

การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

จรียา ยิ้มรัตนาวร¹ และ นเรศ เชื้อสุวรรณ²

Abstract

Yimrattanabovorn, J.¹ and Chuersuwan, N.²

Utilization of Roselle charcoal as nitrate-nitrogen adsorbent

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2006, 28(6) : 1375-1382

Recently, the attempts have been made by utilizing natural material as an adsorbent for wastewater treatment due to its low cost, low energy requirement and the 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 carbon (AC). The equilibrium data 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 carbon required less contact time to reach equilibrium than both of Roselle charcoal A and B. Although removal efficiency of activated carbon was higher than that of Roselle charcoal, Roselle charcoal is an interesting alternative adsorbent due to the lower cost of its production.

Key words : Roselle, charcoal, activated carbon, adsorption capacity, nitrate-nitrogen

¹School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, ²School of Environmental Health Science, Institute of Medicine, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand.

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

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

รับต้นฉบับ 23 มกราคม 2549 รับลงพิมพ์ 29 พฤษภาคม 2549

บทคัดย่อ

จรียา ยี่มรัตน์บวร และ นเรศ เชื้อสุวรรณ
การใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(6) : 1375-1382

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีราคาไม่แพง ใช้พลังงานต่ำ และยังช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีลงได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำถ่านปอแก้ว (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima*) มาผลิตเป็นถ่าน เพื่อศึกษาการใช้ถ่านปอแก้วเป็นตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยวัดความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านปอแก้วซึ่งมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 2 ขนาด ได้แก่ 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 และจากผลการศึกษาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่าถ่านกัมมันต์ AC จะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่าถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาด ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ AC จะสูงกว่าถ่านปอแก้ว ถ่านปอแก้วจึงเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตไม่สูง

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดได้น้อยมาก จึงก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) กับแหล่งน้ำธรรมชาติได้ สารประกอบไนโตรเจนพบในแหล่งน้ำในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูงจะมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยทำให้มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรค เช่น โรค methemoglobinemia ในเด็กเกิดใหม่มากขึ้น (Wasik *et al.*, 2001; Mizuta *et al.*, 2004) วิธีการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยทั่วไปมักใช้วิธีการดีไนทริฟิเคชัน (denitrification) และการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ซึ่งวิธีการดีไนทริฟิเคชันมักจะมีปัญหาในการรักษาภาวะให้เหมาะสมกับแบคทีเรีย และการกำจัดเซลล์แบคทีเรียที่ตายแล้ว (Wasik *et al.*, 2001) ส่วนวิธีการแลกเปลี่ยนประจุจะมีปัญหาเรื่องสารรบกวนต่างๆ เช่น ซัลเฟตไอออน และการเกิดน้ำเกลือ (brine) เนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูสภาพ (regeneration) ของสารแลกเปลี่ยนประจุ (Bae *et al.*, 2002; Koparal and Ogutveren, 2002) ดังนั้นการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้วิธีการดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรท

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

นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ อาหารสัตว์ และใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน เป็นต้น (Sameshima *et al.*, 1998) ได้มีการศึกษานำถ่านปอไปใช้ดูดซับมลพิษจากน้ำเสีย พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเท่ากับ 1.3-1.7 กรัม/ตร.เมตร/วัน และฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.24-0.26 กรัม/ตร.เมตร/วัน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นหลังจากใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว (Abe *et al.*, 1997; Abe and Ozaki, 1998) และจากการศึกษาของ Aoi (2000) นำเอาแกนของถ่านปอไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์การค้า พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์การค้าที่ผลิตขายตามท้องตลาด ถ่านปอแก้วเป็นถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้ออ่อนจึงมีความพรุนมากกว่าถ่านซึ่งผลิตจากไม้เนื้อแข็ง และชุมชนสามารถผลิตใช้ได้เองตามกระบวนการเผาถ่านของชุมชน นอกจากนี้ถ่านปอแก้วยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ในระบบการบำบัดน้ำเสียแล้ว โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำถ่านปอแก้วผลิตเป็นถ่านเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุดูดซับราคาถูก เพื่อนำไปใช้ในระบบการดูดซับและการกรองมลพิษจากน้ำเสีย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างและจำแนกลักษณะจำเพาะ

1.1 นำแกนของปอแก้วที่ลอกเปลือกออกแล้วมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ โดยผลิตในสภาพอากาศจำกัดที่อุณหภูมิประมาณ 300°C นำมาบดให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำไปจำแนกขนาดของตัวอย่างถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์การค้า โดยใช้วิธี Sieve Analysis (มาตรฐาน ASTM E 11) (American Society for Testing and Materials, 2000)

1.2 การจำแนกขนาดถ่าน

1) นำถ่านปอแก้วที่บดละเอียดแล้วมาคัดขนาดให้ได้ขนาดตั้งแต่ 4.75-6.30 มม. เรียกว่าถ่านปอแก้ว A และตั้งแต่ 2.00-4.75 มม. เรียกว่าถ่านปอแก้ว B

2) นำถ่านกัมมันต์การค้ามาจำแนกขนาดพบว่า มีขนาด 0.85-4.75 มม. เรียกว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC

1.3 นำถ่านปอแก้วและถ่านกัมมันต์การค้าที่จำแนกขนาดได้ไปล้างและแช่น้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ใช้ไม่มีตะกอน

แขวนลอย จึงนำไปอบเพื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 90°C จนกระทั่งน้ำหนักของถ่านคงที่ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์การค้าและถ่านปอแก้ว เช่น การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างถ่านชนิดต่างๆ โดยวิธี 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)

3. ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

ทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างถ่าน คือ คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องมือ CNS Analyzer (บริษัท LECO, Model CNS 2000) วิเคราะห์เพื่อหาร้อยละปริมาณธาตุ ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 (American Society for Testing and Materials, 2000)

4. วัดความสามารถในการดูดซับของถ่าน

นำ 100 มล. ของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ซึ่งเตรียมจากสารประกอบโปตัสเซียมไนเตรท (KNO₃) ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและถ่านกัมมันต์การค้า น้ำหนักตั้งแต่ 1-10 กรัม ตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องและค่า pH เป็นกลาง จากนั้นวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ โดยใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

5. การหาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจน

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุถ่านปอแก้วแต่ละขนาด และถ่านกัมมันต์การค้า

น้ำหนัก 25 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องและค่า pH เป็นกลาง วัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท-ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในทุก ๆ 30 นาทีจนกระทั่งความเข้มข้นคงที่

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่าน

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพสามารถจำแนกขนาดของถ่านปอแแก้วออกเป็น 2 ขนาด โดยถ่านปอแแก้ว A มีขนาดใหญ่กว่าถ่านปอแแก้ว B และถ่านกัมมันต์การค้า AC มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.85-4.75 มม. ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อนำตัวอย่างถ่านมาวัดพื้นที่ผิวจำเพาะพบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 695.5 ตร.เมตร/กรัม ถ่านปอแแก้ว B เท่ากับ 336.6 ตร.เมตร/กรัม และถ่านปอแแก้ว A เท่ากับ 148.4 ตร.เมตร/กรัม ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติแล้วสารดูดซับที่ดีควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 100-1000 ตร.เมตร/กรัม (McKay, 1995) และผลลักษณะสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ทำให้เห็นความแตกต่างทางกายภาพของถ่านปอแแก้วและถ่านกัมมันต์การค้าดังต่อไปนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านกัมมันต์การค้า AC และถ่านปอแแก้วเท่ากับ 2.15 และ 1.47 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับ

จากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 0.6115 กรัม/ลบ.ซม. ถ่านปอแแก้ว B เท่ากับ 0.1031 กรัม/ลบ.ซม. และถ่านปอแแก้ว A เท่ากับ 0.1000 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างถ่านเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแแก้ว A เท่ากับ 21.4699 ถ่านปอแแก้ว B เท่ากับ 19.8243 และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 1.4006 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านปอแแก้วมีสัดส่วนปริมาตรอากาศมากกว่าปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็ง โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความพรุนของถ่าน โดยค่าความพรุนเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านปอแแก้ว A เท่ากับ 95.55% ถ่านปอแแก้ว B เท่ากับ 95.20% และถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 58.34% ตามลำดับ มีการศึกษาพบว่าช่องว่างภายในถ่านเหมาะเป็นที่อยู่สำหรับจุลินทรีย์และมีผลต่อความสามารถในการบำบัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านได้ (Abe *et al.*, 1993; Imaoka *et al.*, 1994; Agbanobi, 1999) ซึ่งจากผลการศึกษ้อัตราส่วนช่องว่างของถ่านปอแแก้วสูงกว่า 50% จึงมีแนวโน้มที่ถ่านปอแแก้วจะสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้

2. ลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างถ่าน

จากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมี พบว่าถ่านปอแแก้วมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 90.36% และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 89.77% ดังแสดงใน Table 2 จะเห็นได้ว่าถ่าน

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

ปอแก้วมีปริมาณคาร์บอนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ ส่วนค่าปริมาณเถ้าของถ่านปอแก้วเท่ากับ 4% และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 13% มีการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับที่ดีควรมีปริมาณคาร์บอนสูง (Bansal *et al.*, 1988; Chen *et al.*, 2002) และปริมาณเถ้าที่สูงจะมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับลดลง (Linares-Solano *et al.*, 2000) ดังนั้นจากลักษณะสมบัติทางเคมีของถ่านปอแก้ว จึงนับว่าถ่านปอแก้วมีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้

3. ความสามารถในการดูดซับของถ่าน

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับได้ต่อน้ำหนักถ่านปอแก้วขนาดต่างๆ และถ่านกัมมันต์การค้ำที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ นำมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir isotherm และแบบ Freundlich isotherm การดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนจากสารละลายโดยถ่านของการดูดซับแบบ Langmuir แสดงดังสมการที่ 1

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

โดยที่ X = อัตราส่วนของน้ำหนักของไนเตรท-ไนโตรเจนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (มก./กรัม) C_e = ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนที่สภาวะสมดุล (มก./ลิตร) b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ X_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เรียงแบบชั้นเดียว (Monolayer) ในลักษณะปกคลุมผิวของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (มก./ลิตร) และเมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่างค่า C_e/X กับค่า C_e จะได้สมการเส้นตรงและสามารถหาค่าคงที่ X_m และ b ได้จากความชันและจุดตัด

แกนของสมการแบบ Langmuir ดังแสดงใน Table 3 และเมื่อนำผลการทดลองมาทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich แสดงดังสมการที่ 2

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

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

$$\log X = \log K + 1/n \log C_e \quad (3)$$

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log X$ และ $\log C_e$ ของถ่านปอแก้วทั้ง 2 ขนาดและถ่านกัมมันต์การค้ำ ดังแสดงใน Figure 1 และนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของ Freundlich ดังแสดงใน Table 3 และเมื่อพิจารณาค่าคงที่จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ของ Langmuir isotherm ที่ได้มีค่าดีดลบ แสดงให้เห็นว่า Langmuir isotherm ไม่เหมาะที่จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับนี้ได้ (Ramakrishna and Viraraghavan, 1997) และเมื่อพิจารณาค่า coefficient of determinations (r^2) มีค่าอยู่ในช่วง 0.3877-0.7487 มีค่าน้อยกว่าของ Freundlich ซึ่งอยู่ในช่วง 0.8728-0.9830 Ozturk and Bektas (2004) กล่าวว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ควรพิจารณาเปรียบเทียบจากค่า coefficient

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

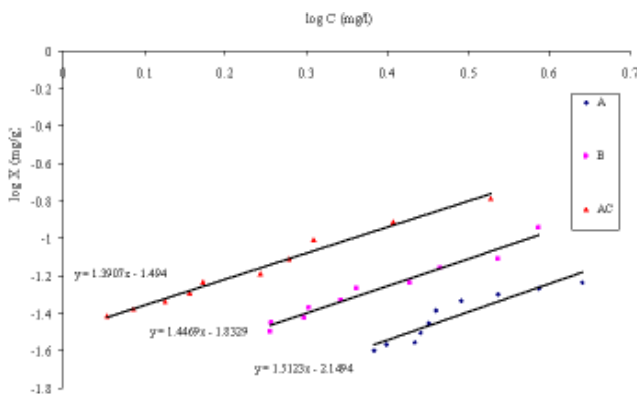


Figure 1. Freundlich isotherm of nitrate-nitrogen on Kenaf charcoals: A (4.75 < A < 6.30), B (2.00 < B < 4.75 and activated carbon: AC (0.85 < AC < 4.75)

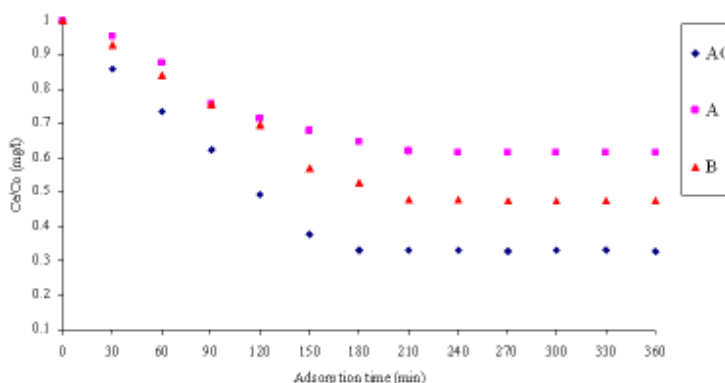


Figure 2. Nitrate-nitrogen concentration at equilibrium versus initial concentration (C_e/C_0) and adsorption time (min) Kenaf charcoals: A (4.75 < A < 6.30), B (2.00 < B < 4.75 and activated carbon: AC (0.85 < AC < 4.75)

of determinations ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ Freundlich isotherm จึงเหมาะสมกว่าในการนำมาอธิบายกระบวนการดูดซับครั้งนี้

จากค่าคงที่ของ Freundlich ค่า K ของตัวอย่างถ่านซึ่งแสดงถึงปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ พบว่าค่า K ของถ่านกัมมันต์การค้า AC > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านปอแก้ว A แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC มีความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนสูงกว่าถ่านปอแก้ว B และ A ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างถ่านมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะดังแสดงใน Table 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยกับงานวิจัยของ Faust และ Aly (1987) พบว่า พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการ

ดูดซับ โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ และจากผลการศึกษาเวลาการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของตัวอย่างถ่าน ดังแสดงใน Figure 2 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์การค้า AC เข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดในเวลา 180 นาที ส่วนถ่านปอแก้ว A และ B เข้าสู่สมดุลภายในช่วงเวลา 210-240 นาที จากการศึกษาของ Gregg และ Sing (1982) พบว่า ค่าความพรุนจะมีผลต่ออัตราการดูดซับทางกายภาพ โดยตัวดูดซับที่มีความพรุนสูงจะทำให้อัตราการดูดซับช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยอัตราเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน และจากผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างถ่านพบว่าค่าความพรุนของถ่านปอแก้ว A > ถ่านปอแก้ว B > ถ่านกัมมันต์การค้า AC ตามลำดับ (Table 1)

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

สรุปผลการทดลอง

ความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ ถ่านกัมมันต์ AC ถ่านปอแก้ว B และถ่านปอแก้ว A ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ และเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์การค้า AC เท่ากับ 180 นาที และถ่านปอแก้ว B และ A เท่ากับ 210-240 นาที ซึ่งเวลาในการเข้าสู่สมดุลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความพรุนของตัวอย่างถ่าน ถึงแม้ว่าผลการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์การค้าจะสูงกว่าถ่านปอแก้ว B ประมาณ 14% ถ่านปอแก้วจัดว่าเป็นตัวดูดซับที่เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับและเวลาที่เข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์การค้า และถ่านปอแก้วมีลักษณะสมบัติทางเคมีที่มีแนวโน้มเป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้ อีกทั้งถ่านปอแก้วมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ และสามารถนำไปเผาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากใช้ในกระบวนการดูดซับ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ถ่านปอแก้วทั้งสองขนาดยังมีความสามารถในการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนต่ำกว่าถ่านกัมมันต์การค้า ดังนั้นในงานวิจัยขั้นตอนต่อไปควรจะมิ

การศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ และปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไนเตรท-ไนโตรเจนของถ่านปอแก้ว เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และควรมีการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไนเตรท-ไนโตรเจนต่อความสามารถในการดูดซับ ก่อนที่จะนำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียจริง และควรมีการศึกษาถึงกระบวนการการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ภายในช่องว่างของถ่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษจากน้ำเสียของถ่านปอแก้ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย เรื่อง การใช้วัสดุจากธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย และ ดร.เนลล์ มาศวรรณ ศุภชัยวิชัยไพฑูริย์ ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 3 อ.เมือง จ.ขอนแก่น ผู้ให้การสนับสนุนวัสดุถ่านปอแก้วในการศึกษาวิจัย เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. 2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการดำเนินงานเบื้องต้น. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 347 หน้า
- สถาพร คูวิจิตรจาร์. 2541. ทดลองปฏิกิริยาดูดซับ. พิมพ์ครั้งที่ 1. 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.
- American 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 adsorption 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 Kenkyuhoukoku*, 45: 91-102.
- Koparal, A.S. and Ogutveren, U.B. 2002. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *J. of Hazardous Materials.*, B89: 83-94.
- Kim, D.S. 2004. Adsorption characteristics of Fe (III) and Fe (III)-NTA complex on granular activated carbon. *J. 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. *J. 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.