขามซึ่งใช้ผงซักฟอกจากปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตร ซึ่งถูกชะล้างมาในน้ำฝนเป็นต้น ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักจะพบว่าเป็น Growth limiting nutrient ของแหล่งน้ำอยู่เนืองๆ ดังนั้นในการปล่อยน้ำเสีย หรือน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก็ตามลงในแหล่งน้ำอาจจะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่นตามมาได้(กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2.2.1 รูปของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

2.2.1.1 ออร์โธฟอสเฟต(Orthophosphate) พบมากในรูป Trisodium phosphate (Na_3PO_4) Disodium phosphate (Na_2HPO_4) และ Diammonium phosphate ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

2.2.1.2 คอนเด็นส์ฟอสเฟต (Condensed phosphate) เช่น Sodium hexametaphosphate $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ และ Tetrasodium pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) เป็นต้น

2.2.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) เช่น nucleic acid, phospholipids เป็นต้น

2.2.2 วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย

2.2.2.1 วิธีทางเคมี ประกอบด้วยปฏิกิริยาตกผลึก (Precipitation) ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และการดูดซับผิว (Adsorption) สารเคมีที่สามารถใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสอาจเป็น สารใดสารหนึ่งดังนี้ สารส้ม (Alum) เกลือของเหล็ก เช่น FeCl_3 และปูนขาว (Lime) การเติมสารเคมีดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาตกผลึกของฟอสเฟตในรูปต่างๆ เช่น AlPO_4 , FePO_4 หรือ $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ผลึกฟอสเฟตเหล่านี้เป็นคอลลอยด์ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถจับตัวกันเป็น ฟล็อก (floc) ด้วยปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันแบบ Sweep coagulation คอลลอยด์ฟอสเฟตจะเกาะจับกับสารประกอบฟอสเฟต (ที่เกิดจากปฏิกิริยาตกผลึก) ทำให้ได้ฟล็อกขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับผิวของฟล็อกที่เกิดขึ้น (มั่นสิน ตันฑกุลเวศม์, 2542)

2.2.2.2 วิธีทางชีวภาพ ได้แก่

- กระบวนการ โฟรีด็อกซ์ (Phoredox) ประกอบด้วยถังเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิด คือถังแอนแอโรบิก (Anaerobic tank) และถังแอโรบิก (Aerobic tank) มีลักษณะคล้ายระบบ AS ที่มีถังแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น

- กระบวนการฟอสทริป (Phostrip process) โดยสลัดจ์จากถังตกตะกอนชั้นที่สองจะถูกส่งกลับไปยังถังเติมอากาศ และจะถูกส่งไปเข้าถังแอนแอโรบิกก่อนเพื่อให้เกิดการคายฟอสฟอรัส สลัดจ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยจะถูกส่งกลับไปเข้าถังเติมอากาศ และฟอสฟอรัสที่แยกออกมาได้จะถูกนำไปบำบัดด้วยวิธีทางเคมี

- กระบวนการเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) โดยใช้ถังเอสบีอาร์ทำหน้าที่เป็นทั้งถังไร้ออกซิเจนและถังเติมอากาศ การคายฟอสฟอรัสและกำจัดบีโอดีเกิดขึ้นในช่วงไร้ออกซิเจน ตามด้วยการจับฟอสฟอรัส ออกซิเดชันของบีโอดีและไนทริฟิเคชันในช่วงเติมอากาศ เนื่องจากปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันที่เกิดขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545)

2.3 ปอแก้ว

ปอแก้วไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Hibiscus sabdariffa* var. *altissima* จัดอยู่ในตระกูล Malvaceae และมีชื่อสามัญว่า roselle มีรากแก้วหยั่งลึกลงในดิน ลำต้นสูงตั้งตรง ความสูง 1-4 เมตร พันธุ์ปอแก้วที่ปลูกในประเทศไทยมี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ใช้ประโยชน์จากเส้นใย (เปลือกของลำต้น) เป็นปอที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งเส้นใยได้จากเซลล์เส้นใยที่มาจากเปลือกของลำต้น นำไปแช่ฟอกตากแห้ง และชนิดที่ใช้กลีบรองดอกเป็นอาหารซึ่งเรียกว่ากระเจี๊ยบประเทศไทยปลูกปอแก้วเป็นส่วนใหญ่ โดยมีพื้นที่ปลูกเป็นอันดับ 4 ของโลก พื้นที่ปลูกปอแก้วอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจังหวัดอุบลราชธานีเป็นแหล่งปลูกปอที่ใหญ่ที่สุด (แจลล์ มาศวรรณ, 2546) ปอแก้วเป็นพืชที่สามารถทนสภาพแห้งแล้ง และอากาศร้อน สามารถขึ้นได้ในดินร่วนปนทราย และดินร่อนเหนียว ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในดินที่ค่อนข้างเป็นกรดที่ระดับ pH 4.5-6.5 (Dempsey, 1975; Maiti, 1980)

2.3.1 การใช้ประโยชน์ของปอแก้ว

2.3.1.1 ดินปอสามารถนำมาผสมกับพลาสติก เพื่อทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น ผนัง โดยมีการวัดความทนทานต่อลมพายุ หรือแผ่นดินไหว (Chow *et al.*, 1999) ผลิตภัณฑ์พลาสติกผสมปอมีข้อดีคือ ราคาถูก ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ใช้ได้หลายครั้ง ย่อยสลายทางชีวภาพได้ เส้นใยปอบาง มีความเหนียวสูง (Fermont, 2001)

2.3.1.2 วัสดุรองคอกสัตว์ แกนปอสามารถนำมาบด หรือสับเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปรองคอกสัตว์ เช่น คอกไก่ กรงแมว กรงหนูทดลอง คอกวัว คอกม้า เป็นต้น แกนปอเหมาะที่จะใช้รองคอกชนิดชั่วคราวที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายวัว หรือคอกที่ใช้วิธีตัก หรือกวาดของเสียออก และแกนปอจะทำให้คอกแห้งกว่าการใช้วัสดุอื่นๆ (Moore and Burcham, 1999)

2.3.1.3 อุตสาหกรรมกระดาษและกระดาษปอ ผลงานวิจัยจำนวนมากสรุปว่าปอสามารถผลิต

เชื้อกระดาษที่มีคุณสมบัติเชื่อมโยงสำหรับการทำกระดาษโดยเฉพาะกระดาษหนังสือพิมพ์ (Mehlhorn *et al*, 1998) ประเทศไทยเป็นประเทศแรกที่ทำกระดาษจากปอ โดยวิธีการคาร์ฟพอกสี (Bleached Kraft Pulp)

2.3.1.4 ไม้อัดปอ มีการนำแกนปอไปผลิตเป็นแผ่นไม้อัด และพบว่าไม้อัดที่ทำจากต้นปอทั้งต้น ชนิดที่มีความหนาแน่นปานกลางโดยใช้ความดัน พบว่าไม้อัดปอมีคุณสมบัติและคุณภาพบางประการ ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ (Muehl *et al*, 1999)

2.3.1.5 ผ้าจากเส้นใยปอ เส้นใยปอคุณภาพดีสามารถนำมาผสมกับฝ้าย และไหมในสัดส่วน ต่างๆกัน เพื่อทำผ้า ผ้าจากเส้นใยปอ แม้จะมีความสวยงาม แต่เนื้อผ้ายังมีความแข็งกระด้างและหยาบ ผ้าปอจึงเหมาะที่จะใช้ในการทำม่าน กระเป๋า หุ้มเฟอร์นิเจอร์ (Boyd *et al*, 1998)

2.3.1.6 ปอกำจัดมลพิษในอากาศ จากผลการศึกษาของ Inagaki (2001) พบว่าปอสามารถดูดซับ NO₂ ในเมือง โยโกฮาม่า ประเทศญี่ปุ่น และได้มีการทดลองปลูกปอในถนนสายหลักของเมืองด้วย

2.4 ประเภทของสารดูดซับ

สารที่มีอำนาจดูด โมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้ (Adsorbent) มีหลายชนิด มันสิ้น ดันทุลเวสม์ (2542) ได้แบ่งสารดูดซับออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.4.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ, แมกนีเซียมออกไซด์, ถ่านกระดูก (Bone Char), Activated Silica เป็นต้น สารอนินทรีย์ธรรมชาติจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก แต่ก็มีข้อเสียคือ จับโมเลกุลหรือ คอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์ของสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2.4.2 ถ่านกัมมันต์ อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ได้แต่เป็นสารดูดซับที่ดีกว่าสาร อนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มี โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) วัตถุดิบธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตเป็นถ่านกัม มันต์ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ช้างข้าวโพด แกลบข้าว กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชานอ้อย จี้เลื่อย เปลือกและเมล็ดผลไม้ ลิกไนต์ บิทูมินัส ถ่านไม้ น้ำมันดิบ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จัก กันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม (Kenneth *et al*, 1992) ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานสิ่งแวดล้อมได้แก่ การกำจัดสี กลิ่น และรส การกำจัดคลอรีนใน น้ำ การกำจัดโลหะหนักต่างๆ การกำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอล และกำจัดสารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

2.4.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งสารนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ

2.5.1 ความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะใช้ในการคำนวณหาค่าต่างของตัวอย่างถ่าน เช่น ความพรุน อัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่าน (สถาพร ภูวิจิตรจากรู, 2541) ซึ่งส่งผลโดยตรงถึงความสามารถในกำจัดมลพิษของตัวอย่างถ่านเมื่อนำตัวอย่างมาบรรจุเป็นตัวดูดซับใน filter unit การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของดิน, G_s แสดงตามสมการที่ 5

$$G_s = \frac{W_s \times G_T}{(W_2 + W_s) - W_1} \quad \text{---- (5)}$$

โดยที่ G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างถ่าน
 W_s = น้ำหนักตัวอย่างถ่านที่ทดลอง อบแห้ง, g
 W_2 = น้ำหนักขวด + น้ำที่อุณหภูมิทดสอบ (อ่านค่าจากโค้งสอบเทียบที่อุณหภูมิทดสอบ), g
 W_1 = น้ำหนักขวดแก้ว + น้ำ + ถ่าน ที่ทำการทดสอบ, g
 G_T = องค์กรประกอบแก้ปรับค่าอุณหภูมิที่ทำการทดลองจาก 4° C

2.5.2 ความหนาแน่นแห้ง

การคำนวณค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของตัวอย่างถ่าน, ρ_d แสดงตามสมการที่ 6

$$\rho_d = \frac{W_s}{V} \quad \text{---- (6)}$$

โดยที่ ρ_d = ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่าน, g/cm³
 W_s = น้ำหนักตัวอย่างถ่านแห้งที่ใช้ทดลอง, g
 V = ปริมาตรของกระบอกใส่ตัวอย่าง, cm³

2.5.3 อัตราส่วนช่องว่าง อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) คืออัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรตัวอย่างถ่าน การคำนวณอัตราส่วนช่องว่างในดิน, ε แสดงตามสมการที่ 7

$$\varepsilon = \frac{G_s \cdot \rho_w}{\rho_d} - 1 \quad \text{---- (7)}$$

- โดยที่ ϵ = ค่าอัตราส่วนช่องว่างในตัวอย่างถ่าน
 G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างถ่าน
 ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ, g/cm^3
 ρ_d = ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่าน, g/cm^3

2.5.4 ค่าความพรุน (Porosity) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินต่อปริมาตรทั้งหมดในชั้นดิน โดยที่ความพรุนมีมากขึ้นเท่าใดการไหลซึมก็ยิ่งดีขึ้นหรือเร็วขึ้นการคำนวณค่าความพรุน, n แสดงตามสมการที่ 8

$$n = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \quad \text{---- (8)}$$

- โดยที่ n = ค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน
 ϵ = ค่าอัตราส่วนช่องว่างในตัวอย่างถ่าน

2.5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน สถาพร คูวิจิตรจรรู (2542) กล่าวถึงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยวิธีระดับน้ำคงที่ (Constant Head) แสดงดังสมการที่ 9

$$k_t = \frac{Q \cdot Lc \times 60}{t \cdot h \cdot A} \quad \text{ซม. / วินาที} \quad \text{---- (9)}$$

- โดยที่ K_T = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน
 Q = ปริมาณน้ำที่วัดระหว่างทดสอบเวลา t , ซม.³
 Lc = ระยะระหว่างหลอดมาโนมิเตอร์วัดระดับน้ำ, ซม.
 t = ระยะเวลาที่ทดสอบ, วินาที
 h = ผลต่างระดับน้ำในหลอดมาโนมิเตอร์, ซม.
 $= h_2 - h_1$
 A = พื้นที่หน้าตัดกระบอกตัวอย่างดิน, ซม.²

Wang and Haung (1985) กล่าวว่าไว้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นของดิน ความชื้น ค่าความอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราส่วนช่องว่าง ค่าความพรุน และส่วนประกอบและโครงสร้างของดิน ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในดินต่างชนิดกันจะแตกต่างกันไป แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน cm/s	คุณสมบัติการระบายน้ำ
กรวด	มากกว่า 1	สูง
ทราย	$10^{-1} - 10^{-3}$	ปานกลาง
ทรายเม็ดละเอียด, ตะกอนทรายหยาบ	$10^{-3} - 10^{-5}$	ต่ำ
ทรายเม็ดป่น, ตะกอนทราย	$10^{-5} - 10^{-7}$	ต่ำมาก
ดินเหนียว	น้อยกว่า 10^{-7}	ซึมผ่านได้ยากมาก

ที่มา : สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2542 ; มณเฑียร กังคศิเทียม, 2539

2.5.6 ความเร็วการไหลซึมและความเร็วกายภาพ Freeze and Cherry (1979) กล่าวว่า การไหลซึมของน้ำผ่านดินเป็นแบบการไหลช้าๆไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยที่ความเร็วของการไหลซึมของน้ำสามารถเขียนเป็นสมการตามกฎของ Darcy ได้ดังสมการที่ 10 และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการไหลซึมกับความเร็วทางกายภาพ แสดงได้ดังสมการที่ 11 ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวัดในตัวอย่างถ่าน

$$V = ki = k \left(\frac{\Delta h}{\Delta l} \right) \quad \text{---- (10)}$$

โดยที่ V = ความเร็วของการไหลซึม, m/s

k = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างถ่าน, m/s

i = $\frac{\Delta h}{\Delta l}$ ความชันทางชลศาสตร์

Δh = ความต่างระดับของน้ำในช่วงความยาวของการไหลซึม, m

Δl = ช่วงความยาวของการไหลซึม, m

$$v = \frac{V}{\varepsilon} \quad \text{---- (11)}$$

โดยที่ v = ความเร็วทางกายภาพ, m/s

V = ความเร็วของการไหลซึม, m/s

ε = ค่าอัตราส่วนช่องว่างในตัวอย่างถ่าน

2.5.7. ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของมลสารผ่านชั้นตัวอย่างถ่านเข้าไปในชั้นน้ำ, t หาได้จากสมการที่ 12

$$t = \frac{\Delta l}{v} \quad \text{---- (12)}$$

โดยที่ t = ระยะเวลาการเคลื่อนที่มลสารผ่านชั้นตัวอย่างถ่าน, s
 Δl = ช่วงความยาวของการไหลซึม, m
 v = ความเร็วทางกายภาพ, m/s

2.6 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะติดบนพื้นผิว กระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของ 2 วัสดุภาค เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง ในการนำมาใช้กับการบำบัดน้ำเสียมักเป็นกระบวนการดูดซับระหว่างของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารดูดซับ เรียกว่าสารดูดซับ (Adsorbent) ตัวอย่างตัวดูดซับที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ion exchange resins, adsorbent resins, metal oxides, metal hydroxides และ clay เป็นต้น (Snoeyink and Summers, 1999)

2.6.1 กระบวนการดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.6.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมผิวหน้าของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวเป็นแบบแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) จึงเป็นการจับกันที่อ่อนและไม่มีการเกิดพันธะเคมีเกิดขึ้น พลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น (multilayers) แต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับหรือตัวถูกละลาย การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดมีค่าน้อยการหลุดออกของสารดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย

2.6.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบทางเคมี จึงเป็นการจับที่แข็งแรง กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้เอง

2.6.1.3 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) การดูดซับจากสารละลายคือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายมารวมกันอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง ในขณะที่กระบวนการการดูดซับดำเนิน

ไปข้างหน้า ตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลาย เมื่ออัตราการดูดซับและอัตราการคายสารออกเข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium state) เรียกว่าสมดุลของการดูดซับ ที่จุดสมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวหน้าของสารดูดซับ หรือในของเหลว สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย สารดูดซับ ตัวทำละลาย ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และอื่นๆ

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับผิวอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ในฟิล์ม (film diffusion) หรือการแพร่ในรูพรุน (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับมีความหนามากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ในทางตรงข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงจะทำให้หน้าไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาสารดูดซับได้รวดเร็วการเข้าไปในโพรง ซึ่งกรณีนี้การแพร่ในรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.7.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดซับ คือขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของสารดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราการดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของสารดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับผิว (Adsorption capacity) ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากก็จะดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย ยกเว้นในกรณีที่สารถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน

2.7.3 ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นกรด-ด่างมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

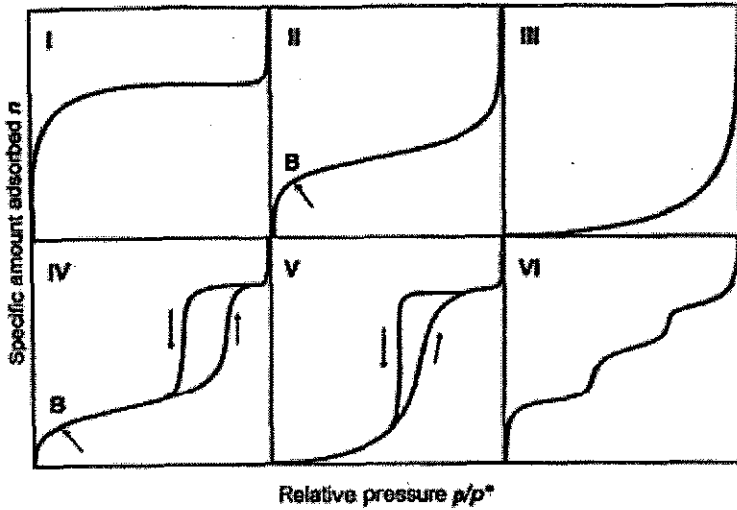
2.7.4 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ คือ อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ

2.7.5 ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย สำหรับการดูดซับที่ตัวถูกละลายมีความเข้มข้นมากจะทำให้อัตราการดูดซับเร็วกว่าการดูดซับที่มีความเข้มข้นน้อย

2.8 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

2.8.1 ลักษณะของไอโซเทอม

สำหรับลักษณะของไอโซเทอม แบ่งออกเป็น 6 รูปแบบดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบของไอโซเทอมของการดูดซับ (Rouquerol, et.al., 1999)

1) **Type I Isotherm** เป็นการดูดซับที่พบมากที่สุด ซึ่งดูดซับโดยที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมบนผิวของตัวดูดซับได้หนาเพียงหนึ่งชั้น (Single Layer Adsorption) พบทั้งในการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของ Microporous Powders ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative Pressure) ต่ำๆ และที่ความดันสัมพัทธ์สูงๆ เข้าใกล้ 1 จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งถ้ามีการดูดซับแบบนี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเป็น Microporous หรือ Nonporous และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์

2) **Type II Isotherm** พบมากในการดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อยๆ (ปริมาณที่ถูกดูดซับเข้าสู่ค่านันต์) โดยจะเกิดบน Nonporous Powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างกว่า Micropore (1.5 มิลลิเมตร) ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (Inflection Point or Knee of Isotherm) เกิดเมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์แล้ว (เป็น Monolayer เกือบสมบูรณ์) และถ้าเพิ่ม Relative Pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบ Multi-layer

3) **Type III Isotherm** เป็นการดูดซับคล้าย Type II Isotherm แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (Heat of Adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับของของเหลว ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าการเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวถูกดูดซับ

4) **Type IV Isotherm** เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type II Isotherm ความหนาของโมเลกุลชั้นแรกๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนเล็ก ๆ ภาพในตัวดูดซับเต็มหมดแล้วเป็น

ปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับรัศมีประมาณ 15-1000 อังสตรอม ความชันที่มีจุดเปลี่ยนกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Type II Isotherm คือเกือบเป็น Monolayer สมบูรณ์

5) Type V Isotherm เป็นการดูดซับคล้ายกับ Type III Isotherm ในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ แต่เมื่อการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะเข้าสู่ค่าสูงสุดค่าหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV Isotherm เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของตัวถูกดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งเกิดปฏิกิริยาค้ำกันและขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 15-1000 อังสตรอม

6) Type VI Isotherm หรือ Stepped Isotherm มีลักษณะการดูดซับเป็นขั้นๆ รูปร่างของสเตรปจะขึ้นอยู่กับระบบและอุณหภูมิ

2.8.2 สมการไอโซเทอมของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับในรูปสมการ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ใด ๆ สำหรับไอโซเทอมของการดูดซับในรูปสมการทั่วไปมีอยู่หลายสมการ ได้แก่สมการของ แลงเมียร์ (Langmuir), ฟรอนด์ลิก (Freundlich), เฮนรี (Henry), สไลกิน-ฟรัมกิน หรือ เทมกิน (Slygin-Frumkin or Temkin) และ บรุนเนาเออร์-เอมเมท-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller, BET) แต่สมการของแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรอนด์ลิก (Freundlich) จะเป็นที่ยอมรับใช้ (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2547) ซึ่งต่อไปนี้จะได้อธิบายสมการทั้งสอง

2.8.2.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิก (Freundlich Adsorption Isotherm)

ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\frac{x}{m} = X = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{---- (13)}$$

โดยที่ x = น้ำหนักของไนโตรเจน-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

m = น้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

X = อัตราส่วนของน้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (มก. ต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มก. ต่อลิตร)

K, n = ค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich Isotherm

และจากแบบจำลองของ Freundlich สามารถแสดงเป็นสมการเส้นตรงได้ดังต่อไปนี้

$$\log X = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{---- (14)}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log X$ และ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรงซึ่งมีความชัน $1/n$ และ $\log K$ เป็นจุดตัดแกน y ของ $\log X$ จากการศึกษาของ Tebbutt and Bahiah (1977) ได้อธิบายว่าสมการฟรอนด์ลิกไอโซเทอม

แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ โดยถ้าค่า $1/n < 1$ แสดงถึงค่าการดูดซับที่ไม่ดี ถ้า $1/n = 1$ แสดงถึงการดูดซับที่เป็นสมการเส้นตรง และถ้า $1/n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี ในส่วนของค่า K เป็นค่าที่บอกถึงค่าความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity)

2.8.2.2 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่ง่ายที่สุดสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งเสนอขึ้นโดยเออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ในปี ค.ศ. 1916 โดยมีสมมติฐานคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนและมีตำแหน่งของการดูดซับ (Adsorption Site) ที่แน่นอน ในแต่ละตำแหน่งของโมเลกุลของสารดูดซับ จะบรรจุโมเลกุลของสารที่ถูกโคชได้เพียงหนึ่งโมเลกุลนั้น แต่ในแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ และ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับที่อยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาของแลงเมียร์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับของของเหลวกับสารดูดซับ ได้ดังสมการที่ 15 ซึ่งเป็นรูปแบบการแสดงระบบของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ตัวถูกดูดซับถูกจำกัดให้ปกคลุมตัวดูดซับเพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ไม่มีการซ้อนทับกันของ โมเลกุล

$$X = \frac{X_{mb}C_e}{1 + bC_e} \quad \text{----- (15)}$$

- เมื่อ
- X = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ
 - C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล
 - a = ปริมาณตัวถูกดูดซับสูงสุดบนผิวของสารดูดซับ
 - K = ค่าคงที่ (Adsorption Binding Constant)

สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{aK} + C_e \frac{1}{a} \quad \text{----- (16)}$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{X}$ กับ C_e ที่อุณหภูมิคงที่จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดบนแกน y สามารถใช้หาค่า $\frac{1}{aK}$ และความชันของกราฟจะให้ค่า $\frac{1}{a}$ ซึ่งจะใช้คำนวณหาค่าคงที่ a และ K ได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษาวิจัยมากมายในการนำถ่านเพื่อใช้ในการกระบวนการบำบัดน้ำมาเป็นเวลานาน Imaoka *et al* (1994) ได้นำถ่านมาใช้เป็นวัสดุตัวกรองสำหรับการบำบัดน้ำจากแม่น้ำ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าถ่านมีความสามารถในการกำจัดสารมลพิษในน้ำ โดยกระบวนการส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการบวนการทางชีววิทยา Yatagai *et al* (1995) ได้นำถ่านซึ่งผลิตจากไม้ต่างๆ 4 ชนิด *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, *Quercus serata* and *Phyllostachys pubescens* และ กะลามะพร้าว พบว่าถ่านซึ่งผลิตจากสนชนิด *P. densiflor* มีความสามารถในการบำบัดน้ำสูงสุด และความสามารถในการบำบัดน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพของถ่าน เช่น ปริมาตรของรูพรุน ขนาดเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนขนาดใหญ่ และพื้นที่ผิวเฉพาะของรูพรุนขนาดเล็ก ถ่านที่มีปัจจัยทางกายภาพดังกล่าวสูงจะมีความสามารถในการบำบัดน้ำสูงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Abe *et al* (1998) ซึ่งศึกษาการดูดซับ chloroform และ trichloroethylene ของถ่านซึ่งผลิตจากสนชนิดต่างๆ เช่น Japanese cypress (*C.obtusa*) และ Japanese Cedar (*C. japonica*) พบว่าถ่านซึ่งผลิตจากสนมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า และความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะรูพรุนและขนาดของรูพรุน และได้มีการนำถ่านมาใช้ในกระบวนการกรองเพื่อผลิตน้ำดื่มมาใช้ โดย Agbanobi (1999) นำถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้อแข็งมาใช้เป็นวัสดุตัวกรองเปรียบเทียบกับทรายเพื่อใช้ในการกระบวนการกรองน้ำ พบว่าถ่านมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าทราย และลักษณะทางกายภาพของถ่านเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นตัวกรองเนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่า และได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของถ่านในการดูดซับสารประกอบพวกไนโตรเจน จากการศึกษาของ Ozturk and Bektas (2004) ซึ่งศึกษาการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนในช่วงความเข้มข้น 5-20 g/l ของ sepiolite, sepiolite activated และถ่านกัมมันต์ พบว่า activated sepiolite มีเวลาในการเข้าสู่สมดุลเร็วที่สุด สมดุลของการดูดซับของสารดูดซับทั้ง 3 ชนิดสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของ Freundlich และ Langmuir และพบว่า activated sepiolite มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนสูงสุด และจากการศึกษาของ Mizuta *et al* (2004) พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนจากน้ำของถ่านซึ่งทำจากไม้ไผ่เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการค้า พบว่าถ่านที่ทำจากไม้มีประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนในช่วง 0-10 mg/l สูงกว่าถ่านกัมมันต์

ในส่วนของต้นปอแก้วได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำต้นปอแก้วมาใช้ในการดูดซับ และใช้ในการกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยได้มีการนำต้นปอมาสับเป็นวัสดุชีวภาพเพื่อดูดซับกลิ่นในฟาร์มเลี้ยงสุกรพบว่าได้ผลดี โดยความเข้มข้นของกลิ่น และระดับแอมโมเนียในน้ำเสีย ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids) และของแข็งที่ละลายได้ (Total dissolved solids) และค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี (COD) มีค่าลดลงร้อยละ 50 จากค่าเริ่มต้น (Burcham *et al.*, 1999) และสารฟีนอลลดลงมากกว่าร้อยละ 70 (Burcham *et al.*, 2001) ต่อมาได้มีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบวัสดุกรองที่ทำจากไม้และปอ

พบว่าพืชที่มีลิกนินในปริมาณมากจะมีความสามารถดูดซับ Cu ได้ต่ำ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.2 ส่วนปอแก้วและปอควาามีปริมาณลิกนินต่ำกว่าจึงมีความสามารถดูดซับ Cu ได้สูงกว่าและสูงกว่าปอกระเจาประมาณหนึ่งเท่า โดยปอที่ผ่านการแช่น้ำแล้วจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลดลง (Han et al., 1999) Sameshima et al (2000) พบว่าวัสดุดูดซับที่ทำจากแกนปอเมื่อนำไปทำให้ร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสพบว่าจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 162-173 เมื่อเทียบกับแกนปอที่ไม่ถูกทำให้ร้อน แกนปอจะดูดน้ำมันได้เพิ่มขึ้นตั้งแต่ที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 300 องศาเซลเซียสแกนปอจะหดตัวจึงมีปริมาตรลดลงมาก และยังพบว่าแกนปอดูดซับน้ำมันได้มากกว่า 1 เท่าของปอสาญี่ปุ่น และจากการศึกษาของ Aoi (2000) ได้นำแกนปอไปแปรรูปเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในการกำจัดกลิ่นและสี พบว่าสามารถกำจัดสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตเพื่อใช้ในการค้า Yimrattanabovorn et al (2002) ได้นำดินปอความาปลูกบนชั้นของถ่านและดินจากภูเขาไฟ (Kanuma soil) เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองพบว่าดินปอควาสามารถเพิ่มอัตราการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ ซึ่งผลการศึกษานี้สนับสนุนการศึกษาของ Abe et al. (1997) และ Abe and Ozaki (1998) ซึ่งพบว่าดินปอเหมาะที่จะใช้เป็นพืชในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และสามารถนำไปใช้ประโยชน์หลังจากใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการดูดซับ Cu ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5

พืชที่ใช้ทำวัสดุกรอง	ลิกนิน	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
ชานอ้อย	19.9	0.3
ซีดาร์แดง	40.0	1.2
กะลามะพร้าว	35.7	2.6
ปอกระเจา	13.7	3.8
ปานศรณารายณ์	12.7	4.9
ปอแก้ว	9.7	7.3
ลิกนิน	2.9	7.7
ปอควา	9.9	8.5
เส้นใยต้นยาสูบ	16.5	10.7
ปอเทือง	11.1	11.8
เปลือกต้นยาสูบ	9.7	14.3

ที่มา; Han et al., 1999

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการวัดลักษณะสมบัติของตัวอย่างถ่านเพื่อจะนำไปใช้เป็นตัวกลางในกระบวนการกรองต่อไป และศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่าน โดยสถานที่ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยคือ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ ห้องปฏิบัติการรัฐพิทยศาสตร์อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 และ ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 8 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ซึ่งสามารถแบ่งการดำเนินงานวิจัยเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การเตรียมตัวอย่างและจำแนกขนาด

นำแกนของปอแก้วที่ลอกเปลือกออกแล้วมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ โดยผลิตในสภาพอากาศจำกัดที่อุณหภูมิประมาณ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำมาบดให้มีขนาดเล็กกลง แล้วจึงนำไปจำแนกขนาดของตัวอย่างถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์ โดยใช้วิธี Sieve Analysis (มาตรฐาน ASTM E 11) การจำแนกตัวอย่างถ่านทำได้โดยใช้ขนาดของตัวอย่างถ่านเป็นเกณฑ์โดยการใช้ตะแกรงร่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดที่ค้างและผ่าน ตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ โดยมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

3.1.1 ถ่านปอแก้ว A ผ่านตะแกรงเบอร์ ($1/4''$) และค้างตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร < ขนาดอนุภาค A < 8.0 มิลลิเมตร)

3.1.2 ถ่านปอแก้ว B ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร < ขนาดอนุภาค B < 4.75 มิลลิเมตร)

3.1.3 ถ่านกัมมันต์ AC ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร < ขนาดอนุภาค AC < 4.75 มิลลิเมตร)

นำถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์ที่จำแนกขนาดได้ไปล้างและแช่น้ำ จนกระทั่งน้ำที่ใช้ไม่มีตะกอนแขวนลอย จึงนำไปอบเพื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านคงที่แล้วจึงให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.2 ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของดิน โดยวิเคราะห์การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) ของตัวอย่างถ่านชนิดต่างๆ ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตามข้อกำหนดวัสดุ ASTM D-854 ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) แล้วจึงนำมาหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) และความพรุนของถ่าน (Porosity) แล้วจึงนำตัวอย่างถ่านแบบต่าง ๆ ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

(permeability) โดยวิธีระดับน้ำคงที่ (Constant Head) ตามข้อกำหนดวัสดุ ASTM D-2468 (สถาพร ฤ
วิจิตรจากรู, 2541)

3.2.1 การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ่าน สามารถทำได้โดยอาศัยการวัดจากปริมาตรของ
แก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของสาร แล้วนำมาคำนวณเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ ในการศึกษาวัยนี้ได้
ทำการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ่านชนิดต่างๆโดยวิธี BET (วีระศักดิ์ อุคมกิจเดชา และคณะ,
2543) โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area analysis; รุ่น: autosorb 1 บริษัท
Quantachrome Corporation)

3.2.2 ความหนาแน่นแห้ง เป็นค่าที่หาได้มาจากการทดสอบการบรรจุตัวอย่างถ่านที่อบจน
แห้งมีน้ำหนักคงที่ในปริมาตรกระบอกใส่ตัวอย่าง

3.2.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ ตัวแปรหลักในการหาความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างถ่าน คือ
น้ำหนักของขวดแก้วเมื่อมีน้ำอยู่เต็ม ซึ่งเป็นค่าไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สามารถหาได้
จากการสอบเทียบขวดแก้ว จำเป็นต้องทราบน้ำหนักนี้ที่อุณหภูมิที่ทำการเติมของผสมระหว่างน้ำและ
ตัวอย่างถ่านในขวดแก้ว เพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 5 ซึ่งการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของ
ตัวอย่างถ่านมีหลักการคือจะต้องทำการหาปริมาตรของตัวอย่างถ่านที่ทดลองด้วยวิธีการแทนที่น้ำ
ตามหลักการของอาร์คิมิดีส โดยกฎข้อหนึ่งว่า เมื่อมวลสารจมลงในน้ำ ปริมาตรน้ำที่ล้นออกมาจะมี
ปริมาตรเท่ากับปริมาตรของมวลสารนั้น

3.2.4 ค่าอัตราส่วนช่องว่างและค่าความพรุน นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือ ค่าความ
ถ่วงจำเพาะของตัวอย่างถ่าน, ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่านและค่าความหนาแน่นของน้ำเพื่อ
ใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 7 และ 8

3.2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน การทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีระดับน้ำคงที่ ทำ
โดยการปล่อยให้ระดับน้ำในท่อตั้งไหลผ่านตัวอย่างถ่าน ระดับในท่อตั้งที่ลดลงสามารถวัดปริมาณ
และความดันน้ำที่กระทำต่อตัวอย่างถ่านได้ โดยนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบ
ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างถ่าน

3.3 ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างถ่าน คือ คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้
เครื่องมือ CNS Analyzer (บริษัท LECO, Model CNS 2000) วิเคราะห์เพื่อหาร้อยละปริมาณแล้ว ใช้
วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 (America Society for Testing and Materials, 2000)

3.4 วัดความสามารถในการดูดซับของถ่าน

3.4.1 วัดการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจน

นำ 100 มล. ของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มก. /ลิตร ซึ่งเตรียมจากสารประกอบโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุผ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและผ่านกัมมันต์ น้ำหนักตั้งแต่ 1-10 กรัมตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่โดยใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

3.4.2 วัดการดูดซับออร์โธฟอสเฟต

นำ 100 มล. ของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตความเข้มข้น 5 มก. /ลิตร ซึ่งเตรียมจากสารประกอบแอนไฮดรัสโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุผ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและผ่านกัมมันต์ น้ำหนักตั้งแต่ 1-5 กรัมตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่เหลืออยู่โดยใช้วิธีแวนาโดมอลิบโดฟอสฟอริกแอซิด (Vanadomolybdophosphoric acid) (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

3.5 การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตซึ่งมีความเข้มข้นอย่างละ 5 มก. /ลิตร ปริมาตร 500 มล. ลงในแต่ละบีกเกอร์ที่บรรจุผ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาด และผ่านกัมมันต์น้ำหนัก 25 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที วัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างๆที่เหลืออยู่ในทุกๆ 30 นาทีจนกระทั่งความเข้มข้นคงที่

3.6 การทดสอบนำตัวอย่างผ่านไปใช้เป็นตัวกรองในชุดจำลอง

นำผ่านปอแก้วขนาด B ที่มีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดจากการทดลองในข้อ 3.1 และ 3.2 มาบรรจุลงในชุดกรอง (Filter Unit) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วยถังกรองทรงกระบอก 2 ถัง ซึ่งมีความสูง 50 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 ซม. โดยชั้นบนของทั้งสองกระบอกบรรจุกรวดชนิดหยาบที่มีขนาดโดยเฉลี่ย 8.00 มม. ให้มีความสูง 5 ซม. และชั้นล่างบรรจุกรวดชนิดละเอียดที่มีขนาดโดยเฉลี่ย 0.50 มม. ให้มีความสูง 5 ซม. ส่วนชั้นกลางระหว่างชั้นบนและชั้นล่างที่กล่าวมาแล้ว ในกระบอกที่ 1 บรรจุผ่านกัมมันต์ และกระบอกที่ 2 บรรจุผ่านปอแก้ว A หรือ ผ่านปอแก้ว B โดยกำหนดให้ตัวอย่างผ่านแต่ละชนิดมีน้ำหนักเท่ากับ 1038.6 กรัม ในแต่ละกระบอกจะกำหนดการจ่ายน้ำเสียเทียมด้วยอัตราการไหลแบบต่อเนื่อง 35.33 ลิตร/วัน น้ำเสียเทียมที่เตรียมมีค่าซีโอดี (COD) เข้มข้นเท่ากับ 500 มก. /ลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตความเข้มข้นอย่างละ 5 มก. /ลิตร ดังนั้นในแต่ละกระบอกที่บรรจุตัวอย่างผ่านแต่ละชนิดจะมีค่า detention time

ตั้งต่อไปนี้ถ่านกัมมันต์ AC เท่ากับ 1.5 นาที ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 1.24 ชม. ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 1.6 ชม.(คำนวณจากสมการที่ 5-12 จากบทที่ 2) หลังจากนั้นวัดความเข้มข้นของค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่หลังจากผ่านชุดกรองทุก ๆ 4 ชั่วโมง นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการกำจัด ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต



รูปที่ 3.1 ชุดกรอง (Filter Unit)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

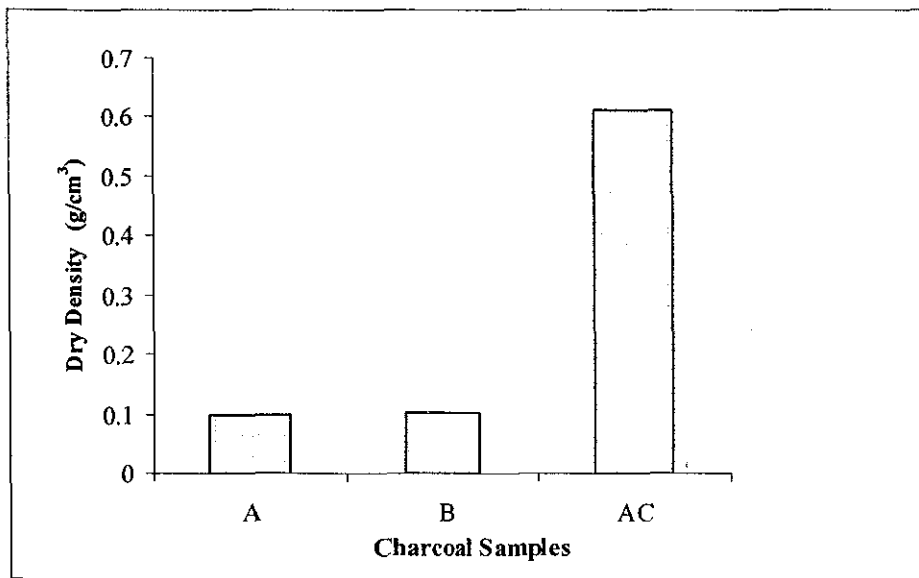
จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพสามารถจำแนกขนาดของถ่านปอแก้วออกเป็น 2 ขนาด โดยถ่านปอแก้ว A มีขนาดใหญ่กว่าถ่านปอแก้ว B และถ่านกัมมันต์การค้า AC มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.85 มม. - 4.75 มม. ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 และเมื่อนำตัวอย่างถ่านมาวัดพื้นที่ผิวจำเพาะพบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 695.5 ตร.ม./กรัม ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 336.6 ตร.ม./กรัม และ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 148.4 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติแล้วสารดูดซับที่ดีควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 100-1000 ตร.ม./กรัม (McKay, 1995) และผลลักษณะสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ทำให้เห็นความแตกต่างทางกายภาพของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์การค้าดังต่อไปนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านกัมมันต์การค้า AC และถ่านปอแก้วเท่ากับ 2.15 และ 1.47 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่าน (รูปที่ 4.1) เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 0.6115 กรัม/ลบ.ซม. ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 0.1031 กรัม/ลบ.ซม. และ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 0.1000 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่าน (รูปที่ 4.2) เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 21.4699 ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 19.8243 และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 1.4006 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านปอแก้วมีส่วนปริมาตรอากาศมากกว่าปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็ง โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความพรุนของถ่าน โดยค่าความพรุน (รูปที่ 4.3) เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 95.55 % ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 95.20 % และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 58.34 % ตามลำดับ มีการศึกษาพบว่าช่องว่างภายในถ่านเหมาะเป็นที่อยู่สำหรับจุลินทรีย์ และมีผลต่อความสามารถในการบำบัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านได้ (Abe et al., 1993; Imaoka et al., 1994; Agbanobi, 1999) ซึ่งจากผลการศึกษาอัตราส่วนช่องว่างของถ่านปอแก้วสูงกว่า 50 % มีแนวโน้มที่ถ่านปอแก้วจะสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างถ่าน(รูปที่ 4.4 และ ภาคผนวก ก) เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 4.3316 ซม./วินาที ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 1.7183 ซม./วินาที และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 0.3703 ซม./วินาที ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของถ่านออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมากกว่า 1 จะมีคุณสมบัติการระบายน้ำสูงเทียบเท่ากับกรวดได้แก่ ถ่านปอแก้วขนาด A และ B และกลุ่มที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ระหว่าง 10^{-1} - 10^{-3} จะมีคุณสมบัติการระบายน้ำปานกลางเทียบเท่าหินทราย ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (สถาพร คูวิจิตรจรรยา, 2541) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การ

ซึมผ่านของตัวอย่างถ่านจะมีผล เมื่อนำถ่าน ไปใช้เป็นตัวกรองในชุดการกรอง โดยถ่านที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงจะมีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำเสียน้อยกว่าถ่านที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การซึมผ่านต่ำ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

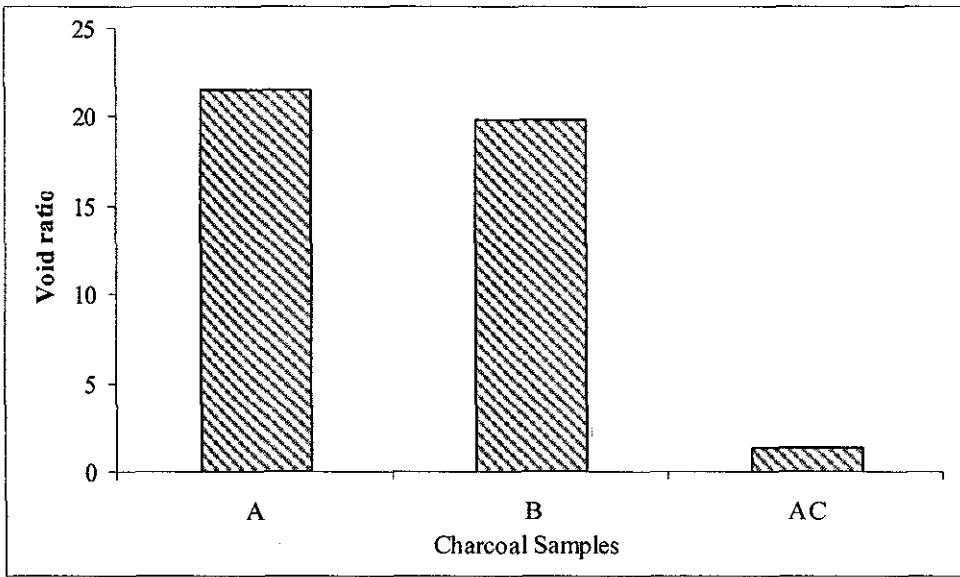
Sample	Particle size (mm)	Surface Area (m ² /g)	Dry density (g/cm ³)	Permeability coefficient (cm/s)	Porosity (%)	Void ratio
A	4.75 < A < 6.30	148.4	0.1000	4.3316	95.55	21.4699
B	2.00 < B < 4.75	336.6	0.1031	1.7183	95.20	19.8243
AC	0.85 < AC < 4.75	695.5	0.6115	0.3703	58.34	1.4006

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon



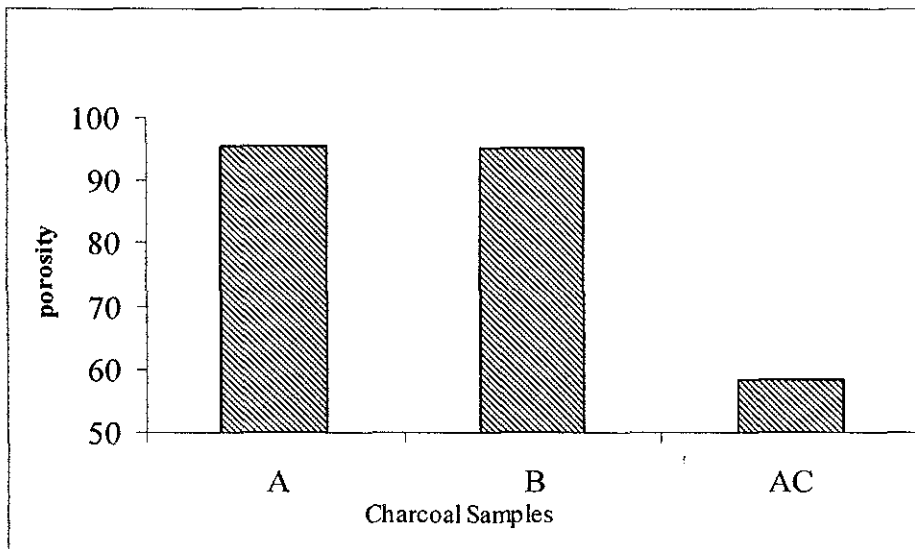
รูปที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่าน

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon



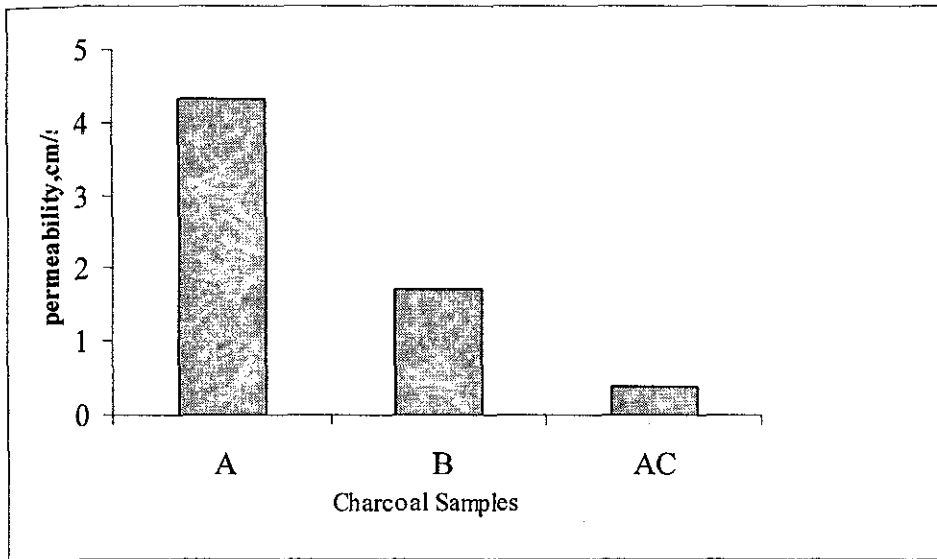
รูปที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่าน

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon



รูปที่ 4.3 ค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon



รูปที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างถ่าน

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ของตัวอย่างถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์ (% ต่อน้ำหนักแห้ง)

Sample	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)
Roselle charcoal	90.36	1.5	0.001
activated Carbon	89.77	0.6	0.26

4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี พบว่าถ่านปอแก้วมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 90.36 % และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 89.77 % ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าถ่านปอแก้วมีปริมาณคาร์บอนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ ส่วนค่าปริมาณเถ้าของถ่านปอแก้วเท่ากับ 4 % และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 13 % มีการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับที่ดีควรมีปริมาณคาร์บอนสูง (Bansal et al., 1988; Chen et al., 2002) และปริมาณเถ้าที่สูงจะมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับลดลง (Linares-Solano et al., 2000) ดังนั้นจากลักษณะสมบัติทางเคมีของถ่านปอแก้วจึงนับว่าถ่านปอแก้วมีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้

4.3 ความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่าน

4.3.1 การดูดซับ ไนเตรท-ไนโตรเจน

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับได้ต่อ น้ำหนักถ่านปอแก้วขนาดต่าง ๆ และถ่านกัมมันต์การค้าที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ นำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir isotherm และแบบ Freundlich isotherm การดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนจากสารละลายโดยถ่านของการดูดซับแบบ Langmuir แสดงดังสมการที่ 1

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{bX_m} + \frac{C_e}{X_m} \quad \text{--- (1)}$$

โดยที่ X = อัตราส่วนของน้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (มก./กรัม) C_e = ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุล (มก./ลิตร) b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ X_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เรียงแบบชั้นเดียว (Monolayer) ในลักษณะปกคลุมผิวของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (มก./กรัม) และเมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e จะได้สมการเส้นตรงและสามารถหาค่าคงที่ X_m และ b ได้ จากความชันและจุดตัดแกนของสมการแบบ Langmuir ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 และเมื่อนำผลการทดลองมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich แสดงดังสมการที่ 2

$$\frac{X}{m} = X = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{--- (2)}$$

โดยที่ x = น้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (มก.) m = น้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม) X = อัตราส่วนของน้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (มก./กรัม) C_e = ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุล (มก./ลิตร) K, n = ค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich Isotherm และจากแบบจำลองของ Freundlich สามารถแสดงเป็นสมการเส้นตรง แสดงดังสมการที่ 3

$$\log X = \log K + 1/n \log C_e \quad \text{--- (3)}$$

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log X$ และ $\log C_e$ ของถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและถ่านกัมมันต์การค้าดังแสดงใน รูปที่ 4.5 และนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของ Freundlich ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ที่จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ของ Langmuir isotherm ที่ได้มีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่า Langmuir isotherm ไม่เหมาะที่จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับนี้ได้ (Ramakrishna และ Viraraghavan, 1997) และเมื่อพิจารณาค่า coefficient of determinations (r^2) มีค่าอยู่ในช่วง 0.3877-0.7487 มีค่าน้อยกว่าของ Freundlich ซึ่งอยู่ในช่วง 0.8728-0.9830 Ozturk และ Bektas (2004) กล่าวว่าเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ควรพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า coefficient of determinations ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ Freundlich isotherm จึงเหมาะสมกว่าในการนำมาอธิบายกระบวนการดูดซับครั้งนี้ แสดงว่าลักษณะการดูดซับเป็นแบบ heterogeneous ไม่สามารถหาค่าอัตราการดูดซับสูงสุดได้

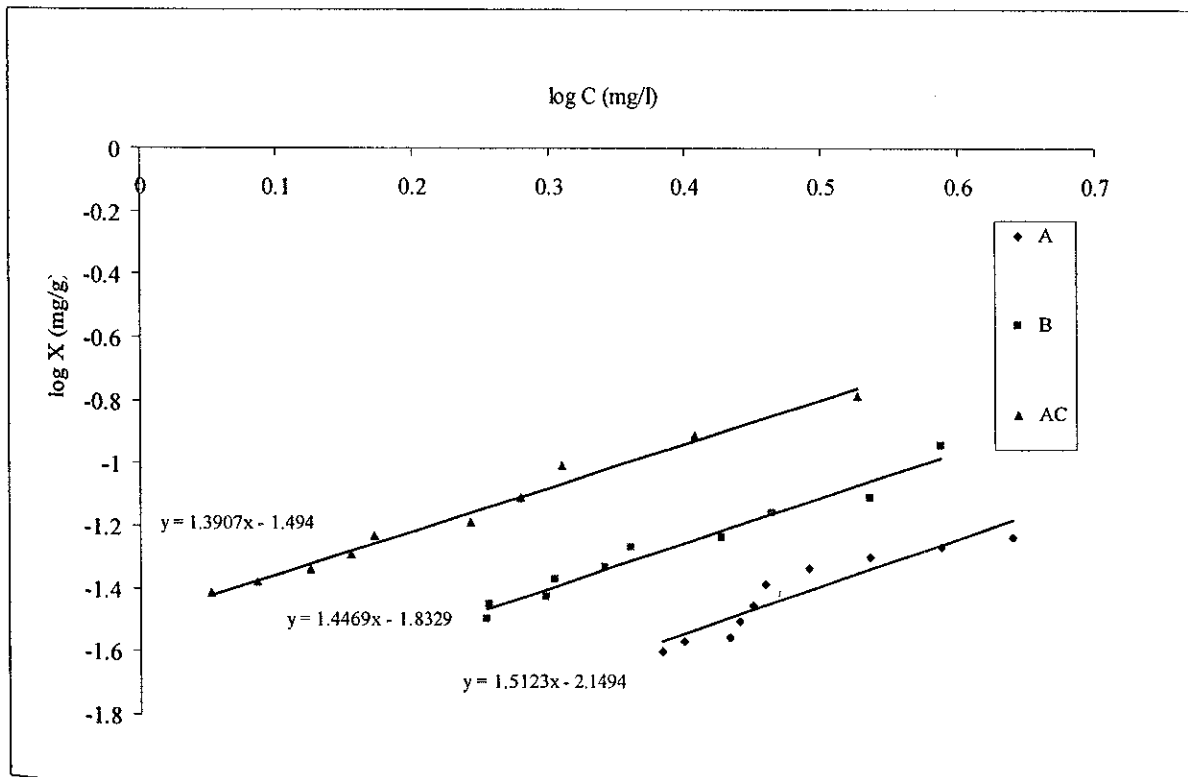
จากค่าคงที่ของ Freundlich ค่า K ของตัวอย่างถ่านซึ่งแสดงถึงปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ พบว่าค่า K ของถ่านกัมมันต์การค้า $AC >$ ถ่านปอแก้ว $B >$ ถ่านปอ

แก้ว A แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC มีความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่านมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยกับงานวิจัยของ Faust and Aly (1987) พบว่าพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมฟรุนดลิช แลงเมียร์ และค่า coefficient of determinations (r^2)

จากการทดสอบการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่าน

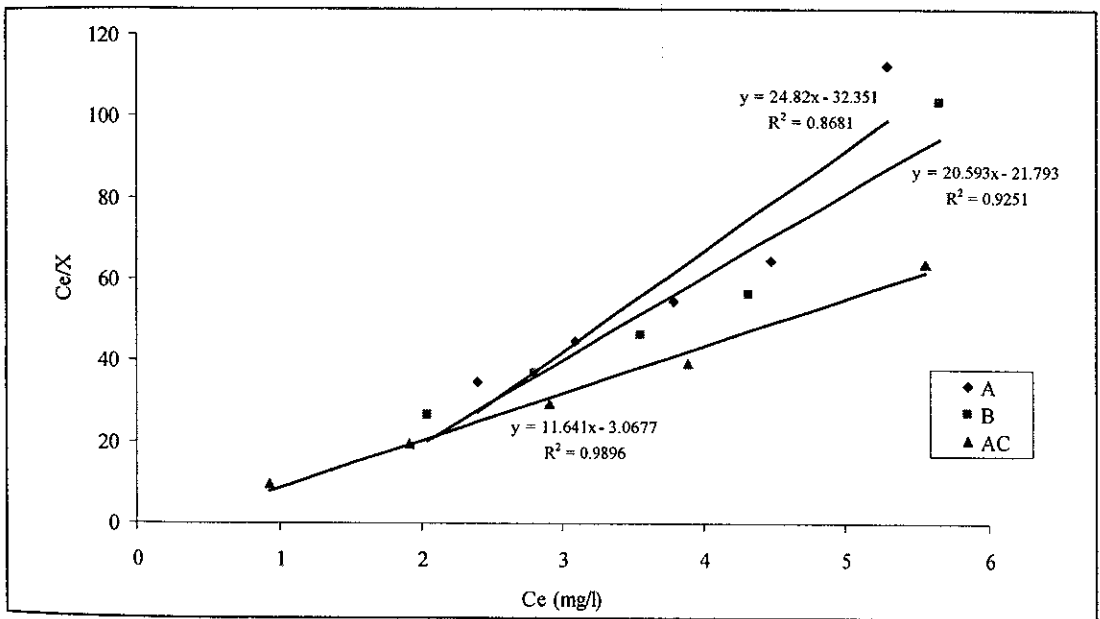
Sample	Particle	Langmuir Constants			Freundlich constants		
		X_m	b	r^2	K	n	r^2
A	4.75 < A < 6.30	-0.0843	-0.1011	0.3877	0.0071	0.6612	0.8728
B	2.00 < B < 4.75	-0.1355	-0.1142	0.7199	0.0147	0.6911	0.9675
AC	0.85 < AC < 4.75	-0.2203	-0.1346	0.7487	0.0321	0.7191	0.9830



รูปที่ 4.5 กราฟไอโซเทอมการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน แบบ Freundlich Isotherm ของตัวอย่างถ่าน A (4.75 < A < 6.30), B (2.00 < B < 4.75) และ activated carbon: AC (0.85 < AC < 4.75)

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมฟรุนดลิช และ แลงเมียร์ และค่า coefficient of determinations (r^2) จากการทดสอบการดูดซับออร์โทฟอสเฟตของตัวอย่างถ่าน

Sample	Particle	Langmuir Constants			Freundlich constants		
		X_m	b	r^2	K	n	r^2
A	4.75 < A < 6.30	0.0403	-0.7670	0.8681	0.1241	-0.8670	0.5031
B	2.00 < B < 4.75	0.0486	-0.9442	0.9251	0.1044	-3.2062	0.4831
AC	0.85 < AC < 4.75	0.0859	-3.7951	0.9896	0.1011	-19.2678	0.3871



รูปที่ 4.6 กราฟไอโซเทอมการดูดซับออร์โทฟอสเฟต แบบ Langmuir Isotherm ของตัวอย่างถ่าน A (4.75 < A < 6.30), B (2.00 < B < 4.75 and activated carbon: AC (0.85 < AC < 4.75)

4.3. 2 การดูดซับออร์โทฟอสเฟต

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่ถูกดูดซับได้ต่อน้ำหนักถ่านปอแก้วขนาดต่าง ๆ และถ่านกัมมันต์การค้าที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ นำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir isotherm และแบบ Freundlich isotherm เพื่อหาค่าคงที่ดังแสดงใน ตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ของ Freundlich isotherm มีค่า coefficient of determinations (r^2) มีค่าอยู่ในช่วง

0.3871-0.5031 มีค่าน้อยกว่าของ Langmuir isotherm ซึ่งอยู่ในช่วง 0.8681-0.9896 แสดงให้เห็นว่า Freundlich isotherm ไม่เหมาะที่จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับนี้ได้ จากค่าคงที่ของ Langmuir isotherm ค่า X_m ซึ่งแสดงถึงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ แสดงถึงการดูดซับที่เกิดชั้นเดียว (monolayer) อย่างสมบูรณ์ และค่า b เป็นค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ พบว่าค่า X_m ของถ่านกัมมันต์การค้า AC > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านปอแก้ว A แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์การค้า AC มีความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A โดยถ่านปอแก้วทั้งสองขนาดมีความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตไม่แตกต่างกัน

4.4 การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ

4.4.1 เวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

จากผลการศึกษาเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านดังแสดงใน รูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC เข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดในเวลา 180 นาที ส่วนถ่านปอแก้ว A และ B เข้าสู่สมดุลภายในช่วงเวลา 210-240 นาที จากการศึกษาของ Gregg และ Sing (1982) พบว่าค่าความพรุนจะมีผลต่ออัตราการดูดซับทางกายภาพ โดยตัวดูดซับที่มีความพรุนสูงจะทำให้อัตราการดูดซับช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยอัตราเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน และจากผลการศึกษา ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่านพบว่าค่าความพรุนของถ่านปอแก้ว A > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านกัมมันต์การค้า AC ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

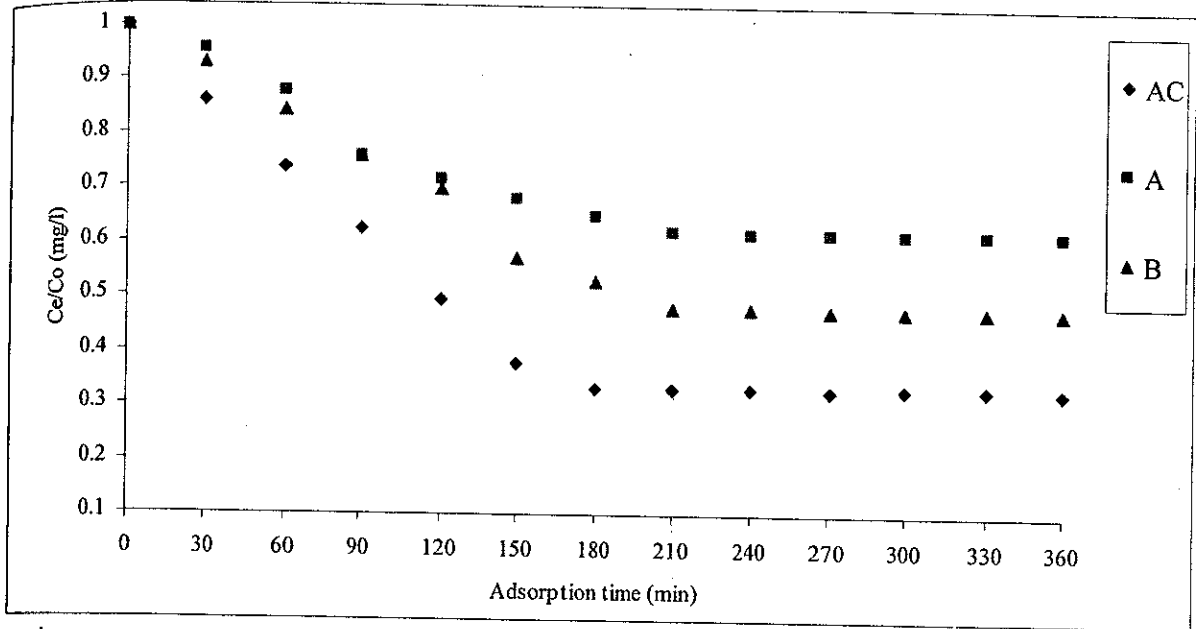
4.4.2 เวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับออร์โทฟอสเฟต

จากผลการศึกษาเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับออร์โทฟอสเฟตของตัวอย่างถ่านดังแสดงใน รูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเวลาเข้าสู่สมดุลของตัวอย่างถ่านทั้ง 3 ชนิด ใกล้เคียงกันโดยจะเข้าสู่สมดุลภายในช่วงเวลา 60-70 นาที

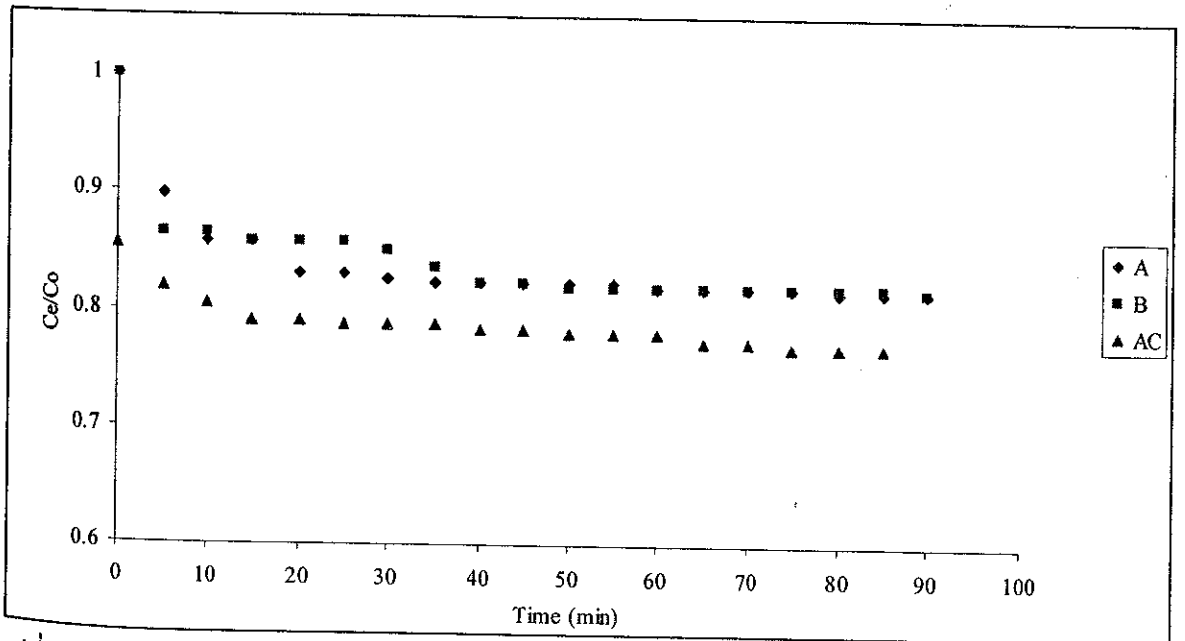
4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โทฟอสเฟตในชุดการกรอง

ผลการศึกษาอัตราการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของชุดการกรองของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ AC สูงสุดเท่ากับ 2.80 มก./ลิตร/วัน รองลงมาได้แก่ ถ่านปอแก้ว B และ A ตามลำดับ โดยถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 2.1 มก./ลิตร/วัน ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 1.15 มก./ลิตร/วัน (ดังแสดงในตารางที่ 4.5) และเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านแต่ละชนิดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์ AC เท่ากับ 52.0 % ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 39.0 % ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 23.0 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท-

ไนโตรเจนมากกว่าถ่านปอแก้ว B ประมาณ 13 % ส่วนอัตราการกำจัดออร์โทสเฟตของชุดการกรองของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ AC สูงสุดเท่ากับ 2.50 มก./ลิตร/วัน รองลงมาได้แก่ ถ่านปอแก้ว B



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุลและความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจนเริ่มต้น (C_e/C_0) และระยะเวลาของการดูดซับ (min) Kenaf charcoals: A ($4.75 < A < 6.30$), B ($2.00 < B < 4.75$) and activated carbon: AC ($0.85 < AC < 4.75$)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความเข้มข้นของออร์โทสเฟตที่สภาวะสมดุลและความเข้มข้นออร์โทสเฟตเริ่มต้น (C_e/C_0) และระยะเวลาของการดูดซับ (min)

Kenaf charcoals: A (4.75 < A < 6.30), B (2.00 < B < 4.75 and activated carbon: AC (0.85 < AC < 4.75)

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต

Sample	Removal efficiency			
	Nitrate-nitrogen		Orthophosphate	
	mg/l/day	%	mg/l/day	%
Roselle charcoal, A	1.15	23.0	0.90	18.0
Roselle charcoal, B	1.95	39.0	1.15	23.0
activated Carbon, AC	2.60	52.0	2.50	50.0

และ A ตามลำดับ โดยถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 1.15 มก./ลิตร/วัน ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 2.50 มก./ลิตร/วัน และเมื่อนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดออร์โธฟอสเฟตของถ่านแต่ละชนิดเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 50.0 % ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 23.0 % และถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 18 % โดยถ่านกัมมันต์การค้า AC จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าถ่านปอแก้วเกือบ 2 เท่า ถึงแม้ว่าจากผลการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์การค้าจะสูงกว่าถ่านปอแก้ว B ถ่านปอแก้วก็ยังคงจัดว่าเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับและเวลาที่เข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้า และถ่านปอแก้วมีลักษณะสมบัติทางเคมีที่มีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้ อีกทั้งถ่านปอแก้วมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก และสามารถนำไปเผาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ในกระบวนการดูดซับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ไอโซเทอมการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Freundlich ในขณะที่ไอโซเทอมการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของตัวอย่างถ่านสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Langmuir

5.1.2 ความสามารถในการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านปอแก้ว A ตามลำดับ

5.1.3 ความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านปอแก้ว A ตามลำดับ

5.1.4 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตของตัวอย่างถ่าน

5.1.5 เวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านกัมมันต์การค้า AC เร็วที่สุดภายในเวลา 180 นาที ส่วนถ่านปอแก้ว A และ B เข้าสู่สมดุลภายในเวลา 210-240 นาที โดยมีความสัมพันธ์กับค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน

5.1.6 เวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของตัวอย่างทั้งสามชนิดใกล้เคียงกัน โดยจะเข้าสู่สมดุลภายในช่วงเวลา 60-70 นาที

5.1.7 จากลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่านปอแก้ว พบว่าถ่านปอแก้วมีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดีเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้า

5.1.8 ในชุดจำลองการกรองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน ของถ่านกัมมันต์การค้า AC สูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A ประมาณร้อยละ 13 และประสิทธิภาพการดูดซับและออร์โธฟอสเฟตสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A สองเท่า

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ถ่านปอแก้วทั้งสองขนาดยังมีความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนต่ำกว่าถ่านกัมมันต์การค้า ดังนั้นในงานวิจัยขั้นตอนต่อไปควรจะมีการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ และปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไนเตรท – ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตของถ่านปอแก้ว เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และควรมีการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไนเตรท – ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตต่อความสามารถในการดูดซับ ก่อนที่จะ

นำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียจริง และควรมีการศึกษาถึงกระบวนการการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์
ภายในช่องว่างของถ่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านปอแก้ว

บรรณานุกรม

- กรณีการ สิริสิงห. (2543). เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์, พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทประยูรวงศ์จำกัด. กรุงเทพมหานคร. Pp 387.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ(พิมพ์ครั้งที่ 1). สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ ฯ
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. (2547). วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่มที่ 5. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอสอาร์พรีนติ้งแมสโปรดักส์: นนทบุรี.
- แลล้ม มาศวรรณ. (2546). ผลิตภัณฑ์ปอและการปลูกปอในประเทศต่างๆ. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. 178 หน้า
- มณเฑียร กังศศิเทียม (2539). กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- มันสิน ตันทุลเวศม์. (2542). เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. (2543). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงาน โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 347 หน้า
- สถาพร คูวิจิตรจาร์. (2541). ทดลองปฐพีกลศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่1) รุ่งแสงการพิมพ์: กรุงเทพฯ. 480 หน้า.
- สถาพร คูวิจิตรจาร์. (2542). ปฐพีกลศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่1) รุ่งแสงการพิมพ์: กรุงเทพฯ. 2532.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมด่านกัมมันต์. ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ. 106(226). 1-10.
- Agbanobi, R.O. (1999). Using granulated wood charcoal as a filter medium. J. Environ. Qual., 28 : 1,038-1,040.
- Abe, K., Ozaki, Y., and Kihou, N. (1993). Use of higher plants and bed filter material for domestic wastewater treatment in relation to resource recycling. Soil. Sci. Plant. Nutr., 39 : 257-267.
- Abe, K., Ozaki, Y., and Kihou, N. (1997). Introduction of fiber plants to plant bed filter systems for wastewater treatment in relation to resource recycling. Soil. Sci. Plant. Nutr., 43 : 35-43.
- Abe, K., and Ozaki, Y. (1998). Comparison of useful terrestrial and aquatic plant species for removal of nitrogen and phosphorus from domestic wastewater. Soil. Sci. Plant. Nutr., 44 : 599-607.
- Abe, I., Fukuhara, T., Maruyama, J., Tatsumoto, H., and Iwasaki, S., (2001). Preparation of

- carbonaceous adsorbents for removal of chloroform from drinking water. *Carbon*, 39 :1069-1073.
- Aoi, T. (2000). Phytoremediation by kenaf in the Tone river basin, Proceeding of The International Kenaf Symposium; October 13-14, 2000; Hiroshima, Japan, 51-54.
- APHA, AWWA and WPCF. (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition, American Public Health Association Inc. Washington D.C.
- America Society for Testing and Materials. (2000). Annual book of ASTM Standard. 37th Edition, West conshohocker. USA.
- Bae, U.B., Jung, Y-H., Han, W-W. and Shin, H-S. (2002). Improved brine recycling during nitrate removal using ion exchange. *Water Research.*, 36 : 3330-3340.
- Bansal, R.C., Donnet, J.B. and Stoechli, F. (1988). Active carbon. Marcel Dekker, New York.
- Boyd, C.R., Ramaswamy, G.N. and Soeharto, B. (1999). Characteristics of lightweight Kenaf cotton fabrics. American Kenaf society second annual conference proceedings. February 25-26, 1999. San Antonio, TX. 123.
- Burcham, T.N., Jones, J.M., Columbus, E.P. and Zappi, M.E. (1999). Kenaf medium bioreactor treatment system (KMBTS). American Kenaf society second annual conference proceedings. February 25-26, 1999. San Antonio, TX. 1-15.
- Burcham, T.N., Jones, J.M., Columbus, E.P. and Zappi, M.E. (2001). Continued research of a pilot scale swine odor reduction bioreactor system (SORB). American Kenaf society proceedings, Fiber for our future. Fourth annual conference. November 15-17, 2001. Atlanta, Georgia. 91-105.
- Chen, X., Jeyaseelan, S. and Graham, N. (2002). Physical and chemical properties study of the activated carbon made from sewage sludge. *Waste Management.*, 22 : 755-760.
- Chow, P., Bowers, T., Bajwa, D.S. and Youngquist, J.A. (1999). Mechanical holding power of melt-blend boards made from recycled plastic and kenaf. American Kenaf Society Second Annual Conference Proceedings. February 25-26, 1999, San Antonio, TX, pp. 31-36.
- Dempsey, J.M. (1975). *Fiber Crops*. Rose Printing Company, Tallahassee, FL, USA. 203-233.
- Faust, S.D. and Aly, O.M. (1987). Adsorption processes for water treatment, Butterworth United States of America.
- Farmont, M. (2001). Creating markets for Kenaf, the Italian experience. American Kenaf Society Proceeding, Fiber for our future. Fourth Annual conference. November, 15-17, 2001.

- Atlanta, Georgia. pp. 24-28.
- Freeze, Allan R. and Cherry, Jonn A. (1979). Groundwater. Englewood Cliffs, N.J:Prentice Hall International, Inc., America.
- Gregg, S. J. and Sing, K. S. W. (1982). Adsorption surface area and porosity. London: Imperial college Press.
- Gumerman, R.C., Culp, R.L., and Clark, R.M. (1997). The cost of granular activated carbon absorption treatment in U.S. J. Am. Water Works Assoc., 690: 71-111.
- Han, J.S., Miyashita, E.S., Lin, Y. and Roa, A. (1999). Stormwater filtration of a municipal detention pond. Kenaf properties. Processing and Products. Mississippi State University, USA. 471-485.
- Inagaki, H. (2001). Recent progress of Kenaf in Japan. American Kenaf society proceedings. Fiber for our future. Fourth annual conference, November 15-17, 2001. Atlanta, Georgia. 57-59.
- Imaoka, M., Hirayama, K. and Sato, H. (1994). The effect of using charcoal for river water quality conservations. The research report of faculty of Technology, Yamanashi University, 4 : 91-102.
- Kenneth, E., Gounaris, V., Hau Wain-Sue. (1992). Adsorption technology for air and water pollution Control. Michigan: Lewis: 1-45.
- Koparal, A.S. and Ogutveren, U.B. (2002). Removal of nitrate from water by electro reduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials., B89 : 83-94.
- Kim, D.S. 2004. Adsorption characteristics of Fe (III) and Fe (III)-NTA complex on granular activated carbon. Journal of Hazardous Materials, 106B : 45-54.
- Linares-Solano, A., Martin-Gullon, I., Salines-Martinez, de Lecea, C. and Serrano-Talavera, B. (2000). Activated carbons from bituminous coal: Effect of mineral matter content, Fuel., 79 : 635-643.
- Maiti, R.K. (1980). Plant Fibres. Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehra Dun, India, 299 p.
- McKay, G., Ed. (1995). Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewater. CRC Press, New York.
- Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K., and Nakanishi, T. (2004). Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. Bioresource Technology., 95 : 255-257.
- Mehlhrn, J., House, L. and Fuller, M. (1998). Market potential for Kenaf in the newsprint industry.

- American Kenaf society first annual conference proceedings, February 26-27, 1998. San Antonio, TX. 120-127.
- Moore, R. B. and Burcham, T. N. (1999). Evaluation of Kenaf as a bedding material in dairy free stalls. American Kenaf society second annual conference proceedings, February 25-26, 1999. San Antonio, TX. Pp. 97-101.
- Muehl, J.H., Krzysik, A.M., Youngquist, J.A., Chow, P. and Bao, Z. (1999). Performance of hardboards made from Kenaf. properties, in Proceeding and Products. Mississippi State University, USA. 471-485.
- Ozturk, N. and Bektas, T.E. (2004). Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *Journal of Harzardous Materials B112*: 155-162.
- Ramakrishna, K.R. and Viraraghavan, T. (1997). Dye removal using low cost adsorbents. *Water Sci. Tech.* 36 : 189.
- Rouqurol, F., Rouqurol, J. and Sing, K. (1999). Adsorption by powders and porous solids. London: Academic Press.
- Sameshima, K., Touge, A. and Ohtani, Y. (2000). Improvement of Kenaf core oil absorption property by heat treatment at 200-500 °C. American Kenaf society second annual conference proceedings, February 25-26, 2000. San Antonio, TX. Pp. 64-72.
- Sameshima, K., Nakauchi, A., Sameshima, I., and Ohtani, Y. (1998). Multipurpose utilization and development of kenaf as a crop of agro-forestry resource (I) unknown organic acidic substances of kenaf silage. Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Japan Wood research Society in Shizuoka, Japan, 3-5 April, 1998. p. 522.
- Snoeyink, V.L. and Summers, R.S., (1999). *Water Quality & Treatment*. 5th ed., American Water Works Association (AWWA): McGraw-Hill.
- Tebbutt, T.H.Y. and Bahiah, S.J. (1977). Studies on adsorption with activated carbon. *Effluent and water treatment Journal.*; 123-127.
- Yimrattanabovorn, J., Iwasaki, K., Cheng, Z., Fujiwara, S., Ohtani, Y. and Sameshima, K. (2002) Development of a tertiary treatment system for domestic wastewater: A combination system composed of charcoal, Kanuma soil and Kenaf. *Envir. Sci.*, 15(1) : 49-57.
- Yatagai, M., Ito, R., Ohira, T. and Oba, K. (1995). Effect of charcoal on purification of wastewater. *Mokuzai Gakkaishi.*, 41; 425-432.
- Wasik, E., Bohdziewicz, J. and Blaszczyk, M. (2001). Removal of nitrates from ground water

by a hybrid process of biological denitrification and microfiltration membrane. *Process Biochemistry.*, 37 : 57-64.

Wang, M.C., Huang, C.C. (1985). Soil Compaction and Permeability Prediction Models. *Journal of Environmental Engineering.* Vol.110 : 1063-1083

ภาคผนวก ก

1 Mesh Size 4.75 mm.

Total Dry Weight Used = 111.66 , 111.66 , 111.67 Average = 111.66 g.
 Sample Length = 21.2 , 21.1 , 21.1 = 21.1 cm.
 Density = $111.66/21.1 \times 53.43$ = 0.0990 g/cm³
 Temperater = 28.3° C

Area = 53.43 cm²

$L_c = 9.95$ cm

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_t
60.1	59.8	0.3	355	20	
60.5	60.1	0.4	360	21	7.9811
20.6	19.6	1.0	475	18	4.9143
19.6	18.6	1.0	475	18	4.9143
11.3	10.4	0.9	511	18	5.8741
10.4	9.4	0.9	500	18	5.7477
58.0	57.5	0.5	455	25	6.7786
58.3	57.8	0.5	404	20	7.5235

ค่าเฉลี่ย

5.6457

2. Mesh Size 4.75 mm.

W_s	= 108.68 , 108.69 , 108.70	= 108.69 g.
L	= 21.1 , 21.0 , 20.9	= 21.0 cm.
Density	= 108.69/(21*53.43)	= 0.0969 g/cm ³
Temperater	= 27.8 , 27.9 , 27.9	= 27.9 ° C

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_t
58.9	58.5	0.4	530	30	8.2249
59.5	59	0.5	529	30	6.5675
25.7	24.8	0.9	507	20	
23.8	22.8	1.0	490	20	
53.4	53	0.4	390	20	9.0785
54	53.5	0.5	481	26	6.8903
40.6	40	0.6	454	20	7.0455
41.4	40.9	0.5	440	20	8.1939
31.8	31.2	0.6	445	18	7.6732
32.6	31.9	0.7	440	18	6.5031
9.4	8.9	0.5	529	18	9.8513
9.9	8.5	1.4	517	18	
69.9	69.7	0.3	450	30	9.3112
50.4	50	0.4	411	20	9.5673
24.3	23.5	0.8	475	18	
25	24.5	0.5	470	18	9.7251

3 Mesh Size 4.75 mm.

W_s	= 111.64, 111.65, 111.64	= 111.64 g.
L	= 21.0, 21.1, 20.9	= 21.00 cm.
Density	= 111.64/(21.00*53.43)	= 0.0995 g/cm ³
Temperater	= 28.8 ° C	

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_1
33.6	32.9	0.7	443	18	6.5474
33	32.1	0.9	425	18	
56.5	56	0.5	361	20	6.7227
56.5	55.9	0.6	445	25	5.5247
50.4	50	0.4	405	20	9.4276
50.9	50.4	0.5	394	20	7.3373
43.5	43	0.5	440	20	8.1939
44.9	44.2	0.7	525	25	5.5867
43.5	42.9	0.6	410	20	6.3627
42.4	41.8	0.6	405	20	6.2851
59.4	59	0.4	370	20	8.6129
62.8	62.4	0.4	415	25	7.7283
63	62.5	0.5	400	25	5.9592
62.5	62.1	0.5	392	25	5.8400
58.4	58	0.4	465	25	8.6595
58.3	57.8	0.5	434	25	6.4657
57.6	57	0.6	429	25	5.3260
56.9	56.2	0.7	424	25	
65.1	64.7	0.4	394	25	7.3373
44.1	43.5	0.6	515	25	6.3937

4 Mesh Size 4.75 mm.

$W_s = 111.63, 111.62, 111.62 = 111.62 \text{ g.}$

$L = 20.5, 20.5, 20.6 = 20.5 \text{ cm.}$

$\text{Density} = 111.62 / (20.5 * 53.43) = 0.1019 \text{ g/cm}^3$ Temperater = 31.2, 31.2, 31.2 = 31.2 °C

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_1
33.1	32.4	0.7	444	18	6.5622
34.6	34	0.6	435	18	7.5007
38.8	38.1	0.7	427	18	6.3110
40.8	40.2	0.6	412	18	7.1041
40.9	40.3	0.6	406	18	7.0077
41.5	40.8	0.7	405	18	
67	66.6	0.4	489	30	7.5887
46	45.5	0.5	435	20	8.1008
48.3	47.8	0.5	519	25	7.7321
48.5	47.9	0.6	511	25	6.3441
59.7	59.3	0.4	452	25	8.4174
60.4	59.9	0.5	430	25	6.4061
60.5	60	0.5	429	25	6.3912
70.4	70	0.4	374	25	6.9648
71.6	71.3	0.3	413	30	8.5457
70	71.6	0.6	411	30	
45.6	45.1	0.5	429	20	7.9891
46.2	45.7	0.5	512	22	8.6679
46.3	45.8	0.5	425	20	7.9146
46.2	45.7	0.5	424	20	7.8959
43	42.3	0.7	449	20	
43.9	43.4	0.5	439	20	8.1753
44.1	43.6	0.5	436	20	8.1194
43.7	43.2	0.5	435	20	8.1008
45.4	44.9	0.5	433	20	8.0635
45.2	44.6	0.6	415	20	6.4403
46.4	45.8	0.6	414	20	6.4248
44.5	44.0	0.5	410	20	7.6352
44.8	44.4	0.4	400	20	9.3112

1. Activated Charcoal

- ใช้น้ำหนักถ่าน = 150.30 g.
- ค้าง sieve # 10 (2 mm.) = 49.0, 49.1, 49.1 = 49.10 g. (32.67%)
- ค้าง sieve # 20 (0.85 mm.) = 98.14, 98.16, 98.15 = 98.15 g (65.30%)
- ค้าง sieve # 20 (< 0.85 mm.) = 2.99, 2.99, 2.98 = 2.99 g (1.99%)
- รวม = 150.24 g

1. Weight Used, W_s = 678.50, 678.50, 678.51 = 678.50 g.

L = 20.9, 20.8, 20.9 = 20.9 cm.

Density = $678.50 / (20.9 * 53.43)$ = 0.6076 g/cm³

Temperater = 39.0 °C

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_1
56	46.3	9.7	525	30	0.3360
52.7	42.8	9.9	500	30	0.3135
62	54.3	7.7	480	30	0.3870
62.3	54.1	8.2	465	30	0.3520
59	50.8	8.2	425	25	0.3861
57.7	49.8	7.9	410	25	0.3866
54.7	46	8.7	358	20	0.3832
45.1	35.3	9.8	478	25	0.3633
45.6	35.9	9.7	484	25	0.3717
68.7	62.3	6.4	355	25	0.4132
50.3	40.8	9.5	386	20	0.3783
50.5	41	9.5	475	25	0.3724
55.2	46.8	8.4	365	20	0.4046
45.4	35.3	10.1	455	23	0.3648

ค่าเฉลี่ย

0.372336

2. AC

Total dry wt. used	= 678.50 , 678.52 , 678.51	= 678.51 g.
L	= 20.7 , 20.7 , 20.8	= 20.7 cm.
Density	= 678.51/(20.7*53.43)	= 0.6135 g/cm ³
Temperater	= 37.7 ° C	(37.7 , 37.7 , 37.8° C)

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_1
59.1	50.7	8.4	424	25	0.3760
59	50.5	8.5	479	30	0.3498
43	30.9	12.1	415	20	0.3194
47.3	36.0	11.3	450	25	0.2966
42.2	34.8	7.4	449	25	
35.3	21.3	14.0	420	20	0.2754
33.9	19.9	14.0	424	20	0.2780
33.7	19.6	14.1	421	20	0.2780
62.5	54.3	8.2	399	25	0.3625
63.4	55.3	8.1	383	25	0.3522
56.4	47	9.4	425	25	0.3368
56.3	46.9	9.4	429	25	0.3400
56.4	47	9.4	430	25	0.3408
28.4	13.7	14.7	424	18	0.2984
28.5	13.7	14.8	425	18	0.2971

ค่าเฉลี่ย

0.3215

3. AC

$$W_s = 678.49, 678.48, 678.49 = 678.49 \text{ g.}$$

$$L = 20.7, 20.6, 20.7 = 20.7 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 678.49 / (20.7 * 53.43) = 0.6135 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Temperater} = 34.8, 34.9, 34.8 = 34.8^\circ \text{ C}$$

h_1	h_2	Δh	Q	t	K_t
73.4	67.5	5.9	375	30	0.3945
74.1	68.2	5.9	359	30	0.3777
74.1	68.2	5.9	345	30	0.3630
76.5	71.3	5.2	330	30	0.3939
77	72.1	4.9	326	30	0.4130
27.7	14.5	13.2	435	18	0.3409
27.7	14.5	13.2	435	18	0.3409
26.3	12.7	13.6	465	20	0.3184
63.1	56.3	6.8	464	30	0.4236
62.6	56	6.6	448	30	0.4214
32.4	21.9	10.5	454	20	0.4026
30.3	19.8	10.5	441	20	0.3911
28	17.8	10.2	430	20	0.3925
40.5	31.9	8.6	398	20	0.4309
38.8	30.5	8.3	475	25	0.4263
20.9	9.8	11.1	455	18	0.4241
20.9	9.6	11.3	455	18	0.4166
20.3	9.0	11.3	455	18	0.4166
22.3	11.3	11.0	484	20	0.4097
21.4	10.3	11.1	489	20	0.4102
20.9	9.9	11	485	20	0.4105
20.4	9.4	11.0	485	20	0.4105
16.2	4.7	11.5	448	20	0.3627
15.5	4.1	11.4	448	20	0.3659
14.9	3.6	11.3	444	20	0.3659

TURE DENSITY

➤ Activated charcoal

1. น้ำหนักกระบอกตวง	= 70.6581 , 70.6585 , 70.6583	= 70.6583 g.
น้ำหนักกระบอก + ถ่าน	= 80.5057 , 80.5055 , 80.5056	= 80.5056 g.
น้ำหนักถ่าน	= 9.8473 g.	
ปริมาตร	= 13.2 cm ³	
➤ Ture density	= 0.7460 g/cm ³	

2. น้ำหนักกระบอก	= 70.6740 , 70.6740 , 70.6739	= 70.6740 g.
น้ำหนักกระบอก + ถ่าน	= 78.3075 , 78.3076 , 78.3079	= 78.3077 g.
น้ำหนักถ่าน	= 7.6337 g.	
ปริมาตร	= 10.2 cm ³	
➤ Ture density	= 0.7484 g/cm ³	

3. น้ำหนักกระบอก	= 70.6809 , 70.6808 , 70.6807	= 70.6808 g.
น้ำหนักกระบอก + ถ่าน	= 78.3214 , 78.3215 , 78.3215	= 78.3215 g.
น้ำหนักถ่าน	= 7.6407 g.	
ปริมาตร	= 10.2 cm ³	
➤ Ture density	= 0.7491 g/cm ³	

➤ Average = $0.7460 + 0.7484 + 0.7491 / 3 = 0.7478 \text{ g/cm}^3$

➤ ถ่านปอแก้ว			
1. น้ำหนักกระบอกตวง	= 70.6683 , 70.6683 , 70.6682	= 70.6683 g.	
น้ำหนักระบอก + ถ่าน	= 73.3132 , 73.3131 , 73.3133	= 73.3132 g.	
น้ำหนักถ่าน	= 2.6449 g.		
ปริมาตร	= 12.8 cm ³		
➤ density	= 0.2066 g/cm ³		
2. น้ำหนักกระบอก	= 72.1789 , 72.1786 , 72.1786	= 72.1787 g.	
น้ำหนักระบอก + ถ่าน	= 74.8428 , 74.8426 , 74.8427	= 74.8427 g.	
น้ำหนักถ่าน	= 2.6640 g.		
ปริมาตร	= 13 cm ³		
➤ density	= 0.2049 g/cm ³		
3. น้ำหนักกระบอก	= 72.2052 , 72.2051 , 72.2050	= 72.2051 g.	
น้ำหนักระบอก + ถ่าน	= 74.8510 , 74.8511 , 74.8512	= 74.8511 g.	
น้ำหนักถ่าน	= 2.6460 g.		
ปริมาตร	= 12.9 cm ³		
➤ density	= 2.2051 g/cm ³		
➤ Average	= 2.2066 + 2.2049 + 2.2051 / 3	= 0.2055 g/cm ³	

Permeability Test

1. Mesh Size 0.85 mm. (sieve # 20)

$$\begin{aligned}
 W_s &= 117.15, 117.14, 117.16 = 117.15 \text{ g.} & A &= 53.43 \text{ cm}^2 \\
 L &= 21.1, 21.1, 21.1 = 21.1 \text{ cm.} & L_c &= 9.92 \text{ cm} \\
 \text{Density} &= 117.15/(21.1*53.43) = 0.1042 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

Temperater = 29.3 ° C

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
89.6	85.5	4.1	197	60	0.1487
73.7	60.8	12.9	309	30	0.1482
72.4	59.4	13.0	315	30	0.1500
63	49.5	13.5	315	30	0.1444
50.8	35.9	14.9	324	33	0.1223
47	19	28	515	30	0.1138
25.3	1.0	24.3	520	30	0.1324
57.2	40.2	17.0	464	30	0.1448

Temperater = 30.5 ° C

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
62.5	45.9	16.6	375	30	0.1328
64	47.5	16.5	355	30	0.1332
61.7	43.8	17.9	491	40	0.1273
64.5	47.1	16.4	474	40	0.1342
48.7	24.3	24.4	480	30	0.1217
49.3	24.8	24.5	471	30	0.1190
50.3	27	23.3	464	30	0.1232
49.6	25.1	24.5	470	30	0.1187
52.5	28.3	24.2	460	30	0.1176

ค่าเฉลี่ย

0.1317

2. Mesh Size 0.85 mm. (sieve # 20)

$$W_s = 126.5 \text{ g.}$$

$$L = 20.8, 20.9, 20.9 = 20.87 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 126.5 / (20.87 * 53.43) = 0.1134 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Temperater} = 34.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
35.7	5.4	30.3	366	20	0.1121
51.8	29	22.8	429	30	0.1164
52.2	29.1	23.1	419	30	0.1122
77.5	67.2	10.3	344	30	0.2067
75.9	64.3	11.6	402	60	0.107

$$3. \quad W_s = 126.4 \text{ g.}$$

$$L = 20.9, 20.9, 20.9 = 20.9 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 126.4 / (20.9 * 53.43) = 0.1132 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Temperater} = 30.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
74.5	63.5	11.0	432	60	0.1215
60.3	40	20.3	362	30	0.1104
60.6	40.5	20.1	360	31	0.107
47.5	20	27.5	441	30	0.099
50.8	25.4	25.4	426	30	0.1038
48.3	21.3	27.0	434	30	0.0995

ค่าเฉลี่ย

0.1178

1. Mesh Size 2 mm. (sieve # 10)

$$W_s = 107.4, 107.42, 107.41 = 107.413 \text{ g.}$$

$$L = 20.0, 20.0, 20.0 = 20.0 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 107.413 / (20 * 53.43) = 0.1005 \text{ g/cm}^3$$

Temperater = 20.0 ° C

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
36.8	34.2	2.6	440	20	1.5710
34.5	32	2.5	450	20	1.6710
34.1	31.6	2.5	449	20	1.6673
33.7	31.1	2.6	445	20	1.5889
24.7	21.9	2.8	482	20	1.5980
24.5	21.5	3.0	484	20	1.4977
24.1	21.0	3.0	473	20	1.4636

Temperater = 30 ° C

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
41.7	39.7	2.0	405	20	1.8798
19	16.5	2.5	485	20	1.8009
17.5	15.0	2.5	490	20	1.8195
17.4	15	2.4	495	20	1.9147
11	8.5	2.5	500	20	1.8566
9	6.5	2.5	453	18	1.8690
5	2.5	2.5	445	18	1.8360
8	5.6	2.4	430	18	1.8480
7.4	5	2.4	425	18	1.8266

2. Mesh Size 2 mm.

$$W_s = 117.6 \text{ g.}$$

$$L = 21.0, 21.1, 21.1 = 21.07 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 117.6 / (21.07 * 53.43) = 0.1057 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Temperater} = 29.8^\circ \text{C}$$

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
46.5	44.5	2.0	410	20	1.9031
39.7	37.5	2.2	450	20	1.8988
40.3	38.1	2.2	445	20	1.8777
29.8	27	2.8	496	20	1.6444
32.5	29.9	2.6	480	20	1.7138
15.6	12.4	3.2	562	20	1.6304
76.2	75.1	1.1	450	40	1.8988
57.2	55.1	2.1	450	25	1.5914
57.9	55.9	2.0	445	25	1.6524

$$\text{Temperater} = 34.9^\circ \text{C}$$

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
29.8	27.3	2.5	503	20	1.8678
29.1	26.4	2.7	517	20	1.7776
68.3	66.6	1.7	450	50	
12.3	9	3.3	579	20	1.6288

ค่าเฉลี่ย

1.7047

3. Mesh Size 4.75 mm. (sieve # 4)

$$W_s = 115.36 \text{ g.}$$

$$L = 21.1, 21.0, 21.1 = 21.07 \text{ cm.}$$

$$\text{Density} = 115.36 / (21.07 * 53.43) = 0.1025 \text{ g/cm}^3$$

Temperater = 29.2 ° C

h_1	h_2	$\Delta h(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3)$	T(sec)	K
20.6	19.5	1.1	503	20	4.2449
25	24.1	0.9	462	20	4.7654
60	59.3	0.7	350	20	4.6416
60.5	60	0.5	512	40	4.7530
70.3	69.8	0.5	490	40	4.5480
33.9	32.9	1.0	455	20	4.2238
34.2	33.2	1.0	450	20	4.1774
11.4	10.3	1.1	557	20	4.7007
-	-	1.6	591	15	4.5720

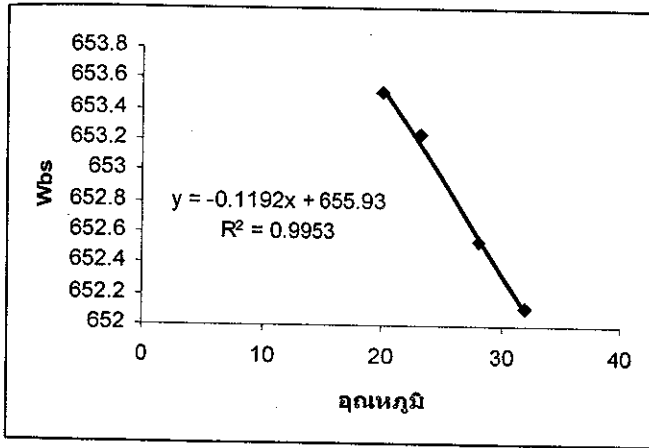
ค่าเฉลี่ย

4.3316

การสอบเทียบขวดแก้วฟลาส

ขวดเบอร์ 1 ความจุ 500 ซม³

ครั้งที่	Wbw	อุณหภูมิ
1	652.12	32.0
2	652.55	28.0
3	653.24	23.0
4	653.51	20.0



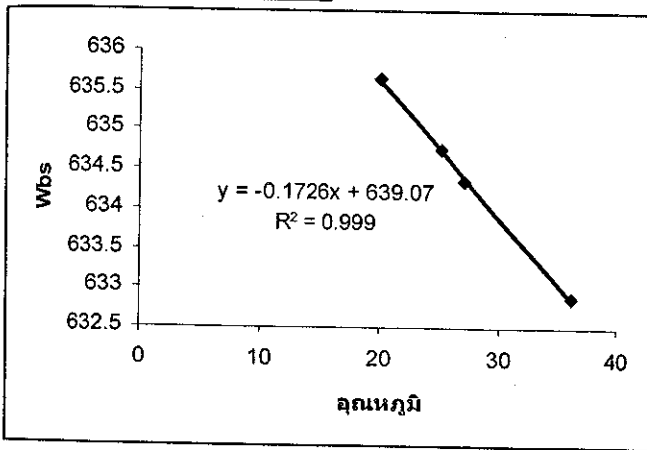
การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวอย่าง	Sample Size 0.85	
	1	2
Temperature, t (°C)	27	25
Weight of Flask + Water + Solid (g)	654.97	655.32
Weight of Flask + Water(g)	652.71	652.95
Weight of Dry Solid (g)	7.20	7.20
Specific Gravity of Water at T (°C)	0.9983	0.9988
Specific Gravity of Solid	1.45	1.49
Average	1.47	

การสอบเทียบขวดแก้วพลาสติก

ขวดเบอร์ 2 ความจุ 500 ซม³

ครั้งที่	Wbw	อุณหภูมิ
1	632.88	36.0
2	634.36	27.0
3	634.75	25.0
4	635.65	20.0



การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวอย่าง	Sample Size 0.85	1	2
Temperature, t (° C)		27	25
Weight of Flask + Water + Solid (g)		638.16	638.64
Weight of Flask + Water(g)		634.36	634.75
Weight of Dry Solid (g)		7.19	7.19
Specific Gravity of Water at T (° C)		0.9983	0.9988
Specific Gravity of Solid		2.12	2.18
Average		2.15	

ภาคผนวก ข

ส่วนหนึ่งของรายงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

เนื่องด้วยส่วนหนึ่งของรายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการนำเสนอในการประชุมวิชาการและได้รับการตอบรับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารดังต่อไปนี้

1. จรียา ยิ้มรัตนบวร และ นเรศ เชื้อสุวรรณ. 2550. การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 (อยู่ระหว่างการจัดพิมพ์)
2. จรียา ยิ้มรัตนบวร. 2548. การกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้ถ่านปอแก้ว. การสัมมนา การพัฒนา กลุ่มงานวิจัยในเครือข่ายอุดมศึกษานครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. 24 มิถุนายน. 99-101.



ศธ 0521.11/1103/ 247

กองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
110/5 หมู่ 3 ต.คอหงส์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

7 มิถุนายน 2549

เรื่อง ตอบรับต้นฉบับเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เรียน ดร.จรียา ยี่มรัตน์บวร

ตามที่ท่านส่งต้นฉบับ เรื่อง การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนโตรเจน-ไนโตรเจน มายังกองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อพิจารณาตีพิมพ์นั้น กองบรรณาธิการฯ ได้ดำเนินการตรวจสอบตามกระบวนการตรวจสอบของกองบรรณาธิการฯ และท่านก็ได้แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและแจ้งประเด็นที่ไม่แก้ไขแล้ว กองบรรณาธิการฯ จึงรับบทความของท่านลงตีพิมพ์ในวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2550)

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)
หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โทรศัพท์ 0-7428-6959 โทรสาร 0-7421-2839

mail: sasitorn.k@psu.ac.th

เนื่องด้วยส่วนหนึ่งของรายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการนำเสนอในการประชุมวิชาการและได้รับการตอบรับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารดังต่อไปนี้

1. จรียา ยี่มรัตน์บวร และ นเรศ เชื้อสุวรรณ. 2550. การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 (อยู่ระหว่างการจัดพิมพ์)
2. จรียา ยี่มรัตน์บวร. 2548. การกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้ถ่านปอแก้ว. การสัมมนา การพัฒนา กลุ่มงานวิจัยในเครือข่ายอุดมศึกษานครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. 24 มิถุนายน. 99-101.

การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

จรรยา ยิ้มรดีนบวร^{1*} และ นเรศ เชื้อสุวรรณ²

Running head: การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

บทคัดย่อ

ชเรศยา ชีมรัตน์บวร^{1*} และ นเรศ เชื้อสุวรรณ²

การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีราคาไม่แพง ใช้พลังงานต่ำ และยังช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีลงได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำถ่านปอแก้ว (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) มาผลิตเป็นถ่าน เพื่อศึกษาการใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยวัดความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านปอแก้วซึ่งมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 2 ขนาดได้แก่ ถ่านปอแก้ว A (4.75-6.30 มม.) และ B (2.00-4.75 มม.) เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ (AC) พบว่าการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านสามารถอธิบายได้ด้วย Freundlich Isotherm และค่า K ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ $AC > B > A$ ดังค่าที่แสดงคือ 0.0321, 0.0147 และ 0.0071 ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ AC และจากผลการศึกษาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนพบว่าถ่านกัมมันต์ AC จะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วกว่าถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาด ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ AC จะสูงกว่าถ่านปอแก้ว ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตไม่สูง

คำสำคัญ: ปอแก้ว, ถ่าน, ถ่านกัมมันต์, ความสามารถในการดูดซับ, ไนเตรท-ไนโตรเจน

¹Ph.D. (Environmental Technology) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ² Ph.D. (Environmental Science) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*responding e-mail: chareeya@sut.ac.th

Abstract

Yimrattanabovorn, J.¹ and Chuersuwan, N.²

Utilization of Roselle Charcoal as Nitrate-Nitrogen Adsorbent

Presently, the attempts have been made by utilizing natural material as an adsorbent for wastewater treatment due to its low cost, low energy required and fewer chemicals used. In this study, Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) was prepared to use as a charcoal adsorbent in the treatment process. The nitrate-nitrogen adsorption capacities of Roselle charcoal with 2 different particle sizes, A (4.75-6.30 mm) and B (2.00-4.75 mm) were measured and compared with an activated charcoal (AC). The equilibrium data were fitted well with the Freundlich Isotherm. The K values related to the capacity of adsorbent for nitrate-nitrogen of such charcoal studied were in the following orders: AC > B > A expressed as 0.0321, 0.0147 and 0.0071 respectively. In addition, activated charcoal required less contact time to reach equilibrium than both of Roselle charcoal A and B. Although removal efficiency of activated charcoal was higher than that of Roselle charcoal, Roselle charcoal is an interesting alternative adsorbent due to lower cost of its production.

Keywords: Roselle, Charcoal, Activated carbon, adsorption capacity, nitrate-nitrogen

¹ Ph.D. (Environmental Technology), School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology. ² Ph.D. (Environmental Science), School of Environmental Health Science, Institute of Medicine, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

Corresponding e-mail: chareeya@sut.ac.th

บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดได้น้อยมาก จึงก่อให้เกิดปัญหาโทรฟิเคชัน (Eutrophication) กับแหล่งน้ำธรรมชาติได้ สารประกอบไนโตรเจนพบในแหล่งน้ำในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูงจะมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรค เช่น โรค methemoglobinemia ในเด็กเกิดใหม่มากขึ้น (Wasik *et al*, 2001; Mizuta *et al*, 2004) วิธีการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยทั่วไปมักใช้วิธีการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) ซึ่งวิธีการดีไนตริฟิเคชันมักจะมีปัญหาในการรักษาภาวะให้เหมาะสมกับแบคทีเรีย และการกำจัดเซลล์แบคทีเรียที่ตายแล้ว (Wasik *et al*, 2001) ส่วนวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจะมีปัญหาเรื่องสารบวกรวต่าง ๆ เช่น ซัลเฟตไอออน และการเกิดน้ำเกลือ (brine) เนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของสารแลกเปลี่ยนประจุ (Bae *et al*, 2002; Koparal *et al*, 2002) ดังนั้นการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้วิธีการดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรท ง่ายต่อการดำเนินการ (Mizuta *et al*, 2004) มีค่าใช้จ่ายต่ำ และไม่ต้องใช้พลังงานหรือสารเคมีใด (Kim, 2004) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมาก (Gumermen *et al*, 1997; Ozturk และ Bektas, 2004) กระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Agbanobi, 1999) ดังนั้นจึงมีควรมี

การศึกษามากขึ้นสำหรับการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับ และพบว่าวัสดุจากธรรมชาติ มีประสิทธิภาพสูงในการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ (Abe *et al.*, 2001) ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการที่จะนำถ่านซึ่งสามารถผลิตได้ภายในชุมชนมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (Imaoka *et al.*, 1994; Yatagai *et al.*, 1995) และจากผลการศึกษาของ Mizuta *et al.* (2004) พบว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้มีประสิทธิภาพในการดูดซับในเตรท-โนโตรเจนที่ช่วงความเข้มข้น 0 -10 มก./ลิตรสูงกว่าถ่านกัมมันต์ ได้มีการนำพืชชนิดต่าง ๆ มาผลิตเป็นถ่านเพื่อนำมาใช้ในการดูดซับมลพิษจากน้ำเสียมากขึ้น ต้นปอแก้ว (*Hibiscus sabdariffa* L. var. altissima) เป็นพืชที่ปลูกเพื่อผลิตเส้นใยเป็นการค้าในปัจจุบัน ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ อาหารสัตว์ และใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันเป็นต้น (Sameshima *et al.*, 1998) ได้มีการศึกษานำต้นปอไปใช้ดูดซับมลพิษจากน้ำเสีย พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเท่ากับ 1.3-1.7 กรัม/ตร.ม./วันและฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.24-0.26 กรัม/ตร.ม./วัน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นหลังจากใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว (Abe *et al.*, 1997; Abe และ Ozaki, 1998) และจากการศึกษาของ Aoi (2000) นำเอาแกนของต้นปอไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์การค้าพบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์การค้าที่ผลิตขายตามท้องตลาด ถ่านปอแก้วเป็นถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้ออ่อนจึงมีความพรุนมากกว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้อแข็ง และชุมชนสามารถผลิตใช้ได้ตามกระบวนการเผาถ่านของชุมชน นอกจากนี้ถ่านปอแก้วยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ใน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้ว โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำดินปอแก้วผลิตเป็นถ่านเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุดูดซับราคาถูก เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการดูดซับและการกรองมลพิษจากน้ำเสีย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างและจำแนกลักษณะจำเพาะ

1.1 นำแกนของปอแก้วที่ลอกเปลือกออกแล้วมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ โดยผลิตในสภาพอากาศจำกัด

ที่อุณหภูมิประมาณ 300 °C นำมาบดให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำไปจำแนกขนาดของตัวอย่างถ่านปอแก้ว และถ่านกัมมันต์การค้า โดยใช้วิธี Sieve Analysis (มาตรฐาน ASTM E 11) (America Society for Testing และ Materials, 2000)

1.2 การจำแนกขนาดถ่าน

- นำถ่านปอแก้วที่บดละเอียดแล้วมาคัดขนาดให้ได้ขนาดตั้งแต่ 4.75 – 6.30 มม. เรียกว่า ถ่านปอแก้ว

A และตั้งแต่ 2.00 - 4.75 มม. เรียกว่า ถ่านปอแก้ว B

- นำถ่านกัมมันต์การค้ามาจำแนกขนาดพบว่า มีขนาด 0.85 - 4.75 มม. เรียกว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC

1.3 นำถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์การค้าที่จำแนกขนาดได้ไปล้างและแช่น้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ใช้ไม่มี

ตะกอนแขวนลอย จึงนำไปอบเพื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 °C จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านคงที่ แล้วทิ้งให้

เย็นในโถดูดความชื้น

2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์การค้าและถ่านปอแก้ว เช่น การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ่านชนิดต่างๆโดยวิธี BET (วีระศักดิ์ และคณะ, 2543) โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area analysis; รุ่น: autosorb 1 บริษัท Quantachrome Corporation) วัดค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio) และค่าความพรุนของถ่าน (porosity) (สถาพร, 2541)

2. ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างถ่าน คือ คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องมือ CNS Analyzer (บริษัท LECO, Model CNS 2000) วิเคราะห์เพื่อหาร้อยละปริมาณแล้ว ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 (America Society for Testing and Materials, 2000)

3. วัดความสามารถในการดูดซับของถ่าน

นำ 100 มล. ของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มก. /ลิตร ซึ่งเตรียมจากสารประกอบโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและถ่านกัมมันต์การค้า น้ำหนักตั้งแต่ 1-10 กรัมตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องและค่า pH เป็นกลาง จากนั้นวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ โดยใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

4. การหนวเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์
ที่บรรจุถ่านปอแก้วแต่ละขนาด และถ่านกัมมันต์การค้าน้ำหนัก 25 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250
รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องและค่า pH เป็นกลาง วัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-
ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในทุกๆ 30 นาทีจนกระทั่งความเข้มข้นคงที่

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพสามารถจำแนกขนาดของถ่านปอแก้วออกเป็น 2 ขนาด โดย
ถ่านปอแก้ว A มีขนาดใหญ่กว่าถ่านปอแก้ว B และถ่านกัมมันต์การค้า AC มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.85 มม. –
4.75 มม. ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อนำตัวอย่างถ่านมาวัดพื้นที่ผิวจำเพาะพบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะ
เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 695.5 ตร.ม./กรัม ถ่านปอแก้ว B
เท่ากับ 336.6 ตร.ม./กรัม และ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 148.4 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติแล้วสารดูด
ซับที่ดีควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 100-1000 ตร.ม./กรัม (McKay, 1995) และผลลักษณะสมบัติทาง
กายภาพอื่น ๆ ทำให้เห็นความแตกต่างทางกายภาพของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์การค้าดังต่อไปนี้ ค่า
ความถ่วงจำเพาะของถ่านกัมมันต์การค้า AC และถ่านปอแก้วเท่ากับ 2.15 และ 1.47 ตามลำดับ ค่าความ
หนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 0.6115
กรัม/ลบ.ซม. ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 0.1031 กรัม/ลบ.ซม. และ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 0.1000 กรัม/ลบ.ซม.

ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 21.4699 ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 19.8243 และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 1.4006 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านปอแก้วมีสัดส่วนปริมาตรอากาศมากกว่าปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็ง โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความพรุนของถ่าน โดยค่าความพรุนเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแก้ว A เท่ากับ 95.55 % ถ่านปอแก้ว B เท่ากับ 95.20 % และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 58.34 % ตามลำดับ มีการศึกษาพบว่าช่องว่างภายในถ่านเหมาะเป็นที่อยู่สำหรับจุลินทรีย์และมีผลต่อความสามารถในการบำบัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านได้ (Abe *et al.*, 1993; Imaoka *et al.*, 1994; Agbanobi, 1999) ซึ่งจากผลการศึกษาอัตราส่วนช่องว่างของถ่านปอแก้วสูงกว่า 50 % มีแนวโน้มที่ถ่านปอแก้วจะสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้

ลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี พบว่าถ่านปอแก้วมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 90.36 % และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 89.77 % ดังแสดงใน Table 2 จะเห็นได้ว่าถ่านปอแก้วมีปริมาณคาร์บอนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ ส่วนค่าปริมาณเถ้าของถ่านปอแก้วเท่ากับ 4 % และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 13 % มีการศึกษาพบว่าวัสดุอุตสาหกรรมที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (Bansal *et al.*, 1988; Chen *et al.*, 2002) และปริมาณเถ้าที่สูงจะมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับลดลง (Linares-Solano *et al.*, 2000) ดังนั้นจากลักษณะสมบัติทางเคมีของถ่านปอแก้วจึงนับว่าถ่านปอแก้วมีแนวโน้มเป็นวัสดุอุตสาหกรรมที่ดีได้

ความสามารถในการดูดซับของถ่าน

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณในเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับได้ต่อน้ำหนักถ่านปอแก้ว

ขนาดต่าง ๆ และถ่านกัมมันต์การค้าที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ นำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ

Langmuir isotherm และแบบ Freundlich isotherm การดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนจากสารละลายโดย

ถ่านของการดูดซับแบบ Langmuir แสดงดังสมการที่ 1

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{bX_m} + \frac{C_e}{X_m} \quad \text{--- (1)}$$

โดยที่ X = อัตราส่วนของน้ำหนักของในเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการ

ดูดซับ (มก./กรัม) C_e = ความเข้มข้นของสารละลายในเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุล (มก./ลิตร) b =

ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ X_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เรียงแบบชั้นเดียว (Monolayer) ใน

ลักษณะปกคลุมผิวของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (มก./กรัม) และเมื่อนำไปเขียนกราฟ

ระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e จะได้สมการเส้นตรงและสามารถหาค่าคงที่ X_m และ b ได้จากความชันและ

จุดตัดแกนของสมการแบบ Langmuir ดังแสดงใน Table 3 และเมื่อนำผลการทดลองมาทดสอบไอโซ

เทอมการดูดซับแบบ Freundlich แสดงดังสมการที่ 2

$$\frac{x}{m} = X = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{--- (2)}$$

โดยที่ x = น้ำหนักของในเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (มก.) m = น้ำหนักของถ่านที่ใช้ใน

การดูดซับ (กรัม) X = อัตราส่วนของน้ำหนักของในเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่

ใช้ในการดูดซับ (มก./กรัม) C_e = ความเข้มข้นของสารละลายในเตรท-ในโตรเจนที่สภาวะสมดุล (มก./ลิตร) K, n = ค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich Isotherm และจากแบบจำลองของ Freundlich สามารถแสดงเป็นสมการเส้นตรง แสดงดังสมการที่ 3

$$\log X = \log K + 1/n \log C_e \quad \text{---(3)}$$

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log X$ และ $\log C_e$ ของถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและถ่านกัมมันต์ การค่าดังแสดงใน Figure 1 และนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของ Freundlich ดังแสดงใน Table 2 และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ที่จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ของ Langmuir isotherm ที่ได้มีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่า Langmuir isotherm ไม่เหมาะที่จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับนี้ได้ (Ramakrishna และ Viraraghavan, 1997) และเมื่อพิจารณาค่า coefficient of determinations (r^2) มีค่าอยู่ในช่วง 0.3877-0.7487 มีค่าน้อยกว่าของ Freundlich ซึ่งอยู่ในช่วง 0.8728-0.9830 Ozturk และ Bektas (2004) กล่าวว่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ควรพิจารณาเปรียบเทียบจากค่า coefficient of determinations ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ Freundlich isotherm จึงเหมาะสมกว่าในการนำมาอธิบายกระบวนการดูดซับครั้งนี้

จากค่าคงที่ของ Freundlich ค่า K ของตัวอย่างถ่านซึ่งแสดงถึงปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ พบว่าค่า K ของถ่านกัมมันต์การค้า $AC >$ ถ่านปอแก้ว $B >$ ถ่านปอแก้ว A แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC มีความสามารถในการดูดซับในเตรท-ในโตรเจนสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่านมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะดังแสดงใน Table 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยกับงานวิจัยของ Faust และ Aly (1987) พบว่าพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูด

จับ และจากผลการศึกษาเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านดังแสดงใน Figure 2 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC เข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดภายในเวลา 180 นาที ส่วนถ่านปอแก้ว A และ B เข้าสู่สมดุลภายในช่วงเวลา 210-240 นาที จากการศึกษาของ Gregg และ Sing (1982) พบว่าค่าความพรุนจะมีผลต่ออัตราการดูดซับทางกายภาพ โดยตัวดูดซับที่มีความพรุนสูงจะทำให้อัตราการดูดซับช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยอัตราเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน และจากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่านพบว่าค่าความพรุนของถ่านปอแก้ว A > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านกัมมันต์การค้า AC ตามลำดับ (Table 1)

เมื่อนำผลการศึกษาการวัดอัตราการดูดซับมาเพื่อกำหนดประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนที่เข้าสู่สภาวะสมดุล พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่านกัมมันต์การค้า AC 66 % ถ่านปอแก้ว B 52 % และ ถ่านปอแก้ว A 38 % ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนเท่ากับ 5 มก./ลิตร จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์การค้าสูงกว่าถ่านปอแก้ว B ประมาณ 14 % ดังนั้นจึงนับได้ว่าถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับมลพิษจากน้ำเสียที่น่าสนใจ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำเนื่องจากใช้ความร้อนต่ำกว่า และกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตใช้ได้เองในชุมชน

สรุปผลการทดลอง

ความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่าน

กัมมันต์ AC ถ่านปอแก้ว B และถ่านปอแก้ว A ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ และเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับสารละลายในเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 180 นาทีและถ่านปอแก้ว B และ A เท่ากับ 210-240 นาที ซึ่งเวลาในการเข้าสู่สมดุลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน ถึงแม้ว่าจากผลการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์การค้าจะสูงกว่าถ่านปอแก้ว B ประมาณ 14 % ถ่านปอแก้วจัดว่าเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับและเวลาที่เข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้า และถ่านปอแก้วมีลักษณะสมบัติทางเคมีที่มีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดี อีกทั้งถ่านปอแก้วมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ และสามารถนำไปเผาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ในกระบวนการดูดซับ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ถ่านปอแก้วทั้งสองขนาดยังมีความสามารถในการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนต่ำกว่าถ่านกัมมันต์การค้า ดังนั้นในงานวิจัยขั้นต่อไปควรมีการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ และปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับในเตรท - ไนโตรเจนของถ่านปอแก้ว เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และควรมีการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายในเตรท - ไนโตรเจนต่อความสามารถในการดูดซับ ก่อนที่จะนำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียจริง และควรมีการศึกษาถึงกระบวนการการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ภายในช่องว่างของถ่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านปอแก้ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย เรื่อง การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการ

บำบัดน้ำเสีย และดร.แจ่ม ภาสวรรณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 3

อ.เมือง จ.ขอนแก่น ผู้ให้การสนับสนุนวัสดุคืบปอแก้วในการศึกษาวิจัย เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. 2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงาน

เบื้องต้น. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 347 หน้า

สถาพร คูวิจิตรจารุ. 2541. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่1. รุ่งแสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 480

หน้า

Abe, K., Ozaki, Y., and Kihou, N. 1993. Use of higher plants and bed filter material

for domestic wastewater treatment in relation to resource recycling. Soil.

Sci. Plant. Nutr., 39 : 257-267.

Abe, K., Ozaki, Y., and Kihou, N. 1997. Introduction of fiber plants to plant bed

filter systems for wastewater treatment in relation to resource recycling. Soil. Sci.

Plant. Nutr., 43 : 35-43.

Abe, K., and Ozaki, Y. 1998. Comparison of useful terrestrial and aquatic plant

species for removal of nitrogen and phosphorus from domestic wastewater. Soil.

Sci. Plant. Nutr., 44 : 599-607.

Abe, I., Fukuhara, T., Maruyama, J., Tatsumoto, H., and Iwasaki, S., 2001.

Preparation of carbonaceous adsorbents for removal of chloroform from drinking

- water. Carbon, 39 :1,069-1,073.
- Agbanobi, R.O. 1999. Using granulated wood charcoal as a filter medium. J. Environ. Qual., 28 : 1,038-1,040.
- Aoi, T. 2000. Phytoremediation by kenaf in the Tone river basin, Proceeding of The International Kenaf Symposium; October 13-14, 2000; Hiroshima, Japan, 51-54.
- APHA, AWWA and WPCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition, American Public Health Association Inc. Washington D.C.
- America Society for Testing and Materials. 2000. Annual book of ASTM Standard. 37th Edition, West conshohocker. USA.
- Bae, U.B., Jung, Y-H., Han, W-W. and Shin, H-S. 2002. Improved brine recycling during nitrate removal using ion exchange. Water Research., 36 : 3330-3340.
- Bansal, R.C., Donnet, J.B. and Stoechli, F. 1988. Active carbon. Marcel Dekker, New York.
- Chen, X., Jeyaseelan, S. and Graham, N. 2002. Physical and chemical properties study of the activated carbon made from sewage sludge. Waste Management., 22 : 755-760.
- Faust, S.D. and Aly, O.M. 1987 Adsorption processes for water treatment, Butterworth United States of America.
- Gregg, S. J. and Sing, K. S. W. 1982. Adsorption surface area and porosity. London: Imperial college Press.
- Gumerman, R.C., Culp, R.L., and Clark, R.M. 1997. The cost of granular activated carbon absorption treatment in U.S. J. Am. Water Works Assoc., 690 : 71-111.
- Imaoka, M., Hirayama, K., Hirayama, K., and Sato, H., 1994. The effects of using charcoal for river water quality conservations. Yamanashi Daigaku Kougakubu Kenkyuhokoku, 45 : 91-102.
- Koparal, A.S. and Ogutveren, U.B. 2002. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials., B89 : 83-94.
- Kim, D.S. 2004. Adsorption characteristics of Fe (III) and Fe (III)-NTA complex on granular activated carbon. Journal of Hazardous Materials, 106B : 45-54.
- Linares-Solano, A., Martin-Gullon, I., Salines-Martinez.de Lecea, C. and Serrano-Talavera,

- B. 2000. Activated carbons from bituminous coal: Effect of mineral matter content, *Fuel*, 79 : 635-643.
- McKay, G., Ed. 1995. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewater. CRC Press, New York.
- Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K., and Nakanishi, T. 2004. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. *Bioresource Technology*, 95 : 255-257
- Ozturk, N. and Bektas, T.E. 2004. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *Journal of Hazardous Materials*, B112 : 155-162.
- Ramakrishna, K.R. and Viraraghavan, T. 1997. Dye removal using low cost adsorbents. *Water Sci. Tech.* 36 : 189.
- Sameshima, K., Nakauchi, A., Sameshima, I., and Ohtani, Y. 1998. Multipurpose utilization and development of kenaf as a crop of agro-forestry resource (I) unknown organic acidic substances of kenaf silage. Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Japan Wood research Society in Shizuoka, Japan, 3-5 April, 1998. p. 522.
- Wasik, E., Bohdziewicz, J. and Blaszczyk, M. 2001. Removal of nitrates from ground water by a hybrid process of biological denitrification and microfiltration membrane. *Process Biochemistry*, 37 : 57-64.
- Yatagai, M., Ito, Ran., Ohira, T. and Oba, K. 1995. Effect of charcoal on purification of wastewater. *Mokuzai Gakkaishi*, 41 : 425-432.

Table 1. Physical characteristic of charcoal samples

Sample	Particle size (mm)	Surface Area (m ² /g)	Dry density (g/cm ³)	Porosity (%)	Void ratio
A	4.75 < A < 6.30	148.4	0.1000	95.55	21.4699
B	2.00 < B < 4.75	336.6	0.1031	95.20	19.8243
AC	0.85 < AC < 4.75	695.5	0.6115	58.34	1.4006

Sample A and B are Roselle charcoal and sample AC is Activated carbon

Table 2 Contents of C, N, S and ash of Roselle charcoals and activated Carbon (% oven-dried weight)

Sample	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)
Roselle charcoal	90.36	1.5	0.001
activated Carbon	89.77	0.6	0.26

Table 3. Freundlich and Langmuir constants and coefficient of determinations (r^2) from Roselle charcoals and activated Carbon adsorption tested

Sample	Particle	Langmuir Constants			Freundlich constants		
		X_m	b	r^2	K	n	r^2
A	4.75 < A < 6.30	-0.0843	-0.1011	0.3877	0.0071	0.6612	0.8728
B	2.00 < B < 4.75	-0.1355	-0.1142	0.7199	0.0147	0.6911	0.9675
AC	0.85 < AC < 4.75	-0.2203	-0.1346	0.7487	0.0321	0.7191	0.9830

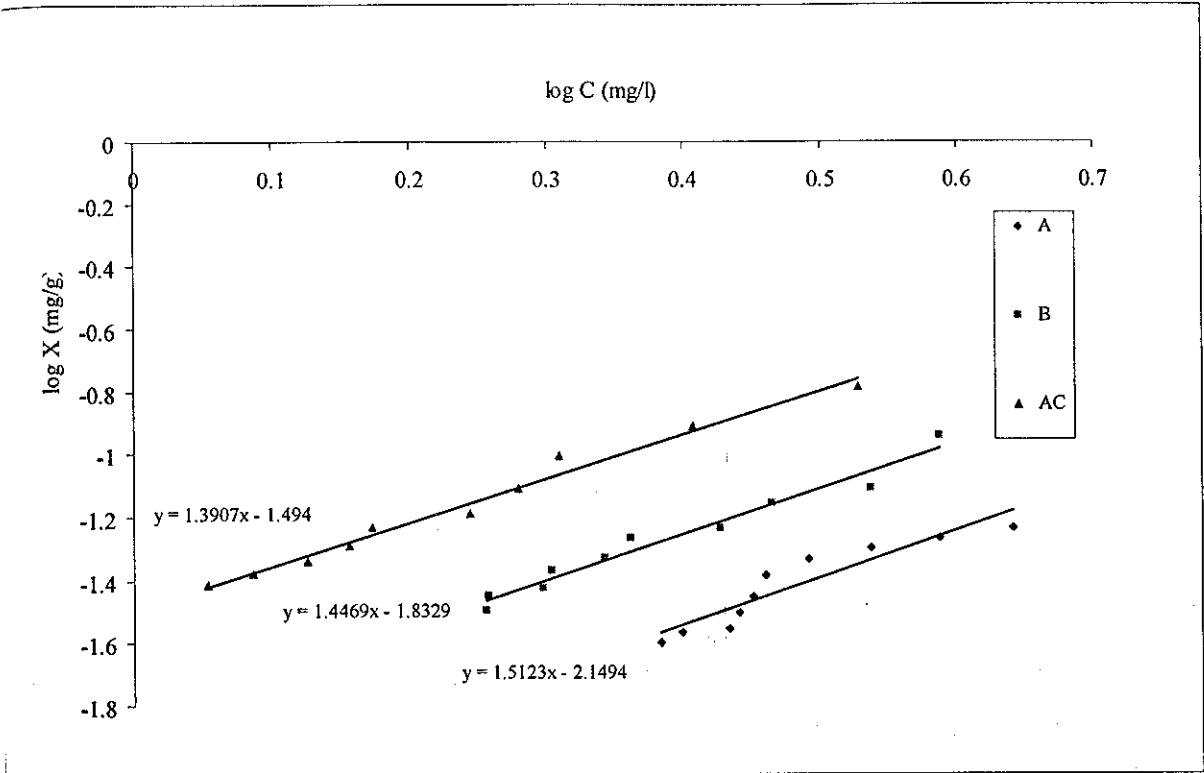


Figure 1. Freundlich Isotherm of nitrate-nitrogen on Kenaf charcoals: A ($4.75 < A < 6.30$), B ($2.00 < B < 4.75$) and activated carbon: AC ($0.85 < AC < 4.75$)

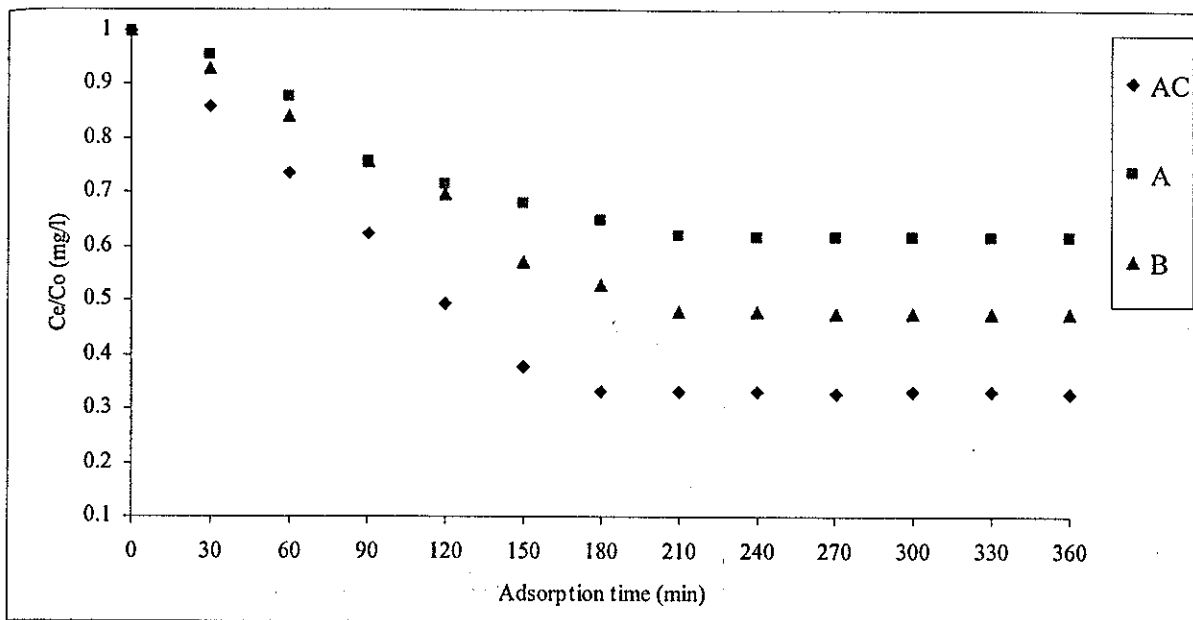


Figure 2 Nitrate-nitrogen concentration at equilibrium versus initial concentration (C_e/C_0) and adsorption time (min)

Kenaf charcoals: A ($4.75 < A < 6.30$), B ($2.00 < B < 4.75$) and activated carbon: AC ($0.85 < AC < 4.75$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณ

การพัฒนาบุคลากรงานวิจัย ในเครือข่ายอุดมศึกษาปภราชภัฏ

Research Network Development of Higher Education Alliance
in Nakhon Ratchasima 2005



วันที่ 24 เดือนพฤษภาคม 2548

ณ อulasombhakar มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ISBN : 974-533-440-5

ติดต่อสำหรับติดต่อ

: 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสวนาวี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ : 0-4422-4427 อีเมล : chareeya@ccs.sut.ac.th

กลุ่มวิชา

กลุ่มงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์

วัตถุประสงค์ :

ปัจจุบันมีความพยายามในการที่จะนำถ่านซึ่งผลิตได้ง่ายโดยชุมชน เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการกรอง และการกำจัดน้ำเสีย เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีค่าใช้จ่ายสูงถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมาก กระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายในการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำวัสดุจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถผลิตได้โดยชุมชน สำหรับเป็นวัสดุทดแทนที่มีราคาถูกเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการกรองและกำจัดน้ำเสียที่มีปริมาณมาก ถ่านปอแก้วเป็นถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้ออ่อน จึงมีความพรุนมากกว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้อแข็ง และชุมชนสามารถผลิตใช้ได้เองตามกระบวนการเผาถ่านของชุมชน นอกจากนี้ถ่านปอแก้วสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง หลังจากใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้ว การศึกษาครอบคลุมถึงลักษณะสมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านปอแก้วขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงลักษณะสมบัติของถ่านปอแก้วทางกายภาพและเคมีก่อนนำไปใช้ในกระบวนการกรองและกำจัดน้ำเสียต่อไป

วิธีการ :

ตัวอย่างถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์นำมาจำแนกขนาดโดยใช้วิธี Sieve Analysis (มาตรฐาน ASTM D-421) และทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่านปอแก้ว และถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon, AC) โดยทำการวัดค่า Dry Density และ Permeability Coefficient โดยวิธีทดสอบระดับน้ำคงที่ (Constant Head) และทำการศึกษาลักษณะทางเคมีโดยวัดการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน โดยนำ 100 มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเตรียมจาก KNO_3 ใส่ในบีกเกอร์ที่

บรรจุถ่านปอแก้วขนาดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ น้ำหนัก 1 2 3 4 และ 5 กรัมตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่

ผลที่ได้ :

ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของตัวอย่างถ่านปอแก้ว และถ่านกัมมันต์ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถแบ่งถ่านปอแก้วออกเป็นสามขนาด โดยเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กดังต่อไปนี้ A B และ C ส่วนขนาดอนุภาคของตัวอย่างถ่าน AC มีขนาดอยู่ระหว่างถ่านปอแก้ว A-C และมีค่า Dry Density ของตัวอย่างถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.1000 - 0.1102 และ 0.6115 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่า Permeability Coefficient ของถ่านแต่ละชนิดเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังต่อไปนี้ C > AC > B > A ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

Sample	Particle size (mm)	Dry density (g/cm ³)	Permeability coefficient (cm/s)
A	ถ่านปอแก้ว 4.75 < A < 8.0	0.1000	4.3316
B	ถ่านปอแก้ว 2.00 < B < 4.75	0.1031	1.7183
C	ถ่านปอแก้ว 0.85 < C < 2.00	0.1102	0.1248
AC	ถ่านกัมมันต์ 0.85 < AC < 4.75	0.6115	0.3703

จากผลการศึกษาค้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับได้ต่อน้ำหนักถ่านปอแก้วขนาดต่างๆ และถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วย Freundlich Isotherm ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{x}{m} = X = K \cdot C_e^{1/n} \tag{1}$$

โดยที่ x = น้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ(มิลลิกรัม), m = น้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ(กรัม), X = อัตราส่วนของน้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ, (มิลลิกรัมต่อกรัม), C_e = ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุล, (มิลลิกรัมต่อลิตร), K = ค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich isotherm, n = ค่าคงที่ของ Freundlich isotherm แบบจำลองของ Freundlich สามารถแสดงเป็นสมการเส้นตรงได้ดังต่อไปนี้

$$\ln X = \ln K + 1/n \ln C_e \tag{2}$$

ซึ่งจากผลการทดลองวัดการดูดซับของถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์ อธิบายได้ด้วย Freundlich Isotherm ในรูปสมการดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. แสดงสมการ Freundlich isotherm และค่า Coefficient of determination (r^2) ของถ่านปอแก้ว ขนาดต่างๆ และถ่านกัมมันต์

Sample	ขนาด	สมการ	Coefficient of determination (r^2)
A	475 < A < 500	$X = 0.0159 \cdot C^{1/1.1430}$	0.9244
B	200 < B < 475	$X = 0.0061 \cdot C^{1/0.6059}$	0.9428
C	0.85 < C < 200	$X = 0.0110 \cdot C^{1/0.7886}$	0.9199
AC	0.85 < AC < 475	$X = 0.0321 \cdot C^{1/0.7132}$	0.9830

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการใช้ตัวอย่างถ่านทั้งสี่ตัวอย่างเป็นตัวดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียจะพบว่าต้องให้ปริมาณของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากน้อยไปหามากดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์ AC, ถ่านปอแก้วขนาด B C และ A ตามลำดับ ซึ่งถ่านปอแก้วขนาด A จะใช้ปริมาณถ่านน้ำหนักมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถ่านปอแก้ว B และ C แต่ปริมาณของถ่านปอแก้วขนาด B และ C จะใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันพบว่าถ้าใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนจะใช้น้อยกว่าถ่านปอแก้วประมาณ 3 เท่า

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนสูงกว่าถ่านปอแก้ว และถ่านปอแก้วที่มีขนาดระหว่าง B และ C มีความสามารถในการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนสูงกว่าถ่านปอแก้วที่มีขนาดใหญ่ เช่น ขนาด A ถึงแม้ว่าความสามารถในการดูดซับในเตรท-ไนโตรเจนของถ่านปอแก้วจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ แต่จากผลการทดลองบ่งบอกว่าถ่านปอแก้วสามารถนำไปใช้เป็นตัวดูดซับและกำจัดมลพิษจากน้ำเสียทดแทนถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อนำถ่านปอแก้วไปใช้เป็นตัวดูดซับมลพิษในน้ำเสียสำหรับชุดทดลองการกรอง และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของถ่านปอแก้วแล้วอาจสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับมลพิษตัวอื่นได้ เช่น มีการตรวจพบว่าถ่านเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียได้ และเมื่อใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับมลพิษจากน้ำเสียจะสามารถใช้กับน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้ และสามารถผลิตได้ง่ายโดยชุมชน และหลังจากใช้เป็นตัวดูดซับมลพิษจากน้ำเสียแล้วสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้

ประวัตินักวิจัย

นางสาวจริยา ยี่มรัตน์บวร สำเร็จการศึกษา Ph.D.(Environmental Technology) Ehime University, Japan เมื่อปีพ.ศ. 2547 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

