

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การนำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลในงานวิจัยนี้ ได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ส่วนที่สองเป็นผลการทดลองการนำถ่านกัมมันต์มาศึกษาหาเวลาสมดุลการดูดติดผิว ส่วนที่สามเป็นการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดติดผิว และส่วนที่สี่เป็นการหาประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ด้วยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง โดยนำเสนอตามลำดับดังนี้

4.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากตัวแทนจำหน่ายถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ PHO C เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ PHO P เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบภายในประเทศ ผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดเหมาะสำหรับงานทางด้านบำบัดน้ำเสีย โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดดังตารางที่ 4.1

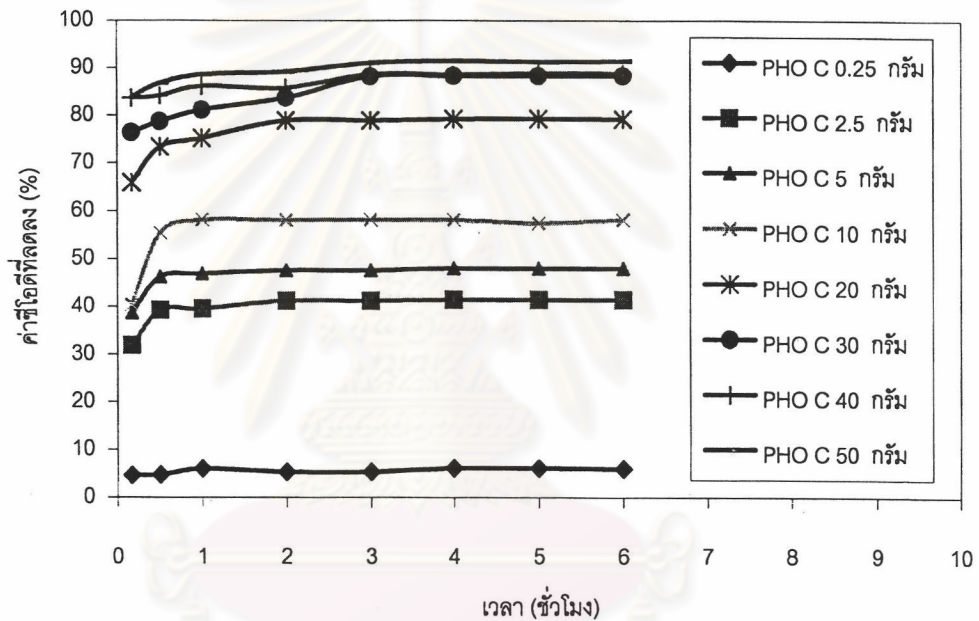
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย (จากตัวแทนจำหน่าย)

คุณสมบัติ	PHO C	PHO P
Particle Size Distribution : (ASTM Mesh/mm)	+8 : Max. 5% 8x30 : Min 90% -30 : Max. 5%	+8 : Max. 5% 8x30 : Min 90% -30 : Max. 5%
Apparent Density (g/cc)	Min 0.48	Min 0.48
Moisture (% w/w)	Max.8	Max.8
Ash (% w/w)	Max. 3.5	Max. 3.5
pH	9-11	9-11
Surface Area (m ² /g)	Min. 1100	Min. 1100
Iodine Number (mg/g)	Min. 1050	Min. 1050
Carbon Tetrachloride Adsorption (% w/w)	Min. 50	Min. 50
Hardness Number (%)	Min. 98	Min. 98
Methylene Blue (cc/g)	Min. 170	Min. 170

จากข้อมูลสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ในตารางที่ 4.1 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) มีคุณสมบัติไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจากข้อมูลเบื้องต้นนี้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) น่าจะมีความสามารถในการเป็นสารดูดติดผิวที่ใกล้เคียงกัน

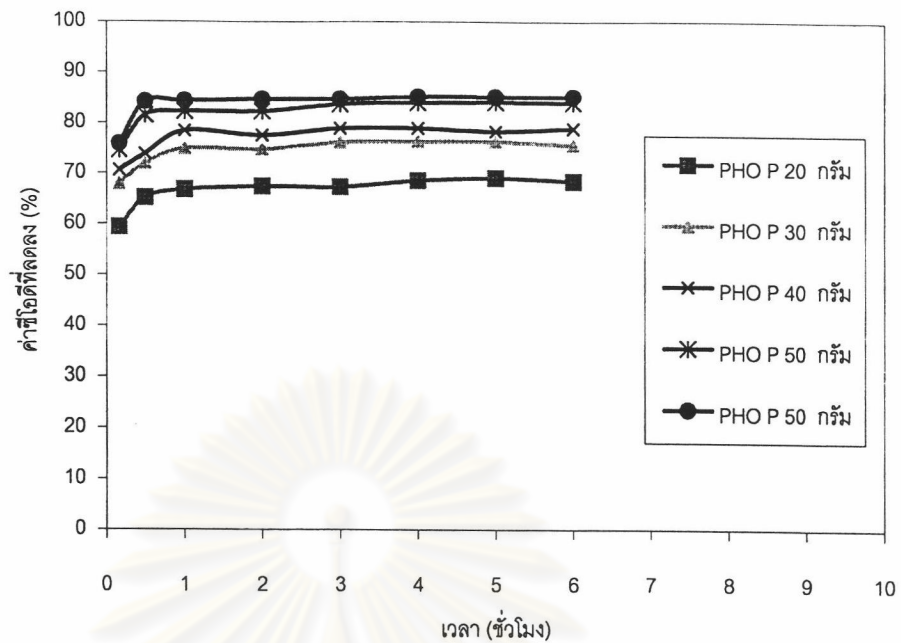
4.2 การศึกษาหาเวลาสมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium Time) ของถ่านกัมมันต์

การศึกษาหาเวลาสมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium Time) ของถ่านกัมมันต์ เป็นการ ศึกษาเพื่อหาเวลาสมดุลการดูดติดผิวที่เหมาะสมในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ เปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ผลการศึกษาหาเวลาสมดุลการดูดติดผิวในการลดค่าซีไอดีใน น้ำเสียของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ด้วยวิธีจาร์เทสต์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีที่ลดลง (%) ณ เวลาต่าง ๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก กะลามะพร้าว (PHO C) ในปริมาณต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 28±3 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

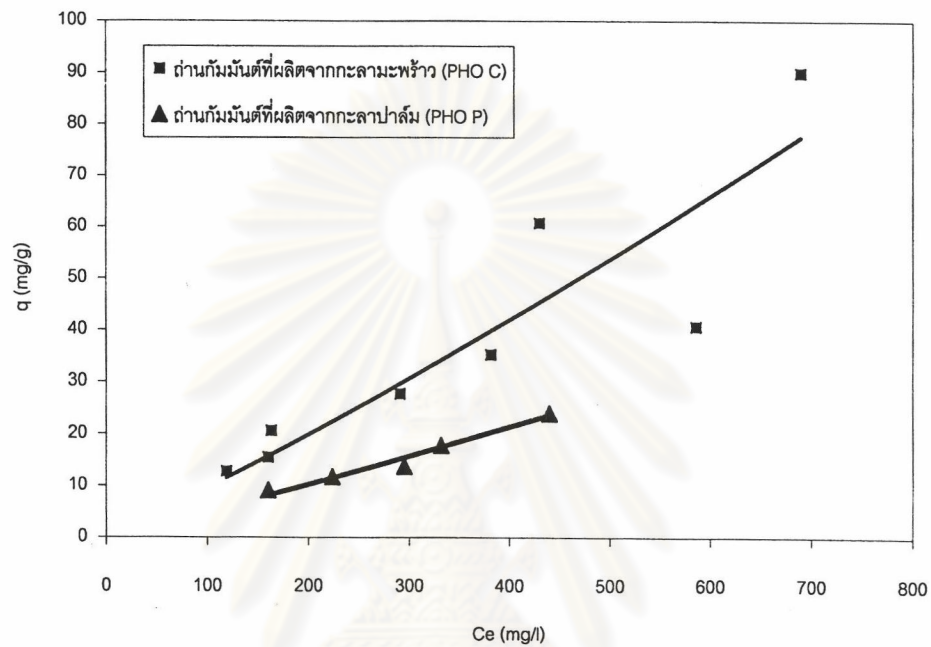


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอที่ลดลง (%) ณ เวลาต่าง ๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ในปริมาณต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 28 ± 3 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1 และ 4.2 ได้แสดงให้เห็นว่าการลดค่าซีไอในน้ำเสียจากกระบวนการพิมพ์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงครึ่งชั่วโมงแรก และค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งไม่เกิดการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นอีก ค่าซีไอที่เหลืออยู่ในน้ำเสียจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ที่จุดนี้เรียกว่าจุดสมดุลการดูดติดผิว (Equilibrium Point) ซึ่งที่จุดนี้อัตราการดูดติดผิวของสารถูกดูดติดผิวจะเท่ากับอัตราการคายสารถูกดูดติดผิว เวลาสมดุลที่เหมาะสมในการดูดติดผิวคือ เวลาตั้งแต่เริ่มปฏิบัติการดูดติดผิวจนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุลการดูดติดผิว เมื่อถึงจุดสมดุลการดูดติดผิวแล้ว การเพิ่มระยะเวลาการดูดติดผิวจะไม่มีผลทำให้ปริมาณการดูดติดผิวเพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าซีไอที่เวลาต่าง ๆ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) เข้าสู่สมดุลโดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง โดยที่หลังจากเวลานี้ไปแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอในน้ำเสียน้อยมากคือไม่เกินร้อยละ 1 ดังนั้นในการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด จึงเลือกใช้เวลาที่ 4 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการเข้าสู่สมดุลการดูดติดผิว

4.3 การวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

หลังจากได้เวลาสมดุลที่เหมาะสมในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดแล้ว นำข้อมูลผลการทดลองจากข้อ 4.2 ที่เวลาสมดุลคือ 4 ชั่วโมง มาสร้างกราฟไอโซเทอมได้ดังรูปที่ 4.3

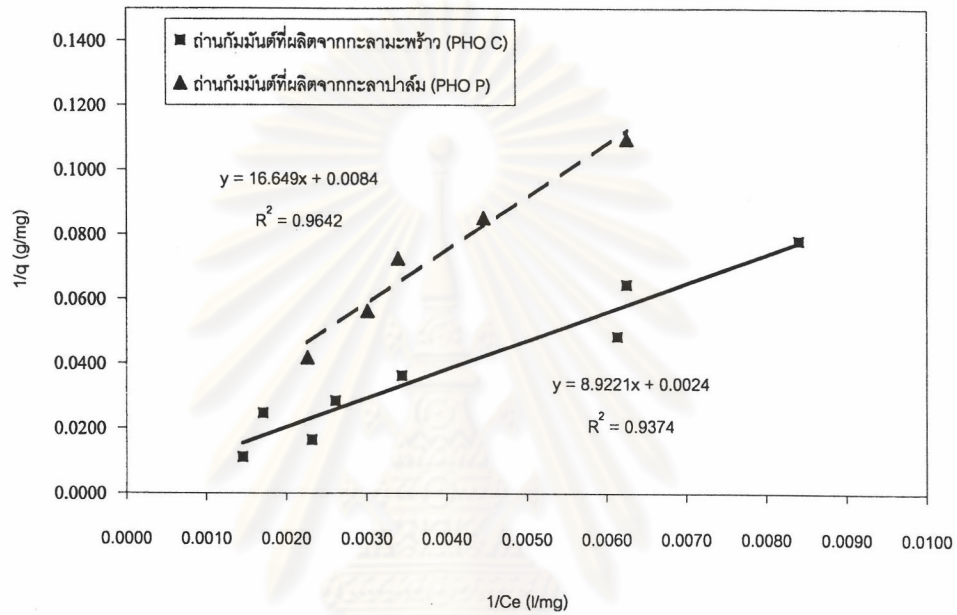


รูปที่ 4.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิวจากสารละลายของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะหล่ำมะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดจะสามารถลดค่าซีไอดีของน้ำเสียได้มากขึ้น

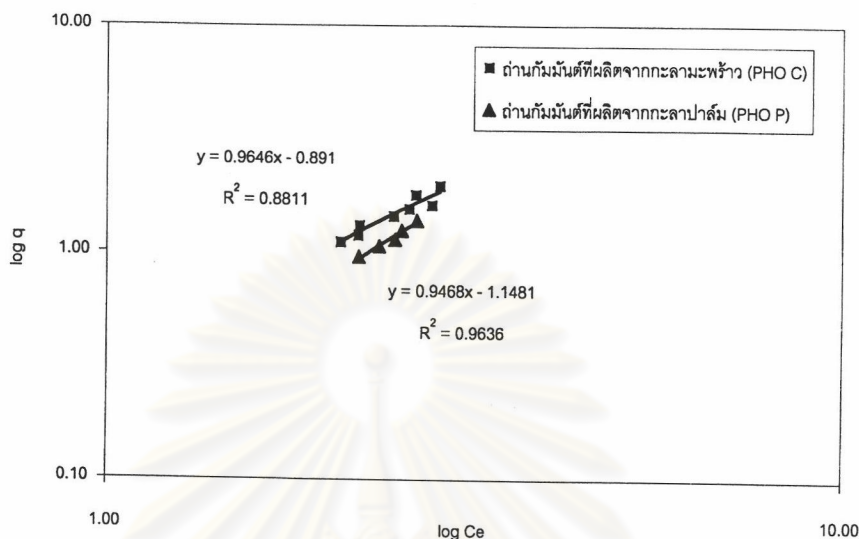
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด มาแปลงให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงตามสมการแลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช จะได้กราฟดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อุณหภูมิ 28±3 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อุณหภูมิ 28 ± 3 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 สามารถวิเคราะห์หาค่า Coefficient of Determination (R^2) ของแต่ละไอโซเทอมสำหรับถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 R^2 ของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรอนดลิช สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

ชนิดถ่านกัมมันต์	ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์	ไอโซเทอมแบบฟรอนดลิช
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)	$R^2 = 0.9374$	$R^2 = 0.8811$
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)	$R^2 = 0.9642$	$R^2 = 0.9636$

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่า R^2 ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) มีค่า 0.9374 และ 0.8811 สำหรับค่า R^2 ของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) มีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 0.9642 และ 0.9636 แสดงว่าการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) สอดคล้องกับสมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรอนดลิชเล็กน้อย ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) สอดคล้องกับสมการดูดติดผิวทั้งสมการแลงเมียร์และสมการฟรอนดลิช

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 สามารถนำค่าความชันและจุดตัดแกนตั้ง มาวิเคราะห์หาค่าคงที่ในสมการ แลงเมียร์และสมการฟรอนดลิชได้ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่จากไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

ชนิดถ่านกัมมันต์	q_m (mg/g)	b (l/mg)
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)	417	2.69×10^{-4}
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)	119	5.05×10^{-4}

ค่าคงที่ q_m คือปริมาณของสารดูดติดผิวที่มากที่สุดที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (mg/g) กล่าวคือ ถ้าเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดที่สภาวะเดียวกัน ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่ q_m สูงกว่าจะมีความสามารถในการดูดติดผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่ q_m ต่ำกว่า ดังนั้นจากตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ q_m ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) มีค่าเท่ากับ 417 mg/g และ 119 mg/g ตามลำดับ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จึงมีความสามารถในการดูดติดผิวสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดค่าซีไอดีได้กว่าถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

จากค่าคงที่ที่ได้สามารถนำมาเขียนไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ได้ โดยไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) คือ

$$q = \frac{0.1122C_e}{1 + 2.69 \times 10^{-4} C_e} \quad (8)$$

และไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) คือ

$$q = \frac{0.0601C_e}{1 + 5.05 \times 10^{-4} C_e} \quad (9)$$

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่จากไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

ชนิดถ่านกัมมันต์	K	n
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)	0.1285	1.0367
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)	0.0711	1.0562

ค่าคงที่ K จะสัมพันธ์กับปริมาณการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ กล่าวคือ ถ้าเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดที่สภาวะเดียวกัน ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่ K สูงกว่าจะมีปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่ K ต่ำกว่า ดังนั้นจากตารางที่ 4.4 ค่าคงที่ K ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) มีค่าเท่ากับ 0.1285 และ 0.0711 ตามลำดับ แสดงว่าค่าซีโอดีของสารละลายที่สมดุลเดียวกัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) มีปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จึงมีความสามารถในการดูดติดผิวค่าซีโอดีดีกว่าถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

สำหรับค่าคงที่ n ซึ่งหาได้จากค่าความชันของกราฟ ถ้าถ่านกัมมันต์ใดมีค่าคงที่ n สูง แสดงว่าความสามารถในการดูดติดผิวเปลี่ยนแปลงตามค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าคงที่ n น้อยกว่า จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าคงที่ n ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) มีค่าเท่ากับ 1.0367 ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) มีค่าเท่ากับ 1.0562 แสดงว่าปริมาณการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) เปลี่ยนแปลงตามค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียน้อยกว่าใกล้เคียงกัน

จากค่าคงที่ที่ได้สามารถนำมาเขียนไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชได้ โดยไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) คือ

$$q = 0.1285C_e^{1/1.0367} \quad (10)$$

และไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) คือ

$$q = 0.0711C_e^{1/1.0562} \quad (11)$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4. การหาประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ด้วยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง

การทดลองโดยใช้ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองเป็นการทดลองการดูดติดผิวแบบต่อเนื่อง โดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองแบบไหลลง (Down Flow) และเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ความลึกแต่ละจุดของชั้นถ่านกัมมันต์คือที่ 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.8 เมตร ณ เวลาที่ใช้ในการบำบัดต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์หาค่าซีไอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียจากระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง โดยทำการทดลองที่อัตราการบำบัดต่าง ๆ ดังนี้คือ 0.68, 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ เก็บตัวอย่างน้ำจากระบบทั้งถ่านกัมมันต์เริ่มหมดสภาพคือความเข้มข้นของค่าซีไอดีของน้ำออกเริ่มมีความเข้มข้นของค่าซีไอดีเข้าใกล้ความเข้มข้นของค่าซีไอดีของน้ำเข้า สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาที่จุดเบรคทวร์จ (อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนค่าซีไอดีของน้ำออก (Effluent) และน้ำเข้า (Influent) หรือ Ce/Co) เท่ากับ 0.49 เนื่องจากน้ำเสียขาออกที่จุดนี้ยังคงเป็นน้ำเสียที่สามารถผ่านเข้าไปบำบัดขั้นทุติยภูมิได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิของระบบบำบัดน้ำเสียปัจจุบันของโรงพิมพ์ธนบัตร (หมายเหตุ ค่าซีไอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดขั้นปฐมภูมิของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพิมพ์ธนบัตร (Co) เท่ากับ 2,000 mg/l ดังนั้นค่าซีไอดีของน้ำเสียขาออกจากระบบดูดติดผิว (Ce) กำหนดให้เป็น 0.49Co มีค่าเท่ากับ 980 mg/l ซึ่งน้อยกว่า 1,300 mg/l ซึ่งเป็นซีไอดีที่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิของโรงพิมพ์ธนบัตรสามารถรองรับได้)

ผลการทดลองโดยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองสามารถแสดงผลการทดลองได้เป็น 4 ส่วน คือ

4.4.1 การหากราฟเบรคทวร์จหรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ce/Co กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

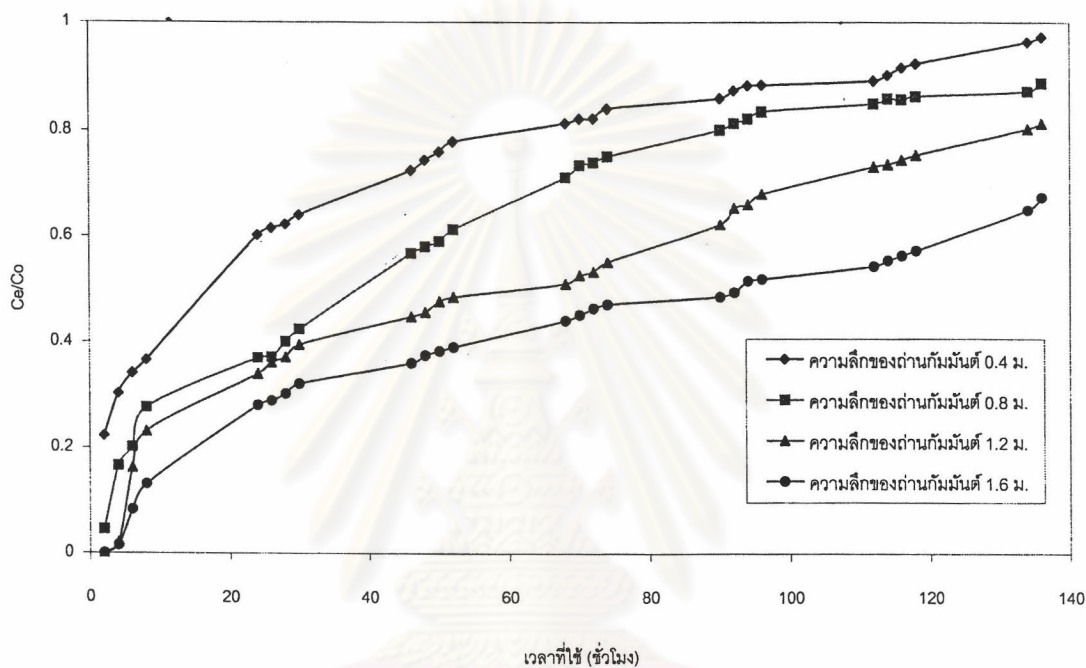
4.4.2 การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทวร์จกับความลึกของถ่านกัมมันต์ และการหาค่าคงที่ N_0 และ K ในสมการ Bohart-Adams

4.4.3 การหาประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ด้วยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

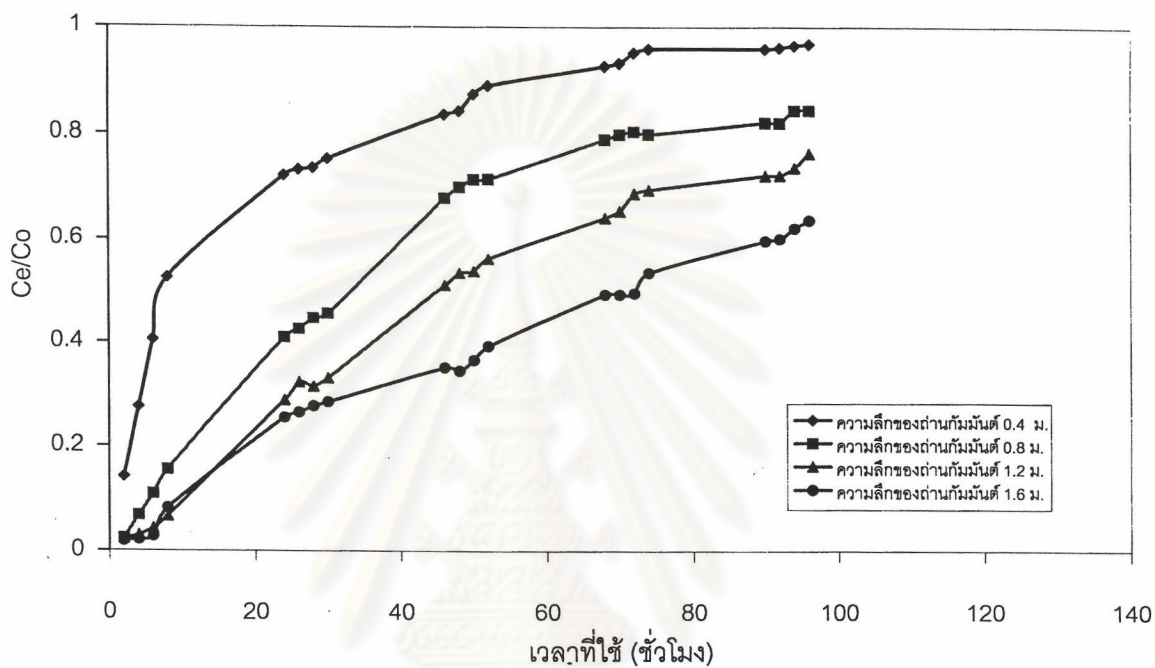
4.4.1 ผลการทดลองของการหากราฟเบรคทอร์จ์หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ce/Co กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลองโดยใช้ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองที่บรรจุถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) บำบัดน้ำเสียเข้าสู่ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ชั้นความลึกของถ่านกัมมันต์ ที่ความลึก 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 เมตร ตามลำดับ โดยใช้ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 ครั้ง/วัน แล้วนำมาสร้างกราฟเบรคทอร์จ์หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ce/Co กับเวลาที่ใช้ในการบำบัด ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



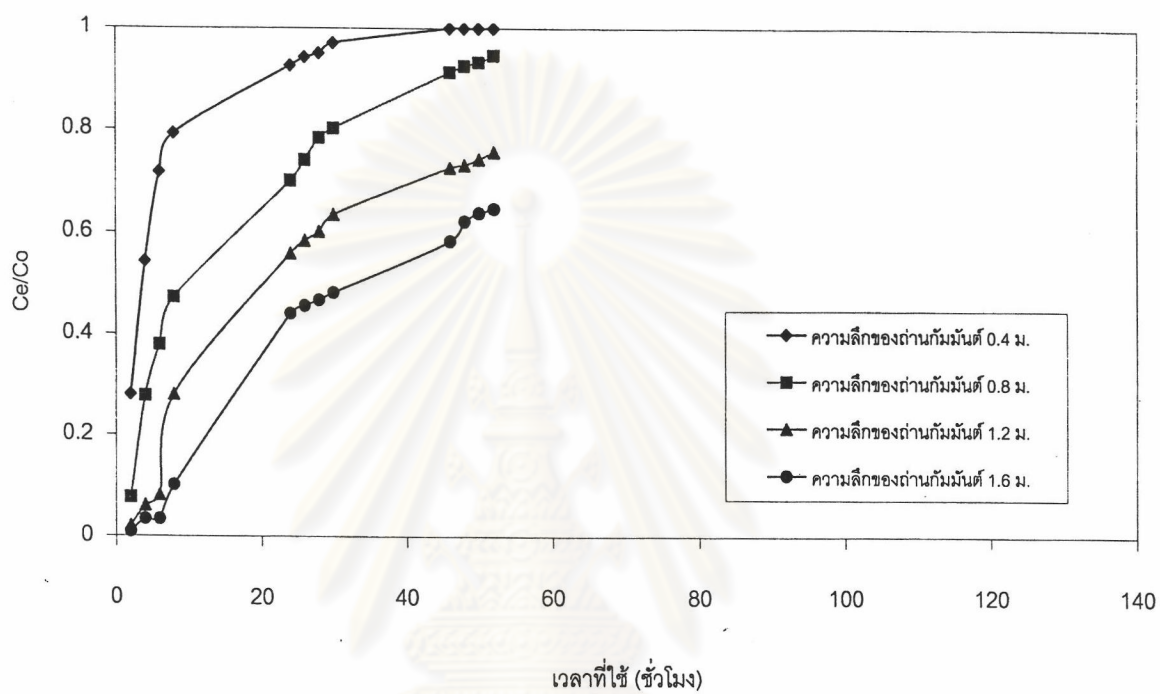
รูปที่ 4.6 กราฟเบรคทอร์จ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 0.68 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 กราฟเบรคทรูจ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด $1.36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

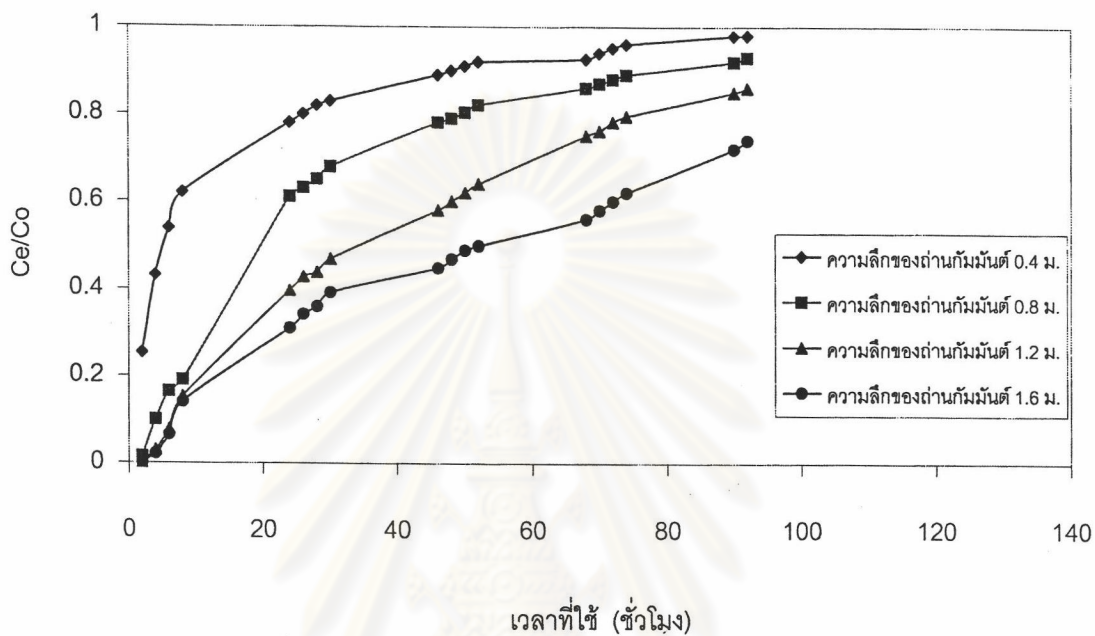
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 กราฟเบรคทรูจ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด $2.72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

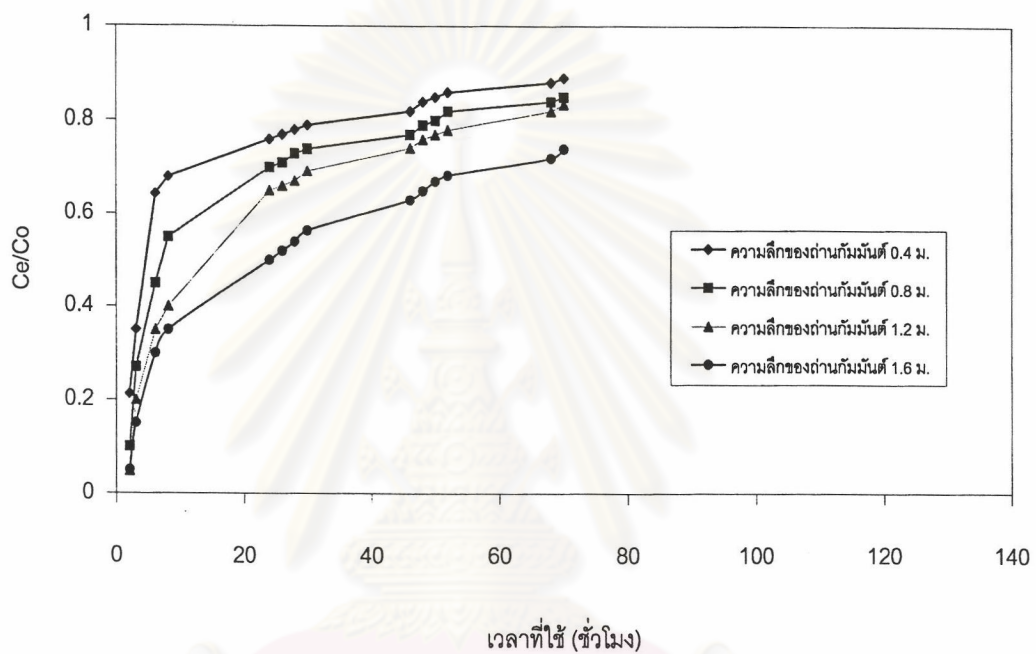
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองโดยใช้ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองที่บรรจุถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ชั้นความลึกของถ่านกัมมันต์ ที่ความลึก 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 เมตร ตามลำดับ โดยใช้ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 ครั้ง/วัน แล้วนำมาสร้างกราฟเบรคทรูจหรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ce/Co กับเวลาที่ใช้ในการบำบัด ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



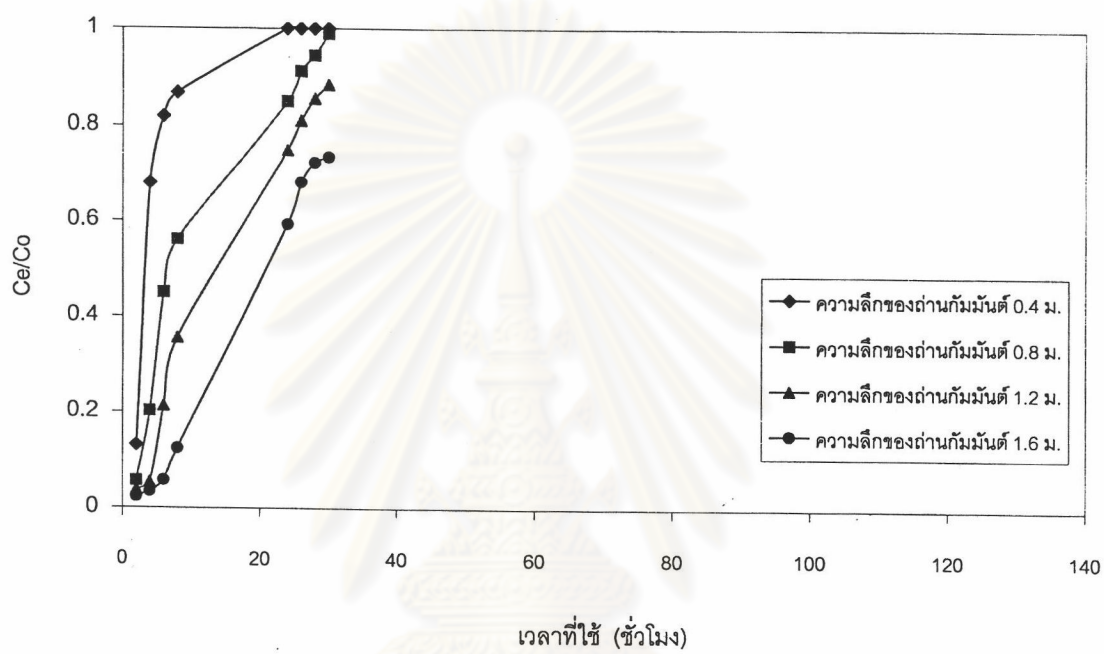
รูปที่ 4.9 กราฟเบรคทรูจของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด 0.68 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 กราฟเบรคทฤษฎีของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด $1.36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 กราฟเบรคทรูจ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด $2.72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6 เป็นกราฟเบรคทูล์จ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 0.68 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ถ้าพิจารณาที่แต่ละความลึกของถ่านกัมมันต์พบว่าอัตราส่วน Ce/Co เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการบำบัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด แสดงว่าเมื่อปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเพิ่มมากขึ้น ค่าซีโอดีในน้ำเสียขาออกจะมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่าถ่านกัมมันต์เริ่มอิ่มตัว ไม่สามารถดูดติดผิวสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดค่าซีโอดีในน้ำเสียขาออกได้ ค่าซีโอดีในน้ำเสียขาออกจึงเพิ่มมากขึ้น และถ้าพิจารณาที่ปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเท่ากัน พบว่าอัตราส่วน Ce/Co ลดลงเมื่อความลึกของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น แสดงค่าซีโอดีในน้ำเสียขาออกลดลงเมื่อเพิ่มความลึกของถ่านกัมมันต์หรือเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณมากขึ้น ก็สอดคล้องกับหลักการดูดติดผิวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์หรือก็เพิ่มพื้นที่ผิวการดูดติดผิว ก็จะสามารถทำให้ดูดติดผิวสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดค่าซีโอดีออกจากน้ำเสียได้มากขึ้น สำหรับเวลาที่ใช้ในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทูล์จ์เท่ากับ 0.49 ที่ความลึกของถ่านกัมมันต์ 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 เมตร เท่ากับ 15, 36, 51 และ 80 ชั่วโมง ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นกราฟเบรคทูล์จ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ตามลำดับ และรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นกราฟเบรคทูล์จ์ของถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ตามลำดับ มีลักษณะกราฟในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 4.6 กล่าวคือ ที่ความลึกของถ่านกัมมันต์ค่าหนึ่ง อัตราส่วน Ce/Co เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการบำบัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด และพบว่าที่ปริมาณน้ำเสียเท่ากัน อัตราส่วน Ce/Co ลดลงเมื่อความลึกของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น สำหรับเวลาที่ใช้ในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทูล์จ์เท่ากับ 0.49 ที่ความลึกของถ่านกัมมันต์ 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 เมตร แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาที่ใช้จนถึงจุดเบรคทูล์ (Ce/Co = 0.49) จากการบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์
ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

อัตราการบำบัด ($m^3/m^2 \cdot hr$)	ความลึกของถ่านกัมมันต์ (m)	เวลาที่ใช้จนถึงจุดเบรคทูล์ (ชั่วโมง)	
		กะลามะพร้าว (PHO C)	กะลาปาล์ม (PHO P)
0.68	0.4	15.0	6.5
	0.8	36.0	19.5
	1.2	51.0	33.0
	1.6	80.0	48.0
1.36	0.4	9.0	3.0
	0.8	29.0	6.5
	1.2	42.0	14.0
	1.6	62.0	24.0
2.72	0.4	3.0	3.0
	0.8	9.0	7.0
	1.2	20.0	13.5
	1.6	30.5	19.0

ตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเปรียบเทียบที่อัตราการบำบัดเดียวกัน ความลึกของถ่านกัมมันต์เท่ากัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จะใช้เวลาในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทูล์นานกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ซึ่งก็เป็นสิ่งที่คาดได้จากการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดติดผิวที่พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) สามารถดูดติดผิวได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

4.4.2 การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จกับความลึกของถ่านกัมมันต์ และการหาค่าคงที่ N_0 และ K ในสมการ Bohart-Adams

สมการ Bohart-Adams เป็นสมการที่ใช้ในการทำนายเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ ที่ความลึกของถ่านกัมมันต์ที่กำหนด ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$t = \frac{N_0}{C_0 V} \left[h - \frac{V}{KN_0} \ln\left(\frac{C_0}{C_B} - 1\right) \right] \quad (6)$$

การประยุกต์ใช้สมการ Bohart-Adams จำเป็นต้องอาศัยผลการทดลองจากระบบดูดติดผิวคอลัมน์ จำลองเพื่อหาค่าคงที่ของสมการ ได้แก่ ความสามารถในการดูดติดผิว N_0 ค่าคงที่ของอัตราการดูดติดผิว K ซึ่งขั้นตอนการหาค่าคงที่ดังกล่าว ทำได้ดังนี้

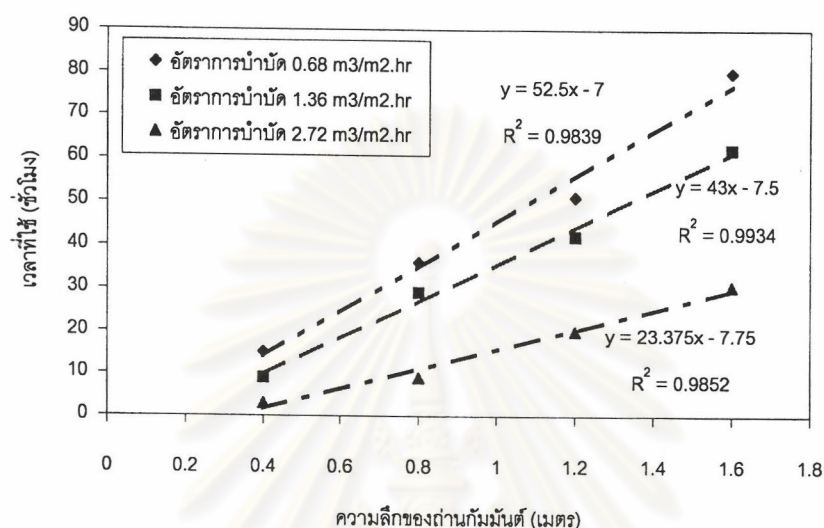
1. เขียนกราฟความสัมพันธ์โดยให้ความลึกของถ่านกัมมันต์ (h) เป็นแกนนอน กับเวลาที่ใช้ในการบำบัดจนกระทั่งค่าซีโอดีของน้ำเสียถึงจุดเบรคทอร์จ (t) เป็นแกนตั้ง
2. นำความชัน (Slope) และจุดตัดแกนตั้ง (Intercept) ที่ได้จากกราฟมาคำนวณค่า N_0 และ K ได้จาก

$$\text{ความชัน} = \frac{N_0}{C_0 V}$$

$$\text{จุดตัดแกนตั้ง} = \frac{-1}{KC_0} \ln\left(\frac{C_0}{C_B} - 1\right)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) การหาค่าคงที่ในสมการ Bohart Adams ในการลดค่าซีไอดีจากน้ำเสียของโรงพิมพ์ธนบัตรที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นประมาณ 1900 ± 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการบำบัด 0.68 , 1.36 และ 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของถ่านกัมมันต์กับเวลาที่ใช้ในการลดค่าซีไอดีจนถึงจุดเบรคทฤษฎีดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับความลึกของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)

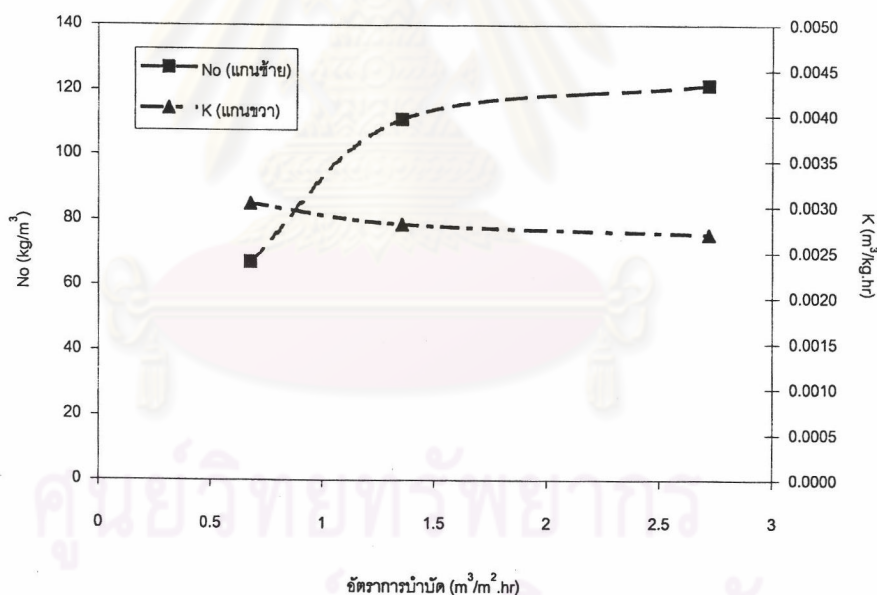
จากรูปที่ 4.12 พบว่าที่แต่ละอัตราการบำบัดน้ำเสีย ความลึกของถ่านกัมมันต์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนกระทั่งถึงจุดเบรคทฤษฎี ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าถ้าเพิ่มความลึกของถ่านกัมมันต์จะทำให้บำบัดน้ำเสียได้ปริมาณมากขึ้น และถ้ากำหนดอัตราการบำบัดและความลึกของถ่านกัมมันต์ จะสามารถหาเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากรูปที่ 4.12 ได้

ค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams สามารถหาได้จากค่าความชัน และจุดตัดแกนตั้งในรูปที่ 4.12 แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความชัน จุดตัดแกนตั้ง และค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ที่คำนวณได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)

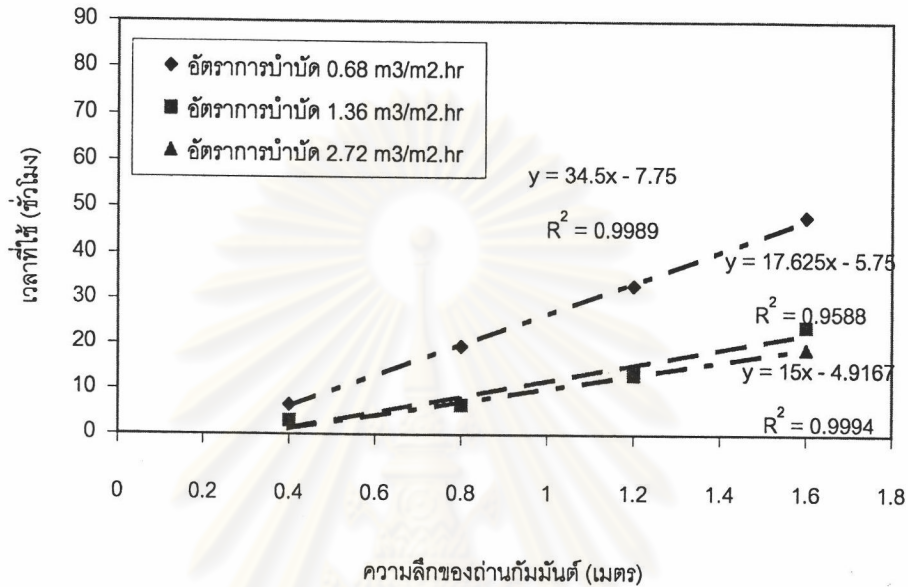
อัตราการบำบัด $\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$	ความชัน hr / m	จุดตัดแกนตั้ง hr	N_o kg / m^3	K $\text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{hr}$
0.68	52.50	-7.00	67	0.0030
1.36	43.00	-7.50	111	0.0028
2.72	23.38	-7.75	121	0.0026

จากตาราง 4.6 นำค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_o , K กับอัตราการบำบัดได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_o และ K กับอัตราการบำบัดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)

สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) การหาค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ในการลดค่าซีไอดีจากน้ำเสียของโรงพิมพ์ธนบัตรที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นประมาณ 1900 ± 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการบำบัด 0.68 , 1.36 และ $2.72 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของถ่านกัมมันต์กับเวลาที่ใช้ในการลดค่าซีไอดีจนถึงจุดเบรคทอร์จดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับความลึกของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

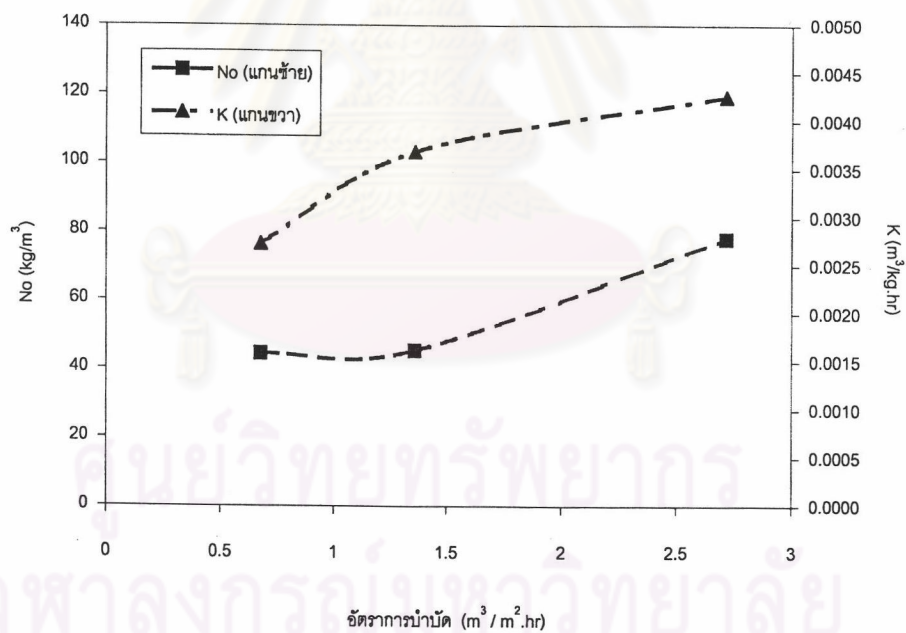
จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟเป็นไปในทำนองเดียวกับรูปที่ 4.12 นั่นคือความลึกของถ่านกัมมันต์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนกระทั่งถึงจุดเบรคทอร์จ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าถ้าเพิ่มความลึกของถ่านกัมมันต์จะทำให้บำบัดน้ำเสียได้ปริมาณมากขึ้น และถ้ากำหนดอัตราการบำบัดและความลึกของถ่านกัมมันต์ จะสามารถหาเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากรูปที่ 4.14 ได้

หาค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams สามารถหาได้จากค่าความชัน และจุดตัดแกนตั้งในรูปที่ 4.14 แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความชัน จุดตัดแกนตั้ง และค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ที่คำนวณได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

อัตราการบำบัด $m^3 / m^2 \cdot hr$	ความชัน hr / m	จุดตัดแกนตั้ง hr	N_o kg / m^3	K $m^3 / kg \cdot hr$
0.68	34.50	-7.75	44	0.0027
1.36	17.63	-5.75	45	0.0037
2.72	15.00	-4.92	77	0.0043

จากตาราง 4.7 นำค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N_o , K กับอัตราการบำบัดได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง N_o และ K กับอัตราการบำบัดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

ค่าคงที่ในสมการ Bohart-Adams ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่า N_o และ K ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) กับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

อัตราการบำบัด $m^3 / m^2 \cdot hr$	N_o (kg / m^3)		K ($m^3 / kg \cdot hr$)	
	PHO C	PHO P	PHO C	PHO P
0.68	67	44	0.0030	0.0027
1.36	111	45	0.0028	0.0037
2.72	121	77	0.0026	0.0043

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าคงที่ N_o ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $m^3 / m^2 \cdot hr$ มีค่า 67, 111 และ 121 kg / m^3 ตามลำดับ และค่าคงที่ N_o ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $m^3 / m^2 \cdot hr$ มีค่า 44, 45 และ 77 kg / m^3 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแต่ละอัตราการบำบัดแล้วพบว่าค่าคงที่ N_o ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) มากกว่าค่าคงที่ N_o ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) นั่นคือ ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดติดผิว และเมื่ออัตราการบำบัดเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ N_o มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าคงที่ K ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $m^3 / m^2 \cdot hr$ มีค่า 0.0030, 0.0028 และ 0.0026 $m^3 / kg \cdot hr$ ตามลำดับ และค่าคงที่ K ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด 0.68, 1.36 และ 2.72 $m^3 / m^2 \cdot hr$ มีค่า 0.0027, 0.0037 และ 0.0043 $m^3 / kg \cdot hr$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าอัตราการดูดติดผิวสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดค่าซีไอดีในน้ำเสียของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ในช่วงอัตราการบำบัดที่ใช้ในการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมาก (อนึ่งจากการวิเคราะห์สมการ Bohart-Adams พบว่าค่าคงที่ K จะมีค่าเป็นบวกเมื่อจุดเบรคทรูจมีค่าน้อยกว่า 0.5 เท่านั้น)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 3 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของถ่านกัมมันต์ด้วยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง

ประสิทธิภาพการทำงานของถ่านกัมมันต์ด้วยระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลองหมายถึง ประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดีหรือการดูดติดผิวสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์ โดยคิดจากปริมาณสารอินทรีย์หรือค่าซีไอดีที่ถูกดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่คำนวณจากเวลาที่ใช้ในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทอร์จที่ทำนายจากสมการ Bohart-Adams เทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถ่านกัมมันต์ที่มีอยู่ในระบบดูดติดผิวสามารถดูดติดผิวได้ ณ จุดสมมูลที่ความเข้มข้นขาเข้าสู่ระบบดูดติดผิวคอลัมน์จำลอง

จากความสัมพันธ์ระหว่าง N_0 และ K กับอัตราการบำบัดในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.15 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ทำให้สามารถนำไปประเมินเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ ณ ความลึกของถ่านกัมมันต์ที่กำหนด หรือหาความลึกของถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียภายในเวลาที่กำหนด ในช่วงอัตราการบำบัด 0.68 ถึง 2.72 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ได้ ดังตัวอย่างที่ 1 แสดงการคำนวณเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ 0.49 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 1.6 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ และตัวอย่างที่ 2 แสดงการคำนวณเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ 0.49 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด 1.6 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ตัวอย่างที่ 1 หาเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ 0.49 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ที่อัตราการบำบัด 1.6 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ จากข้อมูลเบื้องต้นที่ให้ไว้ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการคำนวณของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)

ข้อมูลเบื้องต้น	ค่าที่กำหนด	หมายเหตุ
ค่าซีไอดีของน้ำเสียขาเข้า	2 kg / m^3	โรงพิมพ์ธนบัตร
พื้นที่หน้าตัดของถังถ่านกัมมันต์	1 m^2	กำหนดเบื้องต้นเป็นตัวอย่าง
ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์	1 m	กำหนดเบื้องต้นเป็นตัวอย่าง
ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	0.48 g / cc	ตัวแทนจำหน่าย
ราคาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C)	50 baht / kg	ตัวแทนจำหน่าย
อัตราการบำบัด	1.6 $\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$	โรงพิมพ์ธนบัตร

อ่านค่า K จากกราฟรูปที่ 4.13 = 0.0028 $\text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{hr}$

อ่านค่า N_0 จากกราฟรูปที่ 4.13 = 115 kg / m^3

แทนค่าในสมการ Bohart-Adams

$$t = \frac{N_0}{C_0 V} \left[h - \frac{V}{KN_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_b} - 1 \right) \right]$$

$$t = \frac{115}{2.0 \times 1.6} \left(1 - \frac{1.6}{0.0028 \times 115} \ln \left(\frac{C_0}{0.49 C_0} - 1 \right) \right)$$

$$t = 29 \text{ hr}$$

การประเมินประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่อัตราการบำบัด $1.6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ปริมาตรน้ำที่ถูกบำบัดจนถึงจุดเบรคทอร์จ

$$= 29 \text{ hr} \times 1.6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \times 1 \text{ m}^2$$

$$= 44.8 \text{ m}^3$$

ซีโอไซด์ที่ถูกดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ทั้งหมด

$$= 44.8 \text{ m}^3 \times (2 - 0.98) \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 46 \text{ kg}$$

ซีโอไซด์ที่ถูกดูดติดผิวได้มากที่สุด

$$= 115 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 1 \text{ m}^3$$

$$= 115 \text{ kg}$$

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

$$= 46 / 115$$

$$= 40 \%$$

ตัวอย่างที่ 2 หาเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนถึงจุดเบรคทอร์จ 0.49 ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ที่อัตราการบำบัด $1.6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ จากข้อมูลเบื้องต้นที่ให้ไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการคำนวณของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)

ข้อมูลเบื้องต้น	ค่าที่กำหนด	หมายเหตุ
ค่าซีโอไซด์ของน้ำเสีย	2 kg / m^3	โรงพิมพ์ธนบัตร
พื้นที่หน้าตัดของถังถ่านกัมมันต์	1 m^2	กำหนดเบื้องต้นเป็นตัวอย่าง
ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์	1 m	กำหนดเบื้องต้นเป็นตัวอย่าง
ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	0.48 g / cc	ข้อมูลเบื้องต้น
ราคาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P)	50 baht / kg	ตัวแทนจำหน่าย
อัตราการบำบัด	1.6 $\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$	โรงพิมพ์ธนบัตร

อ่านค่า K จากกราฟรูปที่ 4.15	=	0.0039	$\text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{hr}$
อ่านค่า N_o จากกราฟรูปที่ 4.15	=	50	kg / m^3
แทนค่าในสมการ Bohart Adams			

$$t = \frac{N_o}{C_o V} \left[h - \frac{V}{KN_o} \ln \left(\frac{C_o}{C_b} - 1 \right) \right]$$

$$t = \frac{50}{2.0 \times 1.6} \left(1 - \frac{1.6}{0.0039 \times 50} \ln \left(\frac{C_o}{0.49 C_o} - 1 \right) \right)$$

$$t = 10 \text{ hr}$$

การประเมินประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่อัตราการบำบัด $1.6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$

ปริมาตรน้ำที่ถูกบำบัดจนถึงจุดเบรคทอร์จ	=	$10 \text{ hr} \times 1.6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \times \text{m}^2$
	=	16 m^3
ซีโอไซด์ที่ถูกดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ทั้งหมด	=	$16 \text{ m}^3 \times (2 - 0.98) \text{ kg} / \text{m}^3$
	=	16.32 kg
ซีโอไซด์ที่ถูกดูดติดผิวที่สมดุลกับความเข้มข้น C_o (หาจากสมการฟรุนดลิช $q = 46 \text{ kg} / \text{m}^3$)	=	$46 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 1 \text{ m}^3$
	=	46 kg
ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์	=	$16.32 / 46 \times 100$
	=	35%

จากผลการคำนวณในตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 พบว่า ที่อัตราการบำบัดและความลึกของถ่านกัมมันต์เท่ากัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จะใช้เวลาในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทอร์จเท่ากับ 29 ชั่วโมง และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) จะใช้เวลาในการบำบัดจนถึงจุดเบรคทอร์จเท่ากับ 10 ชั่วโมง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จะสามารถใช้งานได้นานกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) และพบว่าประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) ซึ่งเท่ากับ 50 % สูงกว่าประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ซึ่งเท่ากับ 35 %

จากการเปรียบเทียบที่ปริมาตรน้ำที่บำบัดเท่ากันโดยคิดที่ 44.8 m^3 (คิดปริมาตรน้ำที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) บำบัดได้เป็นหลัก) พบว่าถ้าใช้งานถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (PHO C) จะใช้ถ่านกัมมันต์เพียง 1 m^3 แต่ถ้าใช้งานถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) พบว่าจะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) เท่ากับ $44.8 / 16$ นั่นคือ 2.8 m^3 แสดงว่าถ้าใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ในการบำบัดน้ำเสีย 44.8 m^3 จะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์ม (PHO P) ทั้งหมด 3 ครั้ง ๆ ละ 1 m^3