

ถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันและการดูดซับเชื้อ *Escherichia coli* Activated Carbon from Palm Bunch and its Adsorption of *Escherichia coli*

สาวิตรี จันทรานูรักษ์¹ วรรณรักษ์ นพเจริญกุล¹ และ ธาราพงษ์ วิทิตสานต์²

Wannaruk Nopcharoenkul, Sawitri Chuntranuluck, and Tharapong Vitidsant

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันมี กระบวนการ 2 ขั้นตอน คือการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที และการกระตุ้นทางเคมี ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ด้วยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลาย KOH และถ่านชาร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.18 – 2.36 มม.) คือ 1:1 อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1000 ลบ.ซม. ต่อนาที จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติคือ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.346 กรัมต่อลบ.ซม. ค่าการดูดซับไอโอดีน 1308 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 248 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำถ่านกัมมันต์นี้จำนวน 1 กรัม มาทำการดูดซับเชื้อ *E. coli* เป็นระยะเวลา 21 ชั่วโมงด้วยกระบวนการแบบ batch พบว่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ก้านทะลายปาล์มน้ำมันเป็นไปตามสมการไอโซเทอมของฟรอนดริช คือ $q_e = 0.9905 C_e^{0.07}$

ABSTRACT

There are 2 steps in the production of activated carbon from Palm Bunch as follow: the carbonization at 350°C for 45 minutes and the chemical activation at 800°C for 180 minutes using KOH 4 mole/L with the ratio of KOH:char (diameter 1.18-2.36 mm)= 1:1, nitrogen flow rate 1000 cm³/min. From the experiment, it was found that the activated carbon has the characteristics as follow: bulk density 0.346 g/cm³, iodine adsorption 1308 mg/g, and methylene blue adsorption 248 mg/g. Using 1 g of activated carbon, the adsorption of *E. coli* has been investigated through batch experiments for 21 hours, it was found that the Freundlich isotherm was $q_e = 0.9905 C_e^{0.07}$

Key word : activated carbon, carbonization, adsorption, *E. coli*

S. Chuntranuluck : fagisvtc@ku.ac.th

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

ถ่านกัมมันต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบตามธรรมชาติที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อถ่านกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ ที่มีลักษณะของโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง จึงเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและความพรุนสูง (ตามมาตราฐาน มอก. 900-2532) ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง โดยสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านเช่นอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมเคมีและยา และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น โดย อาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย (Johnson, 2005) จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและราคาที่ไม่แพงของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีคุณสมบัติที่คงที่ มีราคาถูกและหาได้ง่าย (Albert, 1978) ในปัจจุบันมีการนำวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมากเนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก ได้แก่ ช้างข้าวโพด ชี้อ้อย กะลาปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร และมีการมาประยุกต์ไปใช้งานในการดูดซับเชื้อ *Escherichia coli* ในตัวอย่างน้ำ ทั้งนี้เพื่อขยายฐานการใช้ประโยชน์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันในรูปถ่านกัมมันต์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

ก้านทะลายปาล์มน้ำมัน และเชื้อบริสุทธิ์ *Escherichia coli* 780 ATCC 8739 จากศูนย์เก็บรักษาและรวบรวมข้อมูลจุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ *E. coli* ในน้ำตัวอย่างคือ 0.27 กรัม/ลิตร

2. การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมัน

นำก้านทะลายปาล์มน้ำมันทำการลดขนาดโดยผ่านเครื่องสับย่อยซากพืช แล้วจึงทำการคาร์บอนไนซ์ ทะลายปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที (วิจิตร, 2539) นำก้านทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้ไปเข้าเครื่องขึ้นรูปถ่านได้เป็นถ่านแท่ง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างก้านทะลายปาล์มน้ำมัน แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ เท่ากับ 5 : 2 : 3 (โดยน้ำหนัก) นำถ่านแท่งที่ได้ อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดถ่านแท่งให้มีขนาดเล็กลง และทำการร่อนเพื่อคัดขนาดอนุภาคต่างๆ นำเม็ดถ่านกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย KOH ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลาย KOH และก้านทะลายปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1000 ลบ.ซม. ต่อนาที

3. วิเคราะห์สมบัติถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมัน

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าเถ้า (ash, %)(ASTM, 1996b) ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลบ. ซม.) (ASTM, 1996c) ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) (ASTM, 1996a) ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม) (JIS,1991) และทำการถ่ายภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องกราด (Scanning electron microscope)

4. การศึกษาทางจลศาสตร์ (Kinetic) ของความเข้มข้นของ *E.coli* ที่เหลืออยู่ในสารละลายที่แช่ถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 9 ใบ เติมน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ลงในขวดแต่ละใบ นำขวดทั้งหมดไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E. coli* เป็นน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) โดยวิธีสาโรจน์ (2544) เก็บตัวอย่างที่เวลา 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 36 และ 48 ชั่วโมง มาทำการเหวี่ยงแยกด้วยความเร็ว 2,500xg เป็นเวลา 10 นาที นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาที่เปลี่ยนไป (ชั่วโมง) กับความเข้มข้นของเซลล์ *E.coli* ที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

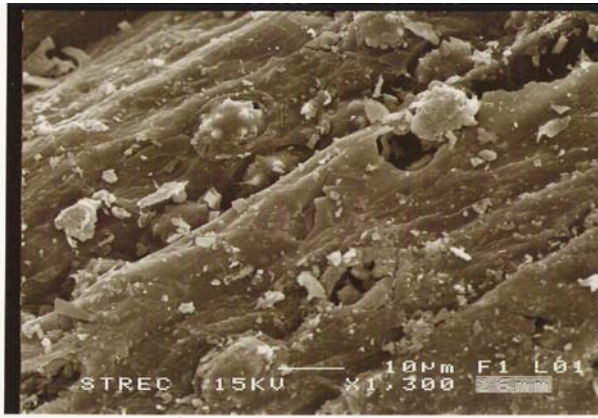
5. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสมดุล

นำถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 4 มาทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เย็นในหม้อดูดความชื้น ซึ่งถ่านกัมมันต์จำนวน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 9 ขวด ตามลำดับ นำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด ทำการเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E. coli* เป็นน้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร) นำค่า q (ปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E.coli* ที่ถูกดูดซับต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้) และ C (ปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E.coli* ที่เหลืออยู่) มาหาความสัมพันธ์ในรูปไอโซเทอม ที่สภาวะสมดุล

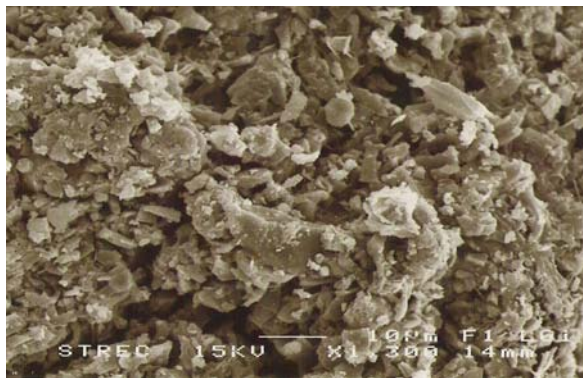
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาสมบัติถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาสมบัติถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย KOH พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีน 1308 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 248 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.346 กรัมต่อ ลบ. ซม. ค่าเถ้า 40.03 % ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ 44.47% และภาพที่ 1 – 2 แสดงพื้นผิวของถ่านชาร์ทะลายปาล์มน้ำมันและถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันจะเห็นได้ว่าถ่านชาร์ผ่านการกระตุ้นทางเคมีเป็นถ่านกัมมันต์ทำให้เกิดรูพรุนที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวของถ่านชาร์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 1 พื้นผิวของถ่านชาร์จากก้านทะเลลายปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 2 พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากก้านทะเลลายปาล์มน้ำมัน

2. ผลการศึกษาทางจลศาสตร์ (Kinetic) ของความเข้มข้นของ *E.coli* ที่เหลืออยู่ในสารละลายที่แช่ถ่านกัมมันต์ ตารางที่ 1 แสดงผลของระยะเวลาในการแช่ที่มีต่อการดูดซับเชื้อ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์ โดยสมภาวะการทดลองคือ น้ำตัวอย่างปริมาณ 50 มิลลิลิตรต่อถ่านกัมมันต์จำนวน 1 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ จากการทดลองพบว่า ในช่วงแรก ปฏิกริยาของการดูดซับจะดำเนินไปอย่างรวดเร็วและมีความสามารถในการดูดซับสูง ต่อมาจะค่าการดูดซับจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ เรียกช่วงปฏิกริยาการดูดซับที่คงที่ ว่า จุดสมดุลของการดูดซับ (equilibrium state) จุดสมดุลของการดูดซับของเชื้อ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์เกิดขึ้นหลังชั่วโมงที่ 21 ซึ่งเป็นเวลาที่ถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับเชื้อได้เพิ่มขึ้นอีก และความเข้มข้นของเชื้อ *E.coli* ที่เหลืออยู่จะคงที่เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่นั้นเริ่มหมดไป ทำให้เชื้อไม่สามารถเจริญได้อีก ดังนั้นถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติการดูดซับไอโอดีนที่สูงก็ตามแต่จากการทดลองพบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับระหว่างชั้นฟิล์มของเชื้อ *E.coli* กับ เฉพาะที่พื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากขนาดเซลล์ของเชื้อ *E.coli* มี ขนาดกว้างและยาว 1.1-1.5 และ 2.0-6.0 ไมโครเมตร ตามลำดับ (Bell and Kyriakides, 1998) ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดรูพรุนระดับกลางและเล็กของถ่านกัมมันต์ อยู่ 100 เท่า เชื้อจึงไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กของถ่านกัมมันต์ได้ (Webster *et al.*, 1997)

ตารางที่ 1 แสดงผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับเชื้อ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์

เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเชื้อ <i>E.coli</i> * ที่เหลือในน้ำตัวอย่าง, q (กรัม/ลิตร)
0	0.27
3	0.184
6	0.245
9	0.273
12	0.298
15	0.322
18	0.346
21	0.383
36	0.384
48	0.368

หมายเหตุ * คือ ความเข้มข้นของเชื้อ *E.coli* ที่เหลืออยู่ในน้ำตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ณ. เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง ณ. ความดันบรรยากาศ

3. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสมดุล

จากทดลอง พบว่าไอโซเทอมของการดูดซับเชื้อ *E.coli* ด้วยถ่านกัมมันต์ นั้นสอดคล้องกับสมการ ฟรุนดริช ดังนี้

$$q_e = KC_e^{1/n}$$

โดยสามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ว่า

$$\log q_e = \log K + 1/n \log C_e$$

และ

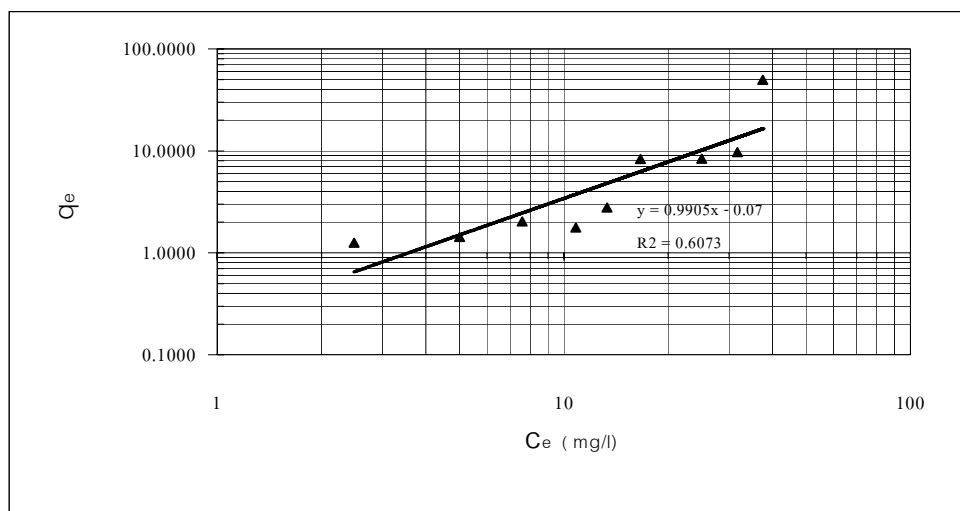
$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{W_e}$$

เมื่อ q_e คือ น้ำหนักของเชื้อ *E.coli* ที่ถูกดูดซับ ต่อ หนึ่งหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ C_e คือ ความเข้มข้นของเชื้อ *E.coli* ที่อยู่ในน้ำตัวอย่าง ณ.จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) K คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ $1/n$ คือ ค่าคงที่ที่เป็นฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับ ซึ่งขึ้นกับธรรมชาติของตัวสารที่ถูกดูดซับ C_0

คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเชื้อ *E.coli* (มิลลิกรัมต่อลิตร) W_e คือ น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ (มิลลิกรัม)

ตารางที่ 2 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชของถ่านกัมมันต์จากก้านละลายปาล์มน้ำมัน

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (กรัม)	C_e (กรัมต่อลิตร)	q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
2.00	0.025	0.0126	-1.6050	-1.9002
1.80	0.050	0.0144	-1.3010	-1.8431
1.60	0.076	0.0203	-1.1201	-1.6922
1.40	0.108	0.0177	-0.9652	-1.7511
1.20	0.133	0.0278	-0.8756	-1.5563
1.00	0.166	0.0833	-0.7786	-1.0792
0.80	0.250	0.0837	-0.6023	-1.0770
0.60	0.317	0.0972	-0.4992	-1.0122
0.40	0.375	0.4992	-0.4260	-0.3018
0	0.575			



ภาพที่ 3 ไอโซเทอมของการดูดซับของเชื้อ *E.coli* แบบฟรุนดริชของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E. coli* ที่ถูกดูดซับต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ และปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ *E. coli* ที่เหลืออยู่ โดยพบว่า ไอโซเทอมของฟรุนดริช คือ

$$q_e = 0.9905 C_e^{0.07}$$

ถ้า ฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ (1/n) มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ถ่านกัมมันต์ มีความจุในการดูดซับที่ดี (Randtke and Snoeyink, 1983) แต่ในการทดลองนี้ค่า 1/n ที่ได้มีค่าต่ำคือ 0.07 แสดงว่ามีความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ต่ำ (Faust and Aly, 1987) ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ *E. coli* มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กของถ่าน จึงไม่สามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็กได้ การดูดซับจึงเกิดเฉพาะบริเวณพื้นผิวภายนอกและบางส่วนของรูพรุนขนาดใหญ่ของถ่านกัมมันต์เท่านั้น (Webster *et al.*, 1997)

สรุป

สมบัติถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้ มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1308 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 248 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาณ 0.346 กรัมต่อ ลบ. ซม. ค่าถ่าน 40.03 % ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ 44.47% เมื่อนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับเชื้อ *E. coli* พบว่าไอโซเทอมของการดูดซับเป็นไปตามสมการของฟรุนดริช คือ $q_e = 0.9905 C_e^{0.07}$ โดยค่าฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับ (1/n) เท่ากับ 0.07 ซึ่งยังมีค่าต่ำ แสดงว่าการดูดซับเกิดเฉพาะที่ผิวนอกของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเซลล์ของเชื้อมีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของถ่าน 100 เท่า ดังนั้นถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีและกลิ่น แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำในการดูดซับเชื้อ *E. coli* จึงต้องใช้แสง UV ในการช่วยฆ่าเชื้อด้วยหรืออาจต้องเพิ่มกรรมวิธีอย่างอื่นลงในกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อมากขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสวพ. ที่ให้ทุนในการสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

วิจิตร ว่องวาริทิพย์. 2539. **ลู่วางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีเขตการค้าเสรีอาเซียน (สำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม)**. ฝ่ายแผนงานเศรษฐกิจรายสาขา สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สาโรจน์ ศิริคันทน์นียกุล, วรสิทธิ์ ไทจำปา, และประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ. 2544. **วิศวกรรมเคมีชีวภาพพื้นฐาน 2**.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 284 น.

Albert, Y. 1978. **Activated Carbon Manufacture and Regeneration**. Noyes Data Co., New Jersey, USA. 329 p.

American Standard of Testing Material. 1996a. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon ASTM 4067-86**. 397-400 p.

- American Standard of Testing Material. 1996b. **Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon ASTM 2866-94.** 498-499 p.
- American Standard of Testing Material. 1996c. **Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon ASTM 2854-89.** 491-493 p.
- Bell, C. and A. Kyriakides. 1998. ***E. coli* Apractical approach to the organism and its control in foods.** Blackie Academic & professional, New York.
- Fan, M., W.Marshall, D. Daugaard and R.C. Brown. 2004. Steam activation of Chars Produced from Oat Hull and Corn Stover. **Bioresource Tech.** 93: 103-107.
- Faust, S. D. and O.M. Aly. 1987. **Adsorption Processes for Water Treatment.** ButterWorth Publisher, Boston. 509 p.
- Japanese Industrial Standard. 1991. **Standard Test Method for Activated Carbon. JIS K 1474-1991.** 1-3 p.
- Johnson, A.J. 2005. **Drinking Water Resources:** Activated carbon filters. Available Source: <http://www.cyber-nook.com/water/p-filters-ac.htm>, April 29, 2005.
- Randtke, S.J and V.L. Snoeyink. 1983. Evaluating GAC adsorptive capacity. **J. AWWA.** 75: 406-413.
- Webster, T.S., J.S. Deviny, E.M. Torres and S.S.Basrai. 1997. Microbial ecosystems in compost and granular activated carbon biofilters. **Biotechnol. Bioeng.** 53: 296-304.