



การกำจัดสีรีแอคทีฟแบล็ค 5 จากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย

นุญสั่ง ฤการัตน์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**REMOVAL OF REACTIVE BLACK 5 FROM AQUEOUS SOLUTION
USING ACTIVATED CARBON FROM BAGASSE**

BOONSONG JUTARAT

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF

THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

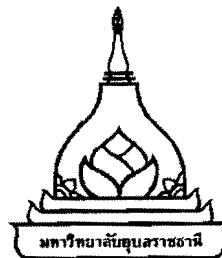
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2012

COPY RIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ในรับรองการค้นคว้าอิสระ^๑
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การกำจัดสีรีເອກທີ່ພແບດີ້ ៥ ຈາກສາຮະລາຍໂດຍໃຫ້ຄ່ານັ້ນມັນຕ່າງໆຈາກຫານອ້ອຍ

ผู้วิจัย นายมนูญ ส่ง ฤทธิ์ตัน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....
..... อ้างอิงที่ปรึกษา

(คร.ชักรกฤษณ์ อัมพุช)

.....
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาภูน)

.....
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา)

.....
..... คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสีทธิ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มนุบคคล ต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดีเยี่ยม ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

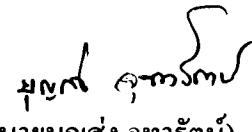
ขอขอบพระคุณ ดร.จักรกฤษณ์ อัมพุช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ค่อยๆแลเอาใจใส่ เป็นอย่างดีและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนเสร็จสิ้นและลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณประธานหลักสูตรสาขาวิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการสอบ การค้นคว้าอิสระทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำปรีกษาเกี่ยวกับข้อบทของการค้นคว้าอิสระและข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะทำให้สามารถทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเจ้าหน้าที่ธุรการ บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ กรุณาช่วยเหลือในระหว่างดำเนินงานการค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาศึกษาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ค่อยให้กำลังใจและช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา นารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา


 (นายนฤบดี จุฬารัตน์)
 ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บกคดย่อภาษาไทย	ข
บกคดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีเย็น	4
2.2 ถ่านกัมมันต์	7
2.3 ชานอ้อย	7
2.4 การคุณชับ	8
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับ	10
2.6 ไอโซเทอมการคุณชับ	11
2.7 ผลกระทบต่อการคุณชับ	13
2.8 การคายชับ	15
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 กระบวนการวิจัย	18
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	19
3.3 การเตรียมตัวคุณชับ	19
3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีข้อม	20
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวคุณชับ	22
3.6 การศึกษาการคุณชับแบบกะ	23
3.7 การศึกษาการคายชับ	27
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวคุณชับ	28
4.2 ผลการศึกษาการคุณชับแบบกะ	31
4.3 ผลการศึกษาการคายชับ	38
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	
ก ผลการวิเคราะห์ตัวคุณชับ	47
ข ผลการศึกษาการคุณชับแบบกะ	50
ค ผลการศึกษาการคายชับ	56
ง ผลงานวิจัยตีพิมพ์	58
ประวัติผู้วิจัย	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมการมาตรฐานและ λ_{\max} ของสีข้อม	22
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย	28
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชับสีข้อม RBS	32
4.3 พารามิเตอร์ของไอโซเทนการคุณชับแบบແລງເມີຣ໌ແລະ ແບນຳກຸນດິຈີຂອງກາຮູນ ສັບສື່ອນ RBS	33
4.4 พารามิเตอร์ຂອງສາມາດອັນດັບໜຶ່ງເທິນແລະ ສາມາດອັນດັບສອງເທິນຂອງກາຮູນ ສື່ອນຈາກສາຮະລາຍສື່ອນ RBS	37
4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการຄາຍສັບສື່ອນ RBS	39
ก.1 ผลการวิเคราะห์ຈຸດໄອໂອິເລັກທີ່ຕົວກູດຊັບ	49
ໜ.1 ປົມມາດກາຮູນທີ່ສົມຄຸດ (q_u) ຂອງສື່ອນ RBS ທີ່ຄວາມເຂັ້ມຂຶ້ນເຮັ່ນຕົ້ນແຕກຕ່າງກັນ	52
ໜ.2 ປົມມາດກາຮູນທີ່ສົມຄຸດ (q_u) ຂອງສື່ອນ RBS ທີ່ຄໍາພື້ອເຊເຮັ່ນຕົ້ນແຕກຕ່າງກັນ	52
ໜ.3 ປົມມາດກາຮູນທີ່ເວລາໄດ້ τ ຂອງສື່ອນ RBS	55
ກ.1 ເປົ້ອງເຫັນກາຮູນທີ່ສົມຄຸດ (q_u) ຂອງຄ່ານົມນັນຕົວຈາກชານອ້ອຍ ທີ່ຄວາມເຂັ້ມຂຶ້ນ ເຮັ່ນຕົ້ນແຕກຕ່າງກັນ	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพจำลองกลไกการคุณซับของเหลว	9
3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย	18
3.2 โครงสร้างโมเลกุลของสี RBS	19
3.3 ฤทธิ์ในการเผาถ่านในสภาวะอันอากาศ	20
3.4 กราฟมาตรฐานของน้ำสีสังเคราะห์สีข้อมูลสี RBS ที่ $\lambda_{max} = 588 \text{ nm}$	21
4.1 สเปกตรัม FTIR ของ (a) ชาานอ้อยและ(b)ถ่านกัมมันต์จากชาานอ้อย	29
4.2 ผลการวิเคราะห์สัมฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวคุณซับ (a) ชาานอ้อยและ (b)ถ่านกัมมันต์จากชาานอ้อย	30
4.3 จุดไอโซอิเลคทริกของถ่านกัมมันต์จากชาานอ้อย	31
4.4 ไอโซเทอมการคุณซับสี RBS จากสารละลาย โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชาานอ้อย	33
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการคุณซับสีข้อมูลกับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย สี RBS	34
4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการคุณซับสี RBS บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาานอ้อย	35
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการคุณซับสี RBS กับเวลาสัมผัส โดยใช้ตัวคุณซับ ถ่านกัมมันต์จากชาานอ้อย	36
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ และ t (min) แบบจำลองอัตราการคุณซับอันดับ หนึ่งเทียนของการคุณซับสีข้อมูล RBS	37
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t (min*g/mg) และ t (min) แบบจำลองอัตราการคุณซับ อันดับสองเทียนของการคุณซับสีข้อมูล RBS	38
ก.1 ไอโซเทอมการคุณซับและการคายซับของก้าชในโตรเจนบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียม จากชาานอ้อย	48
ก.2 ความถี่ของการคุณคอกลีนรังสีอินฟราเรดของหมู่พิงก์ชันที่สามัญบางชนิด	48
ข.1 ไอโซเทอมการคุณซับแบบแลงเมียร์จากสารละลายสีข้อมูล RBS	51
ข.2 ไอโซเทอมการคุณซับฟรุนดิชจากสารละลายสีข้อมูล RBS	51
ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีสารละลายสีข้อมูล RBS กับเวลาสัมผัส	53
ข.4 แบบจำลองอัตราการคุณซับอันดับหนึ่งเทียนของการคุณซับสี RBS	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
บ.5	แบบจำลองอัตราการคุณชั้บอันดับสองเที่ยมของการคุณชั้บสี RB5	54
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การคายซับและความเข้มข้นของอะซิโตไนไตรล์ ของการของถ่านกัมมันต์	57

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

R^2	= สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
BET	= Brunauer Emmett and Teller
FTIR	= Fourier Transform Infrared Spectroscopy
SEM	= Scanning Electron Microscope
B	= Bagasse
BAC	= Activated Carbon from Bagasse
RB5	= Reactive Black 5
HCl	= สาร Hydrochloric Acid
KOH	= สาร Potassium hydroxide
H_3PO_4	= สาร Phosphoric acid
Abs	= Absorbance
λ_{max}	= ความยาวคลื่นที่สารตัวอย่างสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (nm)
pI	= จุดไอโซเลคทริก
%wt	= เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
P	= ความดันที่สมดุลของตัวถูกคุณชับที่อุณหภูมิต่าง ๆ (mmHg)
P_0	= ความดันที่อิ่มตัวของตัวถูกคุณชับที่อุณหภูมิต่าง ๆ (mmHg)
v	= ปริมาตรของเก๊าที่ถูกคุณชับ (cc/g)
v_m	= ปริมาณของเก๊าที่ถูกคุณชับแบบขั้นเดียว (cc/g)
c	= ค่าคงที่ของ BET
E_1	= ความร้อนของการคุณชับที่เกิดขึ้นชั้นแรก
E_L	= ความร้อนของการคุณชับที่ชั้นที่สองและชั้นที่สูงขึ้นต่อ ๆ ไป
s	= พื้นที่ที่ตัวถูกคุณชับปกคลุมบนพื้นผิวของแข็ง
V	= ปริมาตรเชิงโมลของเก๊าที่ถูกคุณชับ (m^3)
a	= มวลของคุณชับ (g)
C_e	= ความเข้มข้นของสีเยือนที่สมดุลหลังการคุณชับ (mg/L)
C_o	= ความเข้มข้นของสีเยือนเริ่มต้น (mg/L)
q	= ปริมาณการคุณชับสีเยือน (mg/g)
q_e	= ปริมาณการคุณชับสีเยือนที่สภาวะสมดุล(mg/g)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

q_m	= ปริมาณการดูดซับสีข้อมแบบชั้นเดียวสูงสุดจากสมการ ไอโซเทอม การดูดซับแบบແลงເມີບ (mg/g)
q_t	= ปริมาณการดูดซับสีข้อมที่เวลา t (mg/g)
m	= น้ำหนักของของถ่านกัมมันต์ (g)
V	= ปริมาตรของน้ำ (L)
K_d	= สัมประสิทธิ์การแยกແຈງหรือ ค่าคงที่ Henry's Law (L/g)
K_F	= ค่าคงที่ของสมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (L/g)
K_L	= ค่าคงที่ของสมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบແลงເມີບ (L/g)
R	= ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/mol*K)
T	= อุณหภูมิของสารละลายสีข้อม (K)
k_1	= ค่าคงที่ของสมการอันดับหนึ่งเที่ยวน (1/min)
k_2	= ค่าคงที่ของสมการอันดับสองเที่ยวน (g/mg*min)
$q_{e, exp}$	= ปริมาณการดูดซับสีข้อมที่สภาวะสมดุลจากการทดลอง (mg/g)
$q_{e, cal}$	= ปริมาณการดูดซับสีข้อมที่สภาวะสมดุลจากการคำนวณ (mg/g)

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การกำจัดสีรีแอคทีฟเบล็ค 5 จากสารละลายน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย

โดย : บุญส่ง ฤทธิรัตน์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ดร.จักรกฤษณ์ อัมพุช

คำพิเศษคัญ : การดูดซับ สีรีแอคทีฟเบล็ค 5 ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย การคายซับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีรีแอคทีฟเบล็ค 5 จากสารละลายน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์เตรียมจากชานอ้อยเป็นตัวดูดซับ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัตโนมัติคิวเซอร์เฟก่อนไลเซอร์ (BET) เครื่องฟูรีบร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนแบบส่อง粒化 (SEM) พบว่า ถ่านกัมมันต์มีพื้นผิวจำเพาะเท่ากับ $1,675 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 nm ในขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์ทำให้หนูฟังก์ชันลดลงพื้นผิวของตัวดูดซับมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่ 2 การศึกษาการดูดซับแบบกะ พบร่วม ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมูลของถ่านกัมมันต์มีค่าสูงกว่าชานอ้อยร้อยละ 64.11 ปริมาณการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อค่า pH เริ่มต้นของสารละลายน้ำเปลี่ยนแปลง ซึ่งให้เห็นว่า แรงดึงเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีข้ามเป็นแรงดึงเหนี่ยวหลัก ทั้งนี้ ไอโซเทอมการดูดซับมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบเมียร์มากกว่า ไอโซเทอมแบบฟรุนคิช แสดงว่า สีข้อมูลมีภาวะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ในลักษณะที่เดียว การดูดซับของสีข้อมูลเข้าสู่สมดุลภายใน 800 นาที อัตราการดูดซับสอดคล้องกับสมการอัตราการดูดซับขั้นต้นสองเที่ยม แสดงว่า ขั้นตอนการสร้างแรงดึงเหนี่ยวระหว่างตัวภูมิคุณภาพและตัวดูดซับเป็นขั้นกำหนดอัตรา กระบวนการการดูดซับนี้เป็นกระบวนการการดูดความร้อนเนื่องจากปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ส่วนที่ 3 การศึกษาการคายซับ พบว่า สีข้อมูลไม่เกิดการคายซับ เมื่อใช้น้ำ 0.1M NaOH และ 0.1M HCl เป็นตัวละลายน้ำ แต่เกิดการคายซับเมื่อใช้สารอะซิโตในไตร์ร็อกซิล ๖๐ แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอคทีฟเบล็ค 5 จากสารละลายน้ำ

ABSTRACT

TITLE : REMOVAL OF REACTIVE BLACK 5 FROM AQUEOUS SOLUTION
USING ACTIVATED CARBON FROM BAGASSE

BY : BOOMSONG JUTARAT

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : CHAKKRIT UMPUCH, Ph.D.

KEYWORDS : ADSORPTION / REACTIVE BLACK 5 / ACTIVATED CARBON FROM
BAGASSE / DESORPTION

The objective of this research was to study adsorption of reactive black 5 dye from aqueous solution using activated carbon prepared from sugarcane bagasse as an adsorbent. The experiment was divided into three parts. Firstly, the physical properties of the activated carbon were characterized using Automatic Surface Analyzer (BET), Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), and Scanning Electron Microscope (SEM) techniques. It was found that the activated carbon has specific area of $1,675 \text{ m}^2/\text{g}$ and an average pore size of 2.7 nm. During the preparation of the activated carbon, the functional groups on the adsorbent surface were changed. Secondly, the batch adsorption was investigated. The dye removal percentage of the activated carbon was 64.11% higher than that of the unmodified bagasse. The dye uptake was quite independent of the initial solution pH indicating that hydrophobic-hydrophobic interaction was a dominant interaction. The adsorption isotherm was better fitted to the Langmuir isotherm model than the Freundlich isotherm revealing that the dye forms monolayer along the adsorbent surface. The adsorption reached equilibrium within 800 min. The adsorption rate conforms to the pseudo-second order equation showing that the rate of limiting step was a formation of an interaction between adsorbate and adsorbent on the adsorbent surface. The adsorption was endothermic process since the dye uptake increased with temperature. Thirdly, the dye desorption ability was investigated. The dye desorption cannot be taken place using distilled water, 0.1M NaOH, and 0.1M HCl as eluate whereas the acetonitrile 60%v/v did. The results showed that

the activated carbon prepared from bagasse is a suitable adsorbent for removal of reactive black 5 dye from aqueous solution.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดจากการป่นเปื้อนของสีข้อมเคลมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมฟอกข้อม อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิสูง มีสีเข้ม มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากสีข้อมเคลมสามารถละลายในน้ำได้ดี มีขนาดไมเลกูล่าใหญ่และมีโครงสร้างชั้นช้อนจึงไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติที่สภาวะปกติ (Aksu, 2005) ถ้าน้ำเสียเหล่านี้ลงไปป่นเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติปริมาณมากจะทำให้แหล่งน้ำเสีย ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น สีข้อมเคลมที่ละลายในน้ำจะทำให้การแพร่กระจายของออกซิเจนลงสู่ผิวน้ำลดลง ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงส่งผลเสียต่อสัตว์น้ำ และส่งกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ

การกำจัดสีข้อมที่ป่นเปื้อนอยู่ในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ถึงแม้ว่าวิธีการทางเคมีและทางชีวภาพจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมสูง แต่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีลักษณะ笨重 ที่ต้องใช้พลังงานสูง และมีผลิตภัณฑ์พolloยได้เกิดขึ้นตามมาตรฐาน การใช้วิธีทางกายภาพ เช่น การคุตชับ การแยกเปลี่ยนประจุ และการกรองผ่านแผ่นเยื่อบาง เป็นต้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดสารพolloยได้ตามมา ดังนั้น วิธีทางกายภาพจึงเป็นวิธีที่น่ามาใช้ในการกำจัดสีข้อมเคลมอย่างแพร่หลาย (Al-Deges et al., 2008) การคุตชับเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับคุตชับสีข้อมในน้ำเสียที่ย่อยสลายได้น้อยในสภาวะปกติ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถนำวัสดุที่มีราคาถูกมาใช้เป็นตัวคุตชับ เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น ไม่ว่าจะเป็นไวน์ ชิวมวล และใบโอลิเมอร์ เป็นต้น (Rafatullah et al., 2010) นอกจากนี้การนำวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติ เช่น ชานอ้อย ฝางข้าวโพด และซังข้าวโพด มาพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์จะทำให้ปริมาณการคุตชับสีข้อมเพิ่มขึ้น (Auta and Hameed, 2011)

ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมสูงมาก เนื่องจากมีหมู่คาร์บอเนต (Carboxyl group) และหมู่อะมิโน (amino group) อยู่ที่พื้นผิวทำหน้าที่ในการยึดจับและสามารถคุตชับไอก่อนที่มีประจุบวกและไอก่อนที่มีประจุลบไว้ที่ผิวได้ดี ตัวอย่างเช่น ถ่านกัมมันต์สามารถคุต

ชันสีเมทิลีนบลู (Methylene Blue) และสีเออสิกบลู 29 (Acid Blue 29) ในปริมาณสูงถึง 453.12 และ 554.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Auta and Hameed, 2011) แต่ต่อมา ไรกีตานถ่านกัมมันต์ที่เตรียมมาจากวัสดุที่แตกต่างกันจึงมีปริมาณการดูดซับสีข้อมที่แตกต่างกัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่เป็นของเสียจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นตัวคุณภาพในการกำจัดสีข้อมเคมีที่มีประจุลบจากน้ำสีสังเคราะห์ได้แก่ สี RB5 (รีแอคทิฟเบลีค 5) ซึ่งเป็นสีข้อมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม และอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการกำจัดสี RB5 จากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยเป็นตัวคุณภาพ

1.3 สมมติฐาน

1.3.1 ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยอาจมีความสามารถในการดูดซับสี RB5 ได้ดี เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นผิวและรูพรุนจำนวนมากจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับได้ดีสูง

1.3.2 ปริมาณการดูดซับสี RB5 จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัส

1.3.3 ปริมาณการดูดซับลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าพิเชชของสารละลายเนื่องจากในโรงงานฟอกย้อมจะนิยมย้อมสีที่มีประจุลบในสภาวะที่เป็นกรด

1.4 ข้อมูลของวิจัย

1.4.1 สีข้อมที่ใช้ในการทดลองเป็นสีข้อมที่มีประจุลบ จำนวน 1 ชนิด คือ สี RB5 ยี่ห้อ Sigma-Aldrich บริษัท Sigma-Aldrich จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.4.2 ตัวคุณภาพที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อยและถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 51 ซึ่งจากร้านขายยาอ้อยสด จะปูกลในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤษภาคม จะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนเมษายน (ชานอ้อยจะถูกศึกษาเฉพาะการหาประสิทธิภาพการดูดซับเท่านั้น)

1.4.3 การวิเคราะห์สำนักพัฒนาศักยภาพของตัวคุณภาพ ประกอบด้วย การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนโดย หนูฟังก์ชันของตัวคุณภาพ สัมฐานะและลักษณะพื้นผิว และการวิเคราะห์จุดไอโซอิเลคทริก

1.4.4 การศึกษาการคุณภาพแบบง่ายนิดขั้นตอนเดียว ประกอบด้วย การศึกษา ประสิทธิภาพการคุณภาพ การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายน้ำ การศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ การศึกษา influence ของอุณหภูมิ การคุณภาพแบบง่ายนิดขั้นตอนเดียว

1.4.5 การศึกษาการคุณภาพแบบง่ายนิดขั้นตอนเดียว ประกอบด้วย การศึกษาการคุณภาพแบบง่ายนิดขั้นตอนเดียว 3 ชั้น และความเร็วของในการเขย่า 200 rpm

1.4.6 วิเคราะห์ปริมาณการคุณภาพด้วยหลักการคุณภาพแสงเทียบกับความเข้มข้นของสี ข้อมูลด้วยเครื่องวัดค่าการคุณภาพแสง (UV-VIS Spectrophotometer)

1.4.7 การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะการกำจัดสีข้อมูล เพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพและศักยภาพ ของระบบเพ่าน้ำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถกำจัดสีข้อมูลในสารละลายน้ำได้ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย เป็นตัว คุณภาพ

1.5.2 ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีข้อมูลในน้ำเสียที่เกิดจาก โรงงานฟอกย้อมได้

1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาความสามารถในการใช้ชานอ้อย ที่เป็นของเสียจาก ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีย้อม

สีย้อม (Dyestuff) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ จะมีลักษณะเป็นผลึกหรือเป็นผงละเอียด สีบางชนิดคล้ายน้ำได้ และบางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โนมเลกูลของสีย้อมซึ่งผ่านเข้าไปในโนมเลกูลของเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอโอนิก (Ionic bond) หรือพันธะโคوالเเลนท์ (Covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโนมเลกูลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงスペกตรัมต่างกัน ซึ่งพลังงานแสงที่มองเห็นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร และ สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโนมเลกูลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ซึ่งสายตาคนเรารามารับรับภาพได้ จึงทำให้มองโนมเลกูลสีย้อมที่ต่างกันสีกันจึงทำให้สีที่แสดงให้เราเห็นด้วยสายตาของมาเป็นสีต่างกันไป สีย้อมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สีย้อมธรรมชาติ (natural dyestuffs) เป็นสีย้อมจากธรรมชาติ ซึ่งได้จากพืชและสัตว์ และ สีย้อมสังเคราะห์ (synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่ได้จากการบวนการทางเคมี

สีย้อมเคมีอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือ ทางการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนัง และจากการปะปนเข้าไปกับอาหารการกิน ซึ่งสารบางชนิดในสีย้อมหากเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมอยู่ภายในอวัยวะต่าง ๆ จะก่อตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2-Naphthylamine และ NH₂Benzidine สีย้อมบางชนิด เช่น สี Azo เป็นสีที่ทำได้ง่ายและมีราคาถูกซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะหนัก โครงเมิบรมสมอยู่ ถ้าทิ้งลงไปในน้ำจะเป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ถ้าเข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะเป็นสารก่อมะเร็ง (จกรกฤษณ์ อัมพุช, 2549) การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด จะจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้ เนื่องจากสีย้อมมีหลายประเภทและมีการใช้งานที่ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามการใช้งาน ออกเป็น 11 ประเภท ได้ดังนี้

2.1.1 สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้มีประจุลบ เมื่อยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นค่าคงที่ ค่าคงที่นี้หมายความว่าจะคงการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โนมเลกูลของสีจะยึดจับกับ

หมู่ ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโคوالเคนท์ในสภาวะที่เป็นค่างกลาญเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทิฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ข้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และกลุ่มที่ข้อมติดที่อุณหภูมิปักติ สีรีแอคทิฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

2.1.2 สีเอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี มีกลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอโอนิก ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน จะใช้ข้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำข้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจ็อจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ข้อมเส้นไยเซลลูโลส บริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ในลอน ไขขนแกะ ไหน และอะคริลิกไดดี วิธีการใช้งานนำสีข้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำข้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนแห้ง

2.1.3 สีໄโคเริกท์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีข้อมฝ่ายซึ่งสีชนิดนี้มีความเป็นกลาง หรือเป็นค่างเล็กน้อยและสีชนิดนี้มีสารประกอบของอะโซ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิกที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ข้อมเส้นไยเซลลูโลส สีจะติดเส้นไปได้โดยไม่เกิดขุบของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นไยแล้วแห้งอยู่ภายใน และยึดจับกันด้วยพันธะไฮดรเจน มีราคาถูกข้อมง่าย สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีตกง่าย ทนแสง

2.1.4 สีเบสิก (Basic dye) หรือบางครั้งเรียกสีแคทไออกอนิก (Cationic dyes) สีข้อมชนิดนี้จะมีกลีอของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุลบ เมื่อเวลาสีอยู่ในน้ำ สีจะแสดงประจุบวกบนโครงสร้างโมเลกุลของสี โครงสร้างโมเลกุลของสี และใช้ส่วนประจุบวกนี้ให้เกิดพันธะกับเส้นใยที่แสดงประจุลบเป็นพันธะไอโอนิก นิยมใช้ข้อมเส้นไยโปรตีน ในลอน และ ไอะคริลิกไดดี ในขณะข้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุบวกจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใยที่มีประจุลบ เป็นสีที่ติดทนไม่ควรใช้ข้อมเส้นไยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนต่อการซักและแสง

2.1.5 สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระหายไดดี สามารถข้อมเส้นไยอะซิเตท เส้นไยโพลีอีสเทอร์ ในลอน และอะคริลิกไดดี จะข้อมโดยใช้อุณหภูมิและความคันสูง และการข้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นไยหรือข้อมสีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกก่อนเข้าดี แต่สีจะซึมถ้าถูกวันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาถึงเคมีในตัวสีข้อม ได้แก่ สีข้อมอะโซ (Azo dyes) และสีข้อมแอมนิโนแอนตราควินโน (Amino antraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanolamine; NH₂CH₂CH₂CH₃) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

2.1.6 สีอะโซอิก (Azoic dye) สีข้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นไยได้ต้องข้อมตัวยสารประกอบพีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็น

สี (Coupling) แล้วข้อมทับด้วยสารไดอะโซค่อนโพเณนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ข้อมเส้นไปได้ทั้งเซลลูโลส ในลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

2.1.7 สีแเว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายนำ้ได้ ตัวสีทำงานด้วยกระบวนการ ต้องหมักให้ตัวสีละลายออกจากด้านพืชจึงจะใช้ข้อมได้ ถังที่ใช้หมักจะเรียกว่า “Vat” จึงเรียกันว่า สี Vat ตามถังที่ใช้หมัก เมื่อทำการข้อมต้องเตรียมน้ำข้อมให้ สีแเว็ตละลายนำ้โดยให้ทำปฏิกิริยา กับสารรีดิวและโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแเว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กล้ายเป็นเกลือจึงเข้าไปในเส้นไปได้ เมื่อนำผ้าไปผึ้งในอากาศสีในเส้นไปจะถูกอีกซีไซด์เป็นสีแเว็ต สีข้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigoid) และ สีแอนทรากวินอยด์ (Antraquinoid)

2.1.8 สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายนำ้ เมื่อทำการข้อมต้องรีดิวสีเพื่อให้โนเลกูลอยู่ในสภาพที่ละลายนำ้ได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาก็สามารถนำ้ยาน้ำในรูปที่ถูกรีดิวจะละลายนำ้ได้ นิยมน้ำสีซัลเฟอร์มาข้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

2.1.9 สีมอร์เดนท์ หรือโครม (Mordant or chrome dye) สีข้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โกรเมี่ยน ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์เดนท์เป็นสีที่มีโนเลกูลใหญ่ซึ่งเกิดจาก สีมอร์เดนท์หลายโนเลกูลจับกับโลหะแล้วละลายนำ้ได้จึงทำให้ข้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ข้อมเส้นไปโปรดีนและเส้นไประดีเจียนได้

2.1.10 สีอินเกรน เป็นสีที่ไม่ละลายนำ้ โดยจะเกิดเป็นกอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีข้อมชนิดนี้ใช้สำหรับข้อมฝ้าย

2.1.11 สีอีกซีเดชัน (Oxidation dye) เป็นสีที่ละลายนำ้โดยจะเกิดเป็นกอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกลงกัน พลิกภายในเส้นไป ใช้สำหรับข้อมฝ้ายและขนสัตว์

สมบัติของการละลายนำ้ของสีข้อมเคมีสังเคราะห์มีความสำคัญต่อความยากง่ายในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสีย ถ้าเป็นสีข้อมเคมีสังเคราะห์ละลายนำ้ไม่ได้จะทำการกำจัดสีข้อมเหล่านี้ด้วยใช้วิธีการตกลงกันสีข้อมซึ่งจะทำได้โดยง่าย แต่ถ้าเป็นสีข้อมเคมีสังเคราะห์ที่ละลายนำ้อาจต้องใช้วิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การดูดซับ และการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน เป็นต้น ดังนั้นสีข้อมเคมีสังเคราะห์แต่ละชนิดจึงมีวิธีกำจัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของสีแต่ละประเภท (จักรกฤษณ์ อัมพุช, 2549)

2.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า แอคทิฟคาร์บอน (active carbon) หรือ แอคทิเวตเต็ด คาร์บอน (activated carbon) ซึ่งมีสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพมากขึ้นโดย การใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มีสมบัติในการดูดซับสูงเนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิน จำนวนมาก และขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัตถุคิดที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด มักเป็นพากอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วย คาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพากเซลลูโลสที่มาจากการพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพาราไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลาะพร้าว ขี้เลือย ซังข้าวโพด chan อ้อย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพากถ่านหิน เช่น ลิกโนต์ แอนตราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุคิดที่มาจากการสั่งน้ำมีไม่นำ ก็ เช่น กระดูก หรือ เข้าสตัว เป็นต้น การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการเผาถ่านโดยทั่วไปโดยมักจะเผาแบบไม่มีอากาศ โดยจะใช้อุณหภูมิประมาณ 200-400 องศาเซลเซียส และการเผาโดยการนำถ่านมาเพิ่มคุณสมบัติด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์จะเรียกว่า “กระตุ้น” (อุรุวรรณ อุ่นแก้ว, 2548) ซึ่งการกระตุ้นจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี การใช้สารเคมีเข้ามากระตุ้นในการเผาถ่านกัมมันต์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งคือคลอไรด์ (ZnCl_2) ไปเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น ซึ่งจะ帮忙ซึมได้ทั่วถึงทำให้สารที่ไม่บริสุทธิ์ละลายออกไปหมด แล้วจะเผากระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส แล้วถังสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นที่ติดมากับถ่านกัมมันต์ เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้ การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นโดยการใช้แก๊สหรือไอน้ำโดยจะใช้ในการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งขวด (Superheated steam) เพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ ละลายไปทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (Porous) อยู่ทั่วไปแล้วขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี

2.3 chan อ้อย

chan อ้อย หมายถึง ส่วนของลำต้นอ้อยที่เอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกรอแล้ว ให้เหลือแต่ ลำต้นที่หยอด จะคิดเป็นค่าร้อยละ โดยน้ำหนักของ chan อ้อยเปียก (ความชื้นร้อยละ 48) คือ chan อ้อย หรือเส้นใย (fiber) 48.5% น้ำ 48.0% น้ำตาล 3.0% และสารประกอบอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวแล้ว 0.4% chan อ้อยใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง

2.4 การคุ้มครอง

การคุดชับ หมายถึง กระบวนการแยกสารที่จะเรียกว่า “ตัวกรลละลายหรือตัวกรคุดชับ” ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการสะ蜃สารประกอบชนิดหนึ่ง หรือสารประกอบทางชนิดไว้บนผิวของแข็ง โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างของแข็งนั้น ระบบของแข็งที่เก็บสะ蜃สารประกอบอื่น ๆ จะมีโนเลกุลหรืออนุภาคในของไหลที่เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่กับพื้นของแข็งด้วยแรงคึ่งคุคชนิดเดียวกัน สารที่มีพื้นผิวเกาะจับโนเลกุลหรือแบบคลอย จะเรียกว่า “ตัวคุดชับ” (Adsorbent) สารที่มาเกาะเรียกว่า “ตัวกรคุดชับ” (Adsorbate) ไว้บนผิว โดยกระบวนการคุดชับจะเกิดจากการแยกสาร (ตัวกรคุดชับ) ซึ่งอนุภาคของตัวกรคุดชับจะละลายอยู่ในของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) และจะไหลเข้าสัมผัสกับของแข็ง (ตัวคุดชับ) โดยอนุภาคของตัวกรคุดชับจะแพร่ผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของตัวคุดชับผ่านรอยต่อระหว่างของแข็งกับของเหลว (จักรกฤษณ์ อัมพุช, 2549) ดังนั้นตัวคุดชับจึงมักเป็นของแข็งและรูปธูนจำนวนมากและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ปริมาณการคุดชับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นผิวจำเพาะของตัวคุดชับ เมื่อตัวคุดชับมีรูปธูนภายในมาก ตัวคุดชับจะมีความหนาแน่นลดลง แม้ว่าการเพิ่มปริมาณรูปธูนที่มีขนาดเล็กในตัวคุดชับจะทำให้ตัวคุดชับมีพื้นผิวจำเพาะมากขึ้น แต่รูปธูนขนาดเล็กอาจเป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของตัวกรคุดชับภายในรูปธูนของตัวคุดชับไปยังพื้นผิวในรูปธูนขนาดเล็กดังกล่าว เมื่อพิจารณาตามลักษณะทางกายภาพของรูปธูนในตัวคุดชับ รูปธูนส่วนใหญ่ของตัวคุดชับควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดโนเลกุลของตัวกรคุดชับในสถานะก้าชหรือไอ (ทรงศักดิ์ สารแก้ว, 2555) เพื่อให้ตัวกรคุดชับนั้นมีความสามารถแพร่เข้าสู่รูปธูนของตัวคุดชับ และสามารถแพร่ต่อไปยังพื้นผิวภายในรูปธูนเหล่านั้น ได้อย่างสะดวก ส่วนการคุดชับตัวกรคุดชับชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในสถานะของเหลวนั้น เช่น การคุดชับไออกอนชนิดต่าง ๆ หรือสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ละลายน้ำ เป็นต้น รูปธูนส่วนใหญ่ของตัวคุดชับควรมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อให้ของเหลวที่มีตัวกรคุดชับเหล่านั้น สามารถไหลเข้าสู่รูปธูนของตัวคุดชับได้อย่างสะดวก โดยที่ตัวกรคุดชับยังคงอยู่ในลักษณะเดิม ดังนั้น สารประกอบทุกชนิดที่อยู่ในรูปธูนของตัวคุดชับจัดเป็น “ตัวกรคุดชับ” ของระบบคุดชับของเหลวโดยไม่ต้องอาศัยคิดผิดว่าในรูปธูนของตัวคุดชับ

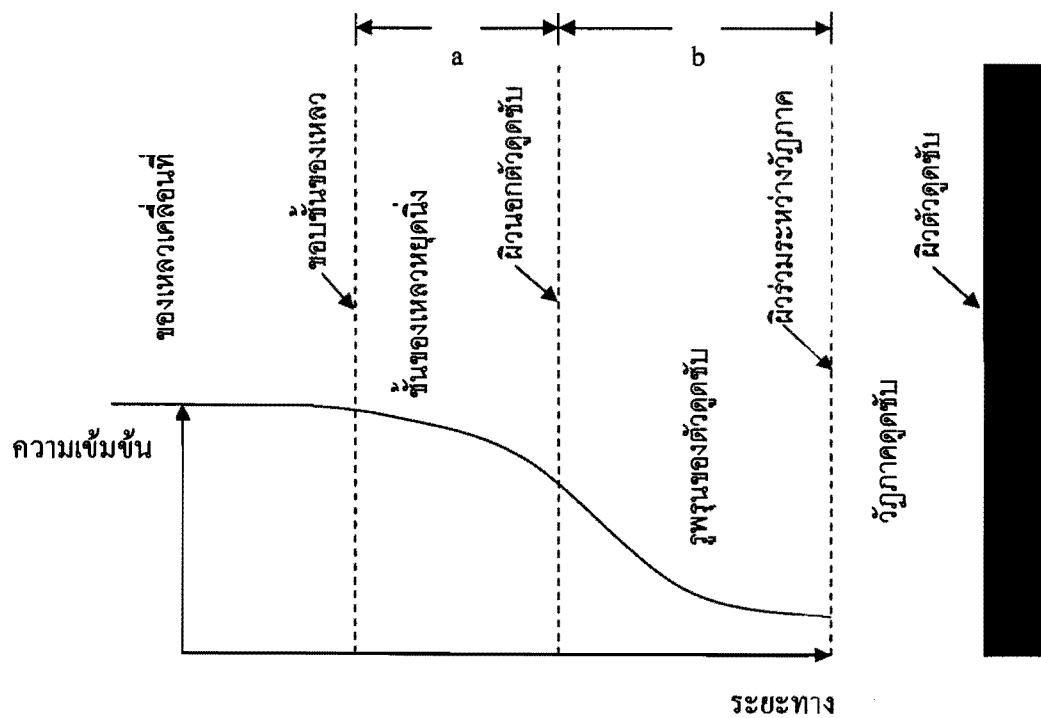
การคุดซับสามารถถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภท (McKay, 1996) ได้ดังนี้

2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) คือ ตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีเด่นที่กวักันด้วยแรงดึงดูดเหนี่ยวนะห่วงโนเลกุลต่อหน ๆ เรียกว่า “แรงแวนเดอร์วัลส์ (Van der Waals)” ซึ่งเกิดมาจากการรวมกันของแรงส่องชนิด คือ แรงกระชายและแรงสถิต ซึ่งเป็นกระบวนการผันกลับได้ ลักษณะสำคัญของการดูดซับประเภทนี้ เกิดขึ้นได้ดี ณ อุณหภูมิปกติ หรือ ณ อุณหภูมิบรรยายกาศทั่วไป และเกิดได้ดีมากยิ่งขึ้น ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยายกาศ การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวของตัวดูดซับโดยตรง และโนเลกุลของตัวถูกดูดซับจะ

จับตัวกันและขึ้นเคเบนตัวคุณซับ โดยไม่จำกัดจำนวน โนเมเลกุลของตัวถูกคุณซับที่ซ้อนทับกัน จึงเรียกว่า การคุณซับลักษณะนี้ว่า “การคุณซับหลายชั้น (Multilayer adsorption)”

2.4.2 การคุณซับทางเคมี (Chemical adsorption) คือ ตัวถูกคุณซับจะถูกคุณซับไว้ที่พื้นผิวของตัวคุณซับโดยพันธะเคมี ได้แก่ พันธะ ไอออนิก หรือพันธะโควาเลนต์ เป็นต้น ในการสร้างพันธะเคมีต้องใช้พลังงานสูงและเป็นระบบที่ผันกลับไม่ได้ ดังนั้น การคุณซับทางเคมีนี้จะไม่เกิดบนชั้นของโนเมเลกุลของตัวถูกคุณซับที่สะสมบนพื้นผิวของตัวคุณซับ เช่นเดียวกับการคุณซับทางกายภาพ การคุณซับทางเคมีนี้จึงเกิดขึ้นได้เพียงชั้นเดียวเท่านั้น และเรียกการคุณซับประเภทนี้ว่า “การคุณซับชั้นเดียว (Monolayer adsorption)” ความร้อนของการคุณซับประเภทนี้ จึงมีค่าสูงกว่าความร้อนของการคุณซับทางกายภาพ

กลไกในการคุณซับจะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน คือ การถ่ายโอนน้ำภาค การถ่ายโอนจุลภาค และการคุณซับ การถ่ายโอนน้ำภาคเป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกคุณซับผ่านของไอลไปยังรอบต่อระหว่างของเหลวกับของแข็ง (Liquid-solid interface) สำหรับการถ่ายโอนจุลภาคเป็นการแพร่ผ่านของตัวถูกคุณซับเข้าไปในรูพรุนของตัวคุณซับ ซึ่รูพรุนจะเชื่อมโยงกันอยู่ภายในตัวคุณซับ ส่วนการคุณซับจะพิจารณาถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกคุณซับกับตัวคุณซับ ดังภาพที่ 2.1 แสดงกลไกการคุณซับของเหลว



ภาพที่ 2.1 แผนภาพจำลองกลไกการคุณซับของเหลว (เดชา พัตรศิริเวช, 2552)

จากภาพที่ 2.1 สามารถอธิบายได้ว่ากลไกการคุณชับตัวถูกคุณชับในของเหลวสมเป็น การถ่ายโอนมวลจากของเหลวเคลื่อนที่ ผ่านชั้นของเหลวหยุดนิ่งรอบตัวคุณชับที่มีความหนาของ ชั้นเป็น a จากนั้นจะผ่านเข้าสู่รูพูนของตัวคุณชับที่มีความลึกเป็น b จนถึงวัสดุคุณชับที่อยู่บน ผิวของรูพูนในตัวคุณชับ

การเลือกใช้ตัวคุณชับทะพิจารณาถึงความจำเพาะเจาะจงต่อตัวถูกคุณชับ และปริมาณการ คุณชับที่ของตัวถูกคุณชับบนตัวคุณชับ ตามการนิยามของ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ขนาดของรูพูนของตัวคุณชับที่ถูกจำแนกเป็นรูพูนขนาดเล็ก (Micropore) นี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพูนน้อยกว่า 2 nm สำหรับรูพูนขนาดกลาง (Mesopore) จะมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของรูพูนอยู่ในช่วง $2 - 50 \text{ nm}$ และรูพูนขนาดใหญ่ (Macropore) จะมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของรูพูนมากกว่า 50 nm ตัวคุณชับอาจจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม เป็นทรงกระบอก เป็นแผ่นบางขนาดเล็ก หรือเป็นผงที่มีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง $50 \mu\text{m}$ ถึง 1.2 cm มีพื้นที่ผิวอยู่ ในช่วง 300 ถึง $1200 \text{ m}^2/\text{g}$ มีความพูนภายในตัวคุณชับประมาณ $30-85 \%$ พื้นที่ผิวจำเพาะของ ตัวคุณชับทามการคำนวณได้ด้วยโคลบิชาร์ท BET (Brunauer Emmett Teller) ซึ่งจะศึกษาการคุณชับทะ การคายของก๊าซในโครงเรน บนตัวคุณชับ ดังนั้น ควรเลือกวัสดุตัวคุณชับที่มีรูพูนสูงและขนาดของ รูพูนมีขนาดเล็กเชื่อมต่อ กัน มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเมื่อเทียบกับหนึ่งหน่วยปริมาตรตัวคุณชับ (จักรกฤษณ์ อัมพุช, 2549)

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับ

2.5.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของการคุณชับ ปัจจัยที่สำคัญต่อสารคุณชับเนื่องจากปฏิริยาที่ บริเวณพื้นผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นผิว ทำให้เกิดการคุณชับที่สารคุณชับมี ความสัมพันธ์กันดังนี้ อัตราการคุณชับจะเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารคุณชับและใน ทิศทางตรงกันข้ามถ้ามีการเคลื่อนที่ของอนุภาคอัตราการคุณชับจะแปรผันกับเส้นผ่าศูนย์กลาง ของสารคุณชับ (สุริยะ บุญศักดิ์, 2552)

2.5.2 พีเอชจะมีผลต่อไอออนและสารละลายน้ำต่างๆ ดังนั้นจึงส่งผลต่อการคุณชับ นอกเหนือนี้ยังมีไฮโดรเจน ไอออน และ ไฮครอกไซด์ ไอออน เป็นไอออนที่สามารถคุณชับได้ดี โดยทั่วไปแล้วการคุณชับสารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มลดของค่าพีเอช (สุริยะ บุญศักดิ์, 2552)

2.5.3 อุณหภูมิมีผลกระทบต่อการคุณชับในด้านต่างๆ เช่น อัตราความเร็วในการคุณชับ จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (สุริยะ บุญศักดิ์, 2552) แต่ข้อความสามารถในการคุณชับมี ค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และ การคุณชับมีค่าสูงที่อุณหภูมิต่ำ เพราะการคุณชับเป็นวิธีแบบการคายความ ร้อน

2.5.4 เวลาสัมผัสในการดูดซับ เป็นที่พารามิเตอร์ที่สำคัญส่งผลต่อการดูดซับ และอาชีวการใช้งานของตัวดูดซับแบบต่อเนื่อง (สุริยะ บุญศักดิ์, 2552)

2.6 ไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของเหลว สามารถอธิบายกระบวนการดูดซับในรูปพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับได้ 5 รูปแบบ คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับ แบบที่ I เป็นการดูดซับที่มีไม่เดกูลเพียงชั้นเดียวบนสารดูดซับ ซึ่งเป็นสารดูดซับที่เกิดจากการดูดซับทางเคมี ไอโซเทอมแบบที่ II เป็นการดูดซับที่มีไม่เดกูลหลายชั้นบนพื้นผิวของสารดูดซับ ไอโซเทอมแบบที่ III เป็นไอโซเทอมที่มีไม่เดกูลการดูดซับหลายชั้นบนพื้นผิวของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับไม่ค่อยดี ไอโซเทอมแบบที่ IV และ V การวิเคราะห์ระบบการดูดซับ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ให้อยู่ในรูปออย่างง่าย ส่วนใหญ่พฤติกรรมของการดูดซับในของเหลวจะมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับฟรุนดิช (Freundlich) และແລງມີເອົ້າ (Langmuir) เช่น การดูดซับของถ่านกัมมันต์ในน้ำ และน้ำเสีย เป็นต้น (Rozada et al., 2003)

ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมดุลมวลสาร (Seader and Henley, 1998) โดยจะถือว่าความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่หายไปจากสารละลาย จะถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับเท่านั้น ซึ่งปริมาณการดูดซับหาได้ตามสมการที่ 2.1 และสำหรับประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมสามารถคำนวณได้จากสมการเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีข้อม ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.2

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (2.1)$$

โดยที่	q_e	คือ ปริมาณสีข้อมในถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสมดุล (mg/g)
m	คือ น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)	
V	คือ ปริมาตรของน้ำ (L)	
C_0	คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมเคมีในน้ำ (mg/L)	
C_e	คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสีข้อมเคมีในน้ำ (mg/L)	

$$\% Removal = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2.2)$$

รายละเอียดของไอโซเทอมการดูดซับมีดังนี้

2.6.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเปรียบเท่ากับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่สภาวะสมดุล โดยทั่วไปแล้วจะเรียกว่ากฎของ เฮนรี (Henry's Law) มีรูปแบบสมการเป็นดังนี้ สมการที่ 2.3

$$q_e = K_d C_e \quad (2.3)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

K_d คือ สัมประสิทธิ์การแยกแข่งหรือ ค่าคงที่ Henry's Law (L/g)

2.6.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich isotherm)

สมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Chen et al., 2011) ดังแสดงไว้ใน สมการที่ 2.4 ซึ่งจะอธิบายถึงการจับตัวกันเป็นชั้น ๆ ของตัวถูกดูดซับ (Multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีแรงขัดเหนี่ยวยาวระหว่างกันสูง

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.4)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

K_f, n คือ ค่าคงที่

ค่าคงที่ในสมการ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช สามารถหาได้โดยการสร้าง กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln q_e$ กับ $\ln C_e$ โดยใช้สมการที่ 2.5 ซึ่งเป็นการขั้นรูปสมการใหม่ของ สมการที่ 2.4

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.5)$$

โดยค่าคงที่ n หาได้จากค่าเส้นหนึ่งส่วนความชัน ($\frac{1}{\text{slope}}$) และค่าคงที่ K_f หาได้ จากค่าเอกซ์โพเนนเชียลของจุดตัดแกน y ในสมการที่ 2.5

2.6.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Almeida et al., 2009) มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะปักถิ่นผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer sorption) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.6

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (2.6)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกคุณภาพน้ำของตัวคุณภาพ (mg/g)
 C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกคุณภาพในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)
 a_L, K_L คือ ค่าคงที่

การหาค่าคงที่ในสมการ โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบแบ่งเมียร์ สามารถหาได้จาก การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ กับ C_e โดยใช้สมการที่ 2.7 ซึ่งเป็นการจัดรูปสมการใหม่ ของสมการที่ 2.6

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{a_L}{K_L} C_e \quad (2.7)$$

เมื่อหาค่าเส้นเชิง直線 $(\frac{1}{slope})$ หรือหาค่า $\frac{K_L}{a_L}$ ในสมการที่ 2.7 จะได้ ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวของตัวถูกคุณภาพน้ำที่ตัวคุณภาพสูงสุด และแทนค่าข้อมูลกัญณ์ q_m

2.7 ผลกระทบของการดูดซับ

การดูดซับสารถูกคุณภาพนิคหนึ่ง จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นของไอล รอบ ๆ ตัวคุณภาพแพร่ในรูปrunoff ไปยังพื้นผิwtawคุณภาพ และขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่พื้นผิwtawคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนใดที่เกิดขึ้นชาที่สุด ขั้นตอนนั้นจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ของระบบการดูดซับนี้ ๆ (เดชา พัตรศิริเวช, 2552) โดยการแพร่ผ่านชั้นของไอลรอบตัวคุณภาพ ในหลักของ การถ่ายโอนโนมเมตัม ของไอลที่อยู่รอบตัวคุณภาพที่หยุดนิ่งจะเกลื่อนที่อย่างชา ๆ จึงเกิด ชั้นของไอลบาง ๆ ล้อมรอบตัวคุณภาพ ชั้นของไอลนี้เป็นอุปสรรคต่อการดูดซับ นอกจากนี้ความ หนาของชั้นของไอลรอบตัวคุณภาพแปรผกผันกับอัตราการเกลื่อนที่ของของไอล นั้นคือ เมื่อของ ไอลเกลื่อนที่เร็วมากขึ้น ความหนาของชั้นของไอลรอบตัวคุณภาพจะลดลง ของไอลในชั้นของ ไอลรอบตัวคุณภาพจะเกลื่อนที่ช้ามาก จึงมักพิจารณาให้เสรีมือนหยุดนิ่ง ไม่เลกุลของตัวถูกคุณภาพจึง แพร่ผ่านชั้นของไอลรอบตัวคุณภาพเข้าสู่รูปrunoff ของตัวคุณภาพได้ การแพร่ของตัวถูกคุณภาพจึงเกิดขึ้น จากผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกคุณภาพตามกฎการแพร่ของฟิกค์ (Fick's law of diffusion) เพียง อย่างเดียว ส่วนการแพร่ในรูปrunoff ของตัวคุณภาพ เมื่อตัวถูกคุณภาพแพร่ผ่านชั้นของไอลรอบตัวคุณภาพ ถึงผิวนอกของตัวคุณภาพ แม้ว่าตัวถูกคุณภาพอาจเกิดติดผิวนอกของตัวคุณภาพซึ่งเป็นพื้นผิwtawคุณภาพส่วน น้อยของตัวคุณภาพ แต่ตัวถูกคุณภาพส่วนใหญ่จะแพร่เข้าสู่รูปrunoff ของตัวคุณภาพและแพร่ไปยังพื้นผิwtaw

คุณซับ ตัวถูกคุณซับบางส่วนสามารถเกาะติดที่ผิวภายในรูปrunของตัวคุณซับดังกล่าว และตัวถูกคุณซับอีกบางส่วนยังคงแพร่เข้าสู่ส่วนลึกของรูปrunต่อไป

การศึกษาしながらลดเวลาการคุณซับจะแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทางกายภาพและทางเคมี คือ วัสดุที่ใช้เป็นตัวคุณซับจะมีอิทธิพลต่อผลไกการคุณซับด้วย และเพื่อทราบถึงผลไกการคุณซับ เช่น การถ่ายโอนมวลสารระหว่างตัวถูกคุณซับกับตัวคุณซับ และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี แบบจำลองしながらลดเวลาการคุณซับจะถูกใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว ซึ่งแบบจำลองที่นิยมใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การคุณซับที่เกิดขึ้นนี้ 2 แบบ คือ Pseudo-first order และ Pseudo-second order (Wang, L. and Wang, A., 2007) โดยอัตราการคุณซับจะขึ้นอยู่กับว่าขั้นตอนใดเกิดขึ้นช้าที่สุดดังกล่าวข้างต้น ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการคุณซับ

ดังนั้น จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขั้นตอนการถ่ายโอนมวลของตัวถูกคุณซับผ่านชั้นของไนโตรอนตัวคุณซับเกิดขึ้นช้าที่สุด เป็นอัตราการคุณซับอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) ส่วนขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของตัวคุณซับเกิดขึ้นได้ช้าที่สุด เป็นอัตราการคุณซับอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) ซึ่งขั้นตอนในการหาผลไกอัตราการคุณซับของしながらลดเวลาการคุณซับมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

2.7.1 สมการอัตราการคุณซับอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order equation)

しながらลดเวลาการคุณซับจะถูกอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์แสดงไว้ดังนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.8)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณของสีข้อมที่ถูกคุณซับที่สมดุล (mg/g)

q_t คือ ปริมาณของสีข้อมที่ถูกคุณซับที่เวลา t (mg/g)

k_1 คือ ค่าคงที่ของสมการ Pseudo-first order (1/min)

เมื่อทำการหาปริพันธ์สมการที่ 2.10 โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่ $t = 0; q_t = 0$ และ $t = t; q_t = q_e$ จะได้

$$\ln\left[\frac{q_e}{(q_e - q_t)}\right] = k_1 t \quad (2.9)$$

สามารถจัดรูปใหม่ของสมการที่ 2.11 ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.10)$$

ค่าคงที่ k_1 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 สามารถหาได้จากการฟ์ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ กับ t

2.7.2 สมการอัตราการดูดซึบขั้นดับสองเที่ยม (Pseudo-second order equation) ขอนเพลศาสร์ของการดูดซึบจะถูกอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์ดังแสดงต่อไปนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.11)$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่ของสมการ Pseudo-second order ($\text{g}/\text{mg}^*\text{min}$)

เมื่อทำการหาปริพันธ์สมการที่ 2.13 โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่ $t = 0; q_t = 0$ และ $t = t; q_t = q_t$ จะได้

$$\frac{t}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (2.12)$$

สมการที่ 2.14 สามารถเขียนใหม่ในรูปของสมการเส้นตรง ดังนี้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.13)$$

ค่าคงที่ k_2, q_e และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R^2 สามารถหาได้จากการฟ์ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{t}{q_t}$ กับ t

2.8 การคายซึบ (Desorption)

การคายซึบ คือการคืนสภาพของอนุภาคของแข็งหรือพื้นผิวตัวดูดซึบ เป็นกระบวนการข้อนกัดบดของกระบวนการดูดซึบที่เรียกว่า “การคายซึบ (Desorption)” คือ การทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลสารของ adsorbate ออกจากพื้นผิวของอนุภาคของแข็ง โดยใช้วิธีการทางกายภาพ หรือทางเคมีในการคายซึบของตัวดูดซึบ ตัวอย่างเช่น การคายการดูดซึบของสีข้อนรีแอคทิฟจากถ่านกัมมันต์ โดยใช้น้ำกลั่นในการคายซึบ เป็นเวลาสองสัปดาห์ พบว่า สามารถคายสีรีแอคทิฟออกจากถ่านกัมมันต์ได้ (Musa I. El-Barghouthi and et al, 2007)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึบด้วยวัสดุต่างๆ การเตรียมถ่านกัมมันต์และการวิเคราะห์ (MMT) ของถ่านกัมมันต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึบ

Wang, L. and Wang, A. (2007) พบว่า ปริมาณการคุณภาพของไก่โตชาและแร่ดินมอนต์มอริล ออนไลน์ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าพีอีชรีมตันเนื่องจาก ค่าพีอีชรีม จะมีปริมาณของ ไฮดรอกไซด์ไอออนน้อย ทำให้มีพื้นที่ว่างสำหรับคุณภาพโดยกลุ่มสีข้อมเพิ่มมากขึ้น

ทรงศักดิ์ สาระแก้ว (2555) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีข้อมโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโกลในตัวคัตเตอร์ไก่โตชา(CTSMMT) โดยศึกษาเกี่ยวกับการคุณภาพแบบชนิดเดียวพบว่าแร่ดิน CTS/MMT สามารถคุณภาพสีข้อม RBS และ MO (เป็นสีที่มีประจุลบ) ได้ดีกว่าแร่ดิน MMT และ แร่ดิน CTS/MMT จะคุณภาพสีข้อมที่พีอีชรีมต้าจะสามารถคุณภาพได้ดีกว่าที่ค่าพีอีชรีสูง การศึกษาอุณหภูมิต่อปริมาณการคุณภาพที่สภาวะสมดุลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการคุณภาพของสีข้อมจะเพิ่มขึ้นด้วยและไอโซเทอมการคุณภาพจะสอดคล้องกับการคุณภาพแบบเมียร์ (การคุณภาพแบบขั้นเดียว) มากกว่าไอโซเทอมการคุณภาพแบบฟรุนดิชและปริมาณการคุณภาพแบบขั้นเดียวสูงสุด (q_m) ของการคุณภาพสีข้อม RBS ที่อุณหภูมิ 25, 35, 45 และ 55°C มีค่าเท่ากับ 82.64, 94.34, 111.11 และ 138.89 mg/g ตามลำดับ และสีข้อม MO ที่อุณหภูมิ 25, 35, 45 และ 55°C มีค่าเท่ากับ 68.49, 84.75, 100.00 และ 123.46 mg/g ตามลำดับ

ปียะพร บารมี (2542) ได้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้ง โดยการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ซึ่งมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ การบดในเซชัน และการกระตุ้น จากผลการทดลองได้สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการการบดในเซชันยาง คือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 30 นาที และขั้นตอนการกระตุ้น โดยการนำยางที่ผ่านการการบดในเซชันแล้วมาแช่ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 70 พร้อมทั้งเขย่าเป็นเวลา 3 วัน นำไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านขนาด $2.00-2.38 \text{ m}^2$ ได้ผลิตกัมที่ร้อยละ 54.96 และถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ค่าความหนาแน่นปูรากฎ 0.407 g/m^3 ร้อยละของเต้า 8.95 จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิวเรือน 237.17 m^2/g เมื่อนำไปทดลองการคุณภาพเมทิลีนบูลและไอโซดีนพบว่าสามารถคุณภาพได้ 54.9 mg/g และ 351.52 mg/g ตามลำดับ

Solum, M.S., et al (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจาก ตันโอ็กขาว โดยใช้กรดฟอฟอริก (H_3PO_4) เป็นตัวกระตุ้น โดยได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาถ่านและอุณหภูมิที่ 150, 250, 350 และ 450 °C หลังจากนั้นจึงนำไปหาปริมาตรของรูพุนและศึกษาหาหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้ $^{13}\text{C-NMR}$ และ FTIR ซึ่งพบว่า ถ่านจะมีความเป็นอะโนมาติกเพิ่มมากขึ้น และหมู่ฟังก์ชันของอะลิฟติก ควรบอชิลและคาร์บอนิล จะลดน้อยลงและปริมาตรของรูพุนจะมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้

Ting Yang and Aik Chong Lua (2003) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกถั่วพิชิโอล ซึ่งถูกกระตุ้นด้วย KOH โดยทำการศึกษาผลของเวลา และอุณหภูมิที่ใช้

พบว่าการเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะให้ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพูน สูงที่สุด คือ $2259.4 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $1.10 \text{ cm}^3/\text{g}$ ตามลำดับ

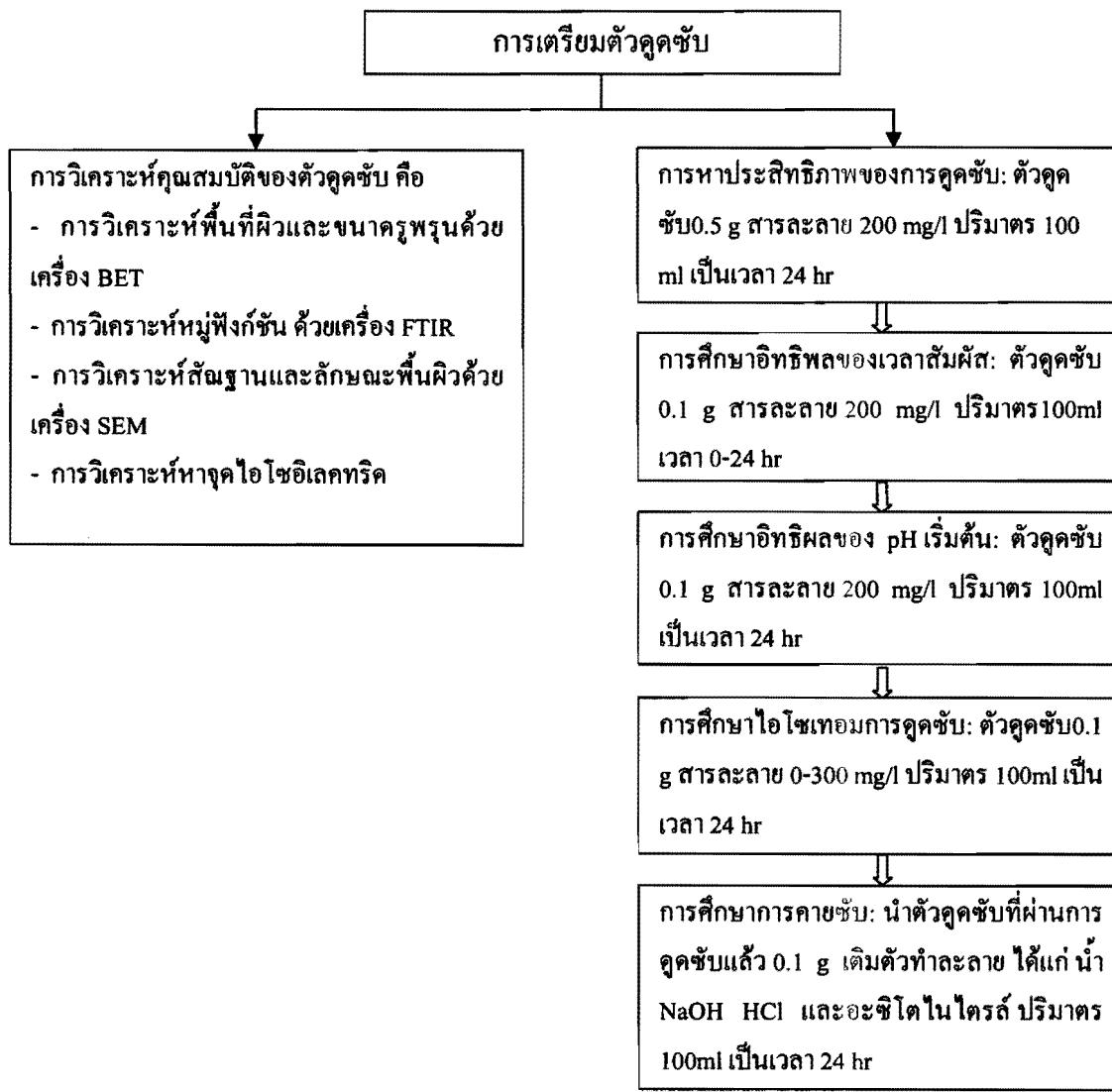
Singh, K.P., et al (2007) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีระหว่างถ่านกําลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากกําลามะพร้าว ซึ่งถูกกระศุุนด้วยกรด โดยอาศัยความสามารถในการดูดซับฟีนอล และ 2,4-ไคคลอโรฟีนอล ในการเปรียบเทียบ ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ซึ่งถูกกระศุุนแล้วจะสามารถดูดซับฟีนอล และ 2,4-ไคคลอโรฟีนอล โดยสามารถดูดซับได้ 0.53 mg/g และ 0.31 mg/g ตามลำดับ ซึ่งจะดีกว่าถ่านจากกําลามะพร้าว ซึ่งดูดซับฟีนอล และ 2,4-ไคคลอโรฟีนอล ได้ 0.36 mg/g และ 0.20 mg/g ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการวิจัย

การเตรียมตัวนั้นกับมันต์ด้วยชานอ้อย และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของตัวคุณชับ จากนั้นศึกษาการคุณชับสีข้อมจากสารละลายน้ำในการทดลองแบบง่าย และศึกษาการคายซับของตัวคุณชับ ขั้นตอนการวิจัยทั้งหมดสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นแบบแผนภาพได้ดังภาพที่ 3.1

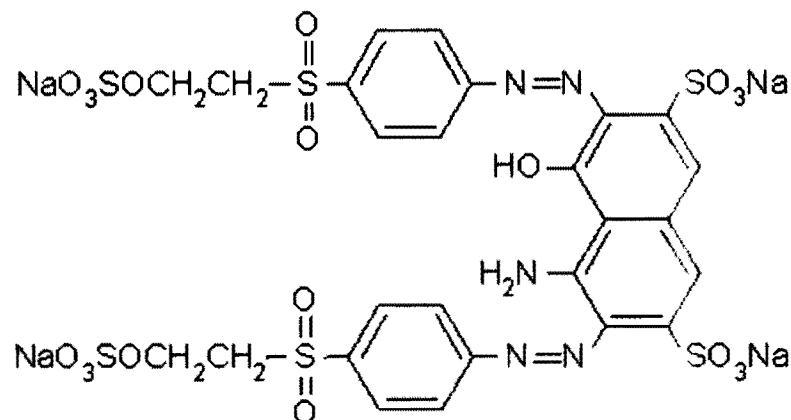


3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 ชาโน้ออย

3.2.2 KOH ซื้อมาจากบริษัท Ajax Finechem Pty Ltd

3.2.3 สีรีแอคทีฟเบนทิก 5 (Reactive Black 5: 2,7-naphthalenedisulfonic acid, 4-amino-5-hydroxy-3,6-bis((4-((2-(sulfoxy)ethyl)sulfonyl)phenyl)azo)-tetrasodiumsalt)ซึ่งโครงสร้างของสีข้อนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.2 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 991.82 g/mol และมีประจุลบ



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างโมเลกุลของสี RB5 (ทรงศักดิ์ สาระแก้ว, 2554)

3.3 การเตรียมตัวดูดซับ

3.3.1 วิธีการเตรียมชาโน้ออย มีวิธีดังนี้

3.3.1.1 นำชาโน้ออยจำนวนหนึ่งมาล้างด้วยน้ำสะอาด 1-2 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด

3.3.1.2 ผึ้งชาโน้ออยจากข้อ 3.3.1.1 จนแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.1.3 บดชาโน้ออยจากข้อ 3.3.1.2 ให้ละเอียดและเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccators)

3.3.2 วิธีการทำถ่านกัมมันต์จากชาโน้ออย มีวิธีการดังนี้

3.3.2.1 นำชาโน้ออยที่ได้จากการอบแห้ง นำไปเผาที่ 450 °C ในเตาเผาอุณหภูมิสูงในสภาวะอันอากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นภายในเตาเผาอุณหภูมิสูง

3.3.2.2 บดให้ละเอียดแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccators)

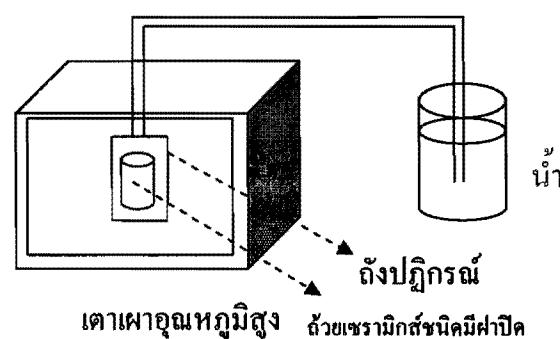
3.3.2.3 นำถ่านจากชานอ้อยที่คัดขนาดแล้วมาผสมกับ KOH ในอัตราส่วนระหว่างถ่านชานอ้อยต่อ KOH เท่ากับ 1 g : 3 g

3.3.2.4 นำส่วนผสมจากข้อ 3.3.2.3 ไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 780°C ในสภาวะอันอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นภายในเตาเผาอุณหภูมิสูง

3.3.2.5 ล้างด้วยสารละลายกรดไฮโคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น จนกว่าค่า pH ของน้ำที่ใช้ล้างถ่านกันมันต์เท่ากับค่า pH เริ่มต้นของน้ำกลั่นที่ใช้

3.3.2.6 นำตัวอย่างถ่านกันมันต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่

3.3.2.7 ร่อนผ่านแร่ขนาด 100 mesh และเก็บไว้ในโดดความชื้น



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ในการเผาถ่านในสภาวะอันอากาศ (อัญชลี สีดี และคณะ, 2555)

3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีข้อม

การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสีข้อม เพื่อจะใช้เป็นวิธีในการวัดความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม ซึ่งจะใช้หลักการคูณเส้นตรง โดยอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's Law) ที่กล่าวว่า “เมื่อแสงส่องผ่านสารละลายตัวกลาง ค่าความเข้มแสงจะลดลงเป็นปัจจุบันแบบขี้กำลัง (Exponential) กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลาย” ซึ่งจะวัดความเข้มของแสงส่องผ่านในรูปของค่าความสามารถในการคูณเส้นตรง (Absorbance, Abs) โดยใช้เครื่องวัดค่าการคูณเส้นแสง (UV-VIS Spectrophotometer) (จักรกฤษณ์ อัมพุช, 2549) ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

3.4.1 เตรียมสารละลายสีข้อมที่ความเข้มข้น $1,000 \text{ mg/L}$ เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยการละลายผงสีข้อมจำนวน 1g ในน้ำเดือด เมื่อสีข้อมละลายดีแล้วจะปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรให้มีปริมาตรเท่ากับ 1000 mL

3.4.2 ทำการเตรียมสารละลายสีข้อมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยใช้วิธีการเจือจางสารในข้อ 1 ซึ่งใช้หลักการสมดุลมวลสารตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.4 แล้วทำการสแกนหาค่าความขาวคลื่นของสีข้อมที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดนั้นคือ ค่า λ_{max}

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (3.1)$$

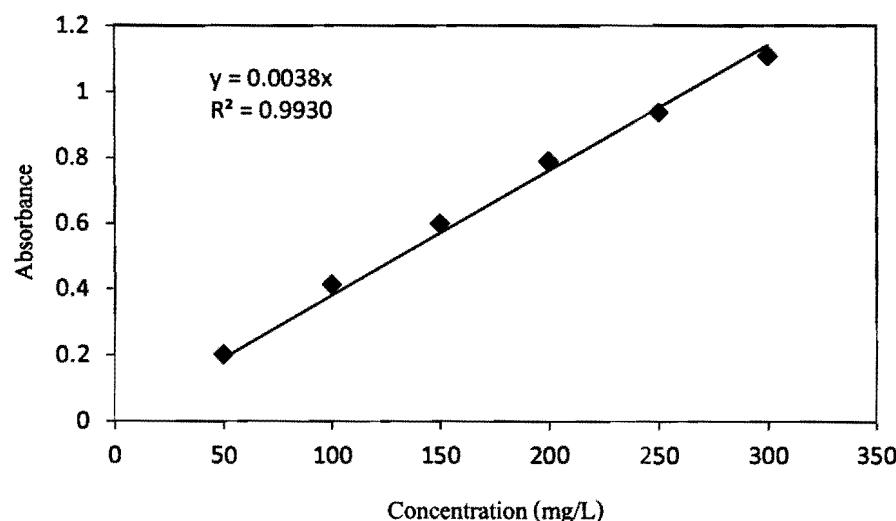
เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมมีค่าเท่ากับ 1,000 mg/L

C_2 คือ ความเข้มข้นสีข้อมที่ต้องการเตรียม (mg/L)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานสีข้อมที่ต้องใช้ (mL)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายสีข้อมที่ต้องการเตรียม (mL)

3.4.3 สร้างกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสีข้อม ซึ่งทำได้โดยนำสารละลายสีข้อมที่ทราบความเข้มข้นต่าง ๆ แล้ว มาวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) โดยใช้ค่าความขาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (λ_{max}) ที่หาได้จากข้อที่ 3.5.2 แล้วนำข้อมูลไปสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) กับความเข้มข้นของสีข้อม ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.4 กราฟมาตรฐานของน้ำสีสังเคราะห์ที่ RB5 ที่ $\lambda_{max} = 588 \text{ nm}$

ตารางที่ 3.1 สมการมาตรฐานและ λ_{\max} ของสีข้อม

สีข้อม	λ_{\max} (nm)	สมการมาตรฐาน	R^2
RB5	588	Abs = 0.0038 conc.	0.9930

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวคุณชับ

3.5.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดครูพรุนของตัวคุณชับ

นำตัวคุณชับ (ถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อยและ chan อ้อย) ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและขนาดครูพรุน โดยใช้หลักการการดูดซับและการถ่ายซับของก๊าซไนโตรเจนบนตัวคุณชับ (N_2 adsorption-desorption) วิเคราะห์ด้วยเครื่องออโตเมติกเซอร์เฟก่อนาไลเซอร์ (Automatic Surface Analyzer) รุ่น ASI-C-8 ยี่ห้อ Quantachrome Instrument อุณหภูมิที่ใช้ 77.4 K (ปืนมาตรฐานเจรูวิงค์ และ รัตนวรรณ เกียรติโภก, 2547)

3.5.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวคุณชับ

การวิเคราะห์ทำการแทนที่ของหมู่ฟังก์ชันของ chan อ้อยก่อนคุณชับ สีข้อม และ chan อ้อยหลังคุณชับ ได้แก่ หมู่อะมิโน (-NH₂) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของน้ำในถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเริร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโทมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer: FTIR) รุ่น Spectrum RX 1 ยี่ห้อ Perkin Elmer ใช้สาร KBr ผสมกับตัวอย่าง และสแกนเวฟนัมเบอร์ (Wavenumbers Scan) ในช่วง 4,000 – 400 cm⁻¹ (Wang, L. and Wang, A., 2007)

3.5.3 การวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวคุณชับ

นำถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย ไปศึกษาจุลสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิว วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องgraphic (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JSM-5410LV ยี่ห้อ JEOL)

3.5.4 การวิเคราะห์จุดไอโซอิเลคทริก (Isoelectric point) ของตัวคุณชับ

การหาจุดไอโซอิเลคทริก (จุดที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์) ใช้วิธี Solid addition method (Wang et al., 2008)

3.5.4.1 นำตัวคุณชับ 0.1 g ละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 0.01 M จำนวน 100 mL

3.5.4.2 ทำการเตรียมสารละลายดังข้อ 1 ข้างต้น ให้มีค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) แตกต่างกัน (2, 4, 6, 8 และ 10) โดยการปรับค่าพีเอชด้วยสารละลาย 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ 0.1 M กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

3.5.4.3 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.5.4.4 หลังจากนั้นนำไปวัดค่าพีเอชสุดท้าย (pH_f) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาจุดที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pI) โดยการนำค่า $\text{pH}_0 - \text{pH}_f$ (ของแต่ละ pH ต่าง ๆ) ไปplotกราฟ

3.5.4.5 ทำขั้นตอนเดียวกัน 4 ครั้ง แต่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 0.01 M

3.6 การศึกษาการคุณภาพแบบง่าย

3.6.1 การหาประสิทธิภาพการคุณภาพสีข้อมูล

การศึกษาประสิทธิภาพการคุณภาพสีข้อมูล โดยใช้ชานอ้อย และถ่านกันมันที่จากชานอ้อย เป็นตัวคุณภาพ มีวิธีการดังนี้

3.6.1.1 เตรียมสารละลายสีข้อมูลความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L ปริมาตร 100 mL เพื่อใช้เป็นน้ำสังเคราะห์ จากนั้นวัดค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) ของสารละลายสีข้อมูล

3.6.1.2 นำสารละลายสีข้อมูลไปวัดค่าความสามารถในการคุณภาพลีนแส้ง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการคุณภาพลีนแส้ง (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการคุณภาพลีนแส้ง (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.6.1.3 เติมตัวคุณภาพลงในสารละลาย 0.5 g (การเลือกปริมาณของตัวคุณภาพ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมูลจะได้มาจาก การทดลองสุ่มหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตผล)

3.6.1.4 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.6.1.5 นำสารแขวนลอยที่เขย่าเสร็จแล้วไปวัดค่าพีเอชที่สมดุล (pH_e) หลังจากนั้นนำไปแยกตัวคุณภาพออกโดยใช้เครื่องปั่นหมุน (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min

3.6.1.6 นำสารละลายน้ำที่ใส่ไปวัดค่าความสามารถในการคุณภาพลีนแส้ง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการคุณภาพลีนแส้ง (UV-VIS Spectrophotometer) แล้วเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วย

กราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีข้อม โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2 ในหัวข้อ 2.6 บทที่ 2

3.6.2 การศึกษาไอโซเทอมการคุณชัน

3.6.2.1 เตรียมสารละลายน้ำสีข้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันในช่วง 0 - 300 mg/L ปริมาตร 100 mL เพื่อใช้เป็นน้ำสังเคราะห์ จากนั้นวัดค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) ของสารละลายน้ำสีข้อม

3.6.2.2 นำไปปั่นต่ำความสามารถในการคุณลักษณะ (Abs) ด้วยเครื่องปั่นต่ำความค่าการคุณลักษณะ (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการคุณลักษณะ (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.6.2.3 เติมตัวคุณชัน (ถ่านกัมมันต์จากงานอ้อย) จำนวน 0.1 g ลงในสารละลายน้ำสีข้อมในขวดรูปขมพู่

3.6.2.4 ทำการเบี่ยงด้วยเครื่องเบี่ยงแหนวนที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อให้เข้าสู่สมดุลการคุณชัน

3.6.2.5 ต่อน้ำสารแหนวนโดยที่เบี่ยงเสรีแล้วไปปั่นต่ำความค่าพีเอชที่สมดุล (pH_e) จากนั้นนำไปแยกตัวคุณชันออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min

3.6.2.6 นำสารละลายน้ำส่วนที่ใสมาวัดค่าความสามารถในการคุณลักษณะ (Abs) ด้วยเครื่องปั่นต่ำความค่าการคุณลักษณะ (UV-VIS Spectrophotometer) และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน

3.6.2.7 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการคุณชัน และนำผลการทดลองที่ได้ไปศึกษาหาพหุติกรรมของการคุณชันว่ามีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการคุณชันแบบใดบ้าง เช่น แบบเส้นตรง (Linear) ฟรุนดิช (Freundlich) และແແລງມີບັນ (Langmuir) โดยสามารถหาได้จากสมการไอโซเทอมการคุณชัน ซึ่งอยู่ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.5

3.6.3 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายน้ำสีข้อมต่อปริมาณการคุณชัน

3.6.3.1 เตรียมสารละลายน้ำสีข้อมความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L ปริมาตร 100 mL เพื่อใช้เป็นน้ำสังเคราะห์

3.6.3.2 ทำการเตรียมสารละลายน้ำสีข้อมดังข้อ 3.6.3.1 ข้างต้น ให้มีค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) แตกต่างกัน 5 ค่า (2, 4, 6, 8 และ 10) โดยการปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายน้ำ 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) หรือ 0.1 M กรดไฮดรอลิก (HCl)

3.6.3.3 นำสารละลายไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.6.3.4 เติมตัวดูดซับ(ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย)ลงไปจำนวน 0.1 g ในน้ำสีสังเคราะห์

3.6.3.5 นำไปเบี่ยงด้วยเครื่องเบี่ยงแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อให้เข้าสู่สมดุลการดูดซับ

3.6.3.6 นำสารแขวนลอยที่เบี่ยงแล้วไปวัดค่าพีเอชที่สมดุล (pH_0) จากนั้นนำไปแยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min

3.6.3.7 นำสารละลายส่วนที่ใส่ไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) แล้วเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายตีข้อมต่อปริมาณการดูดซับต่อไป

3.6.4 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับ

ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับจะทำการทดลองที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 4 ค่า มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.6.4.1 เตรียมสารละลายสีข้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันในช่วง 200 mg/L ปริมาตร 100 mL จากนั้นวัดค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) ของสารละลายสีข้อม

3.6.4.2 นำไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.6.4.3 เติมตัวดูดซับลงไปในน้ำสีสังเคราะห์ 0.5 g โดยเดือกใช้ตัวดูดซับที่สามารถดูดซับลีข้อมแต่ละสีได้มากกว่าจากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับในหัวข้อ 3.6.1 (ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย)

3.6.4.4 ทำการเบี่ยงด้วยเครื่องเบี่ยงแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr โดยจะทำการปรับค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 4 ค่า (30, 40, 50 และ 60 °C)

3.6.4.5 นำสารแขวนลอยที่เบี่ยงแล้วไปวัดค่าพีเอชที่สมดุล (pH_0) หลังจากนั้นนำไปแยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min

3.6.4.6 นำสารละลายส่วนที่ใส่ไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับ

3.6.5 การศึกษาอ่อนพลศาสตร์ของการดูดซับ

ในการศึกษาอ่อนพลศาสตร์การดูดซับจะทำการทดลอง มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.6.5.1 เตรียมน้ำสีสังเคราะห์จากสีข้อมูลความเข้มข้นเริ่มต้น 200 mg/L ปริมาตร 100 mL ในขวดรูปทรงพุ่งนาด 250 mL ตามจำนวนที่กำหนด จากนั้นวัดค่า pH เริ่มต้น (pH_0) ของสารละลายสีข้อมูล

3.6.5.2 นำไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.6.5.3 เติมตัวดูดซับ (ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย) จำนวน 0.1 g ลงในสารละลายสีข้อมูลรูปทรงพุ่ง

3.6.5.4 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm

3.6.5.5 เก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 10 นาที ใน 1 ชั่วโมงแรก ต่อมาเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 30 นาที จนถึงชั่วโมงที่ 3 หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าความเข้มข้นจะคงที่

3.6.5.6 นำตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ไปวัดค่า pH ที่เวลาใด ๆ (pH_t) จากนั้นนำไปแยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min และนำสารละลายส่วนที่ใส่ไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน

3.6.5.7 วิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับ และนำผลการทดลองที่ได้ไปศึกษากับแบบจำลองอัตราการดูดซับ โดยใช้สมการอัตราการดูดซับอันดับหนึ่งเทิร์น (Pseudo-first order equation) และสมการอัตราการดูดซับอันดับสองเทิร์น (Pseudo-second order equation) ซึ่งสมการเหล่านี้จะอยู่ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.6 จากนั้นนำไปศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ของพลังงานกระตุ้น ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสด้วยปริมาณการดูดซับ และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการดูดซับต่อไป

3.7 การศึกษาการคายซับ

ในการศึกษาอิทธิพลของการคายซับจะนำถ่านกัมมันต์จากชาอย้ออยหลังจากการคุณศี RB 5 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.7.1 เตรียมสารละลายน้ำสีเข้มที่ความเข้มข้น 200 mg/L ปริมาตร 100 mL เพื่อใช้เป็นน้ำสีสังเคราะห์ จากนั้นวัดค่าพีเอชเริ่มต้น (pH_0) ของสารละลายน้ำสี

3.7.2 นำไปวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) เพื่อให้ทราบค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น

3.7.3 เดินตัวคุณซับ(ถ่านกัมมันต์จากชาอย้ออย)จำนวน 0.5 g ลงในสารละลายน้ำสีเข้มในขวดรูปปัชมพุ่

3.7.4 ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อให้เข้าสู่สมดุลการคุณซับ และนำอาบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 hr

3.7.5 นำตัวคุณซับ 0.5 g ที่คุณซับสี RB5 มาทำการผสมกับน้ำสารละลายน้ำสีเข้มข้น 0.2 M NaOH และ 0.2 M HCl ปริมาณ 200 mL เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.7.6 แล้วตัวคุณซับ 0.1 g ที่คุณซับสี RB5 มาทำการผสมกับสารละลายน้ำสีเข้มข้น 20, 40, 60 และ 80 v/v อะซิトイไนโตรล ปริมาณ 100 mL เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิ 25 °C

3.7.7 นำไปแยกตัวคุณซับออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 30 min เพื่อแยกตัวคุณซับออก และนำสารละลายน้ำส่วนที่ไม่วัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (Abs) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นด้วยกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการคายซับ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวคูดชับ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพูนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย

ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง Automatic Surface Analyzer โดยใช้ BET-method ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ $1,675 \text{ m}^2/\text{g}$ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพูนเฉลี่ย เท่ากับ 2.7 nm และรูพูนส่วนใหญ่เป็นรูพูนขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย

ตัวแปร	ชนิดตัวคูดชับ
	ถ่ายกัมมันต์จากชานอ้อย
พื้นที่ผิวจำเพาะ ^a (m^2/g)	1675
พื้นที่ผิวภายในอก ^b (m^2/g)	300
พื้นที่ผิวภายในรูพูนขนาดเล็ก ^c (m^2/g)	1375
ปริมาตรรวมของรูพูน ^d (cm^3/g)	0.82
ปริมาตรของรูพูนขนาดเล็ก ^e (cm^3/g)	0.65
ปริมาตรของรูพูนขนาดกลาง ^f (cm^3/g)	0.13
เส้นผ่าศูนย์กลางรูพูนเฉลี่ย ^g (nm)	2.7

หมายเหตุ ^a คำนวณจากการของ BET

^{b,c} คำนวณจาก t-plot

^d คำนวณจากปริมาณการคูดชับในไตรเจนที่ $P/P_0 = 0.95$

^e คำนวณตามวิธีของ Dubinin-Radushkevich

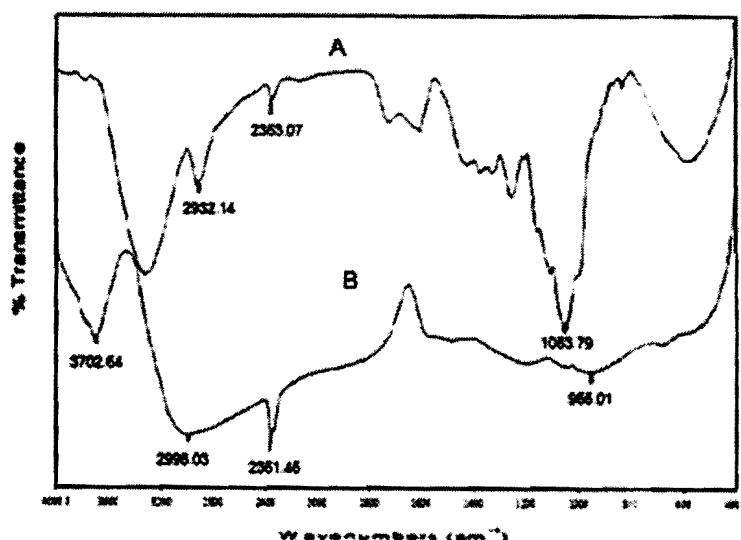
^f คำนวณจากปริมาณการคูดชับในไตรเจนที่ P/P_0 ระหว่าง 0.40-0.95 โดยสมนติให้

ปริมาตรเริ่งไมอลของไนโตรเจนเหลวเป็น $35 \text{ cm}^3/\text{mol}$

^g คำนวณตามวิธีของ Barrett-Joyner-Halenda (BJH)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ

ภาพที่ 4.1 แสดง IR Spectra ของ chan อ้อย และถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย วิเคราะห์โดยใช้ด่วยเครื่อง FTIR เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของ chan อ้อยเมื่อถูกกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ KOH พบร่วมกับ IR-spectra ของ chan อ้อยแสดงให้เห็นถึงหมู่ O-H stretching ที่พีก $3,700 - 3,300 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ C-H ที่พีก $2,932 \text{ cm}^{-1}$ (C-H stretching vibration) หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ $\text{C}\equiv\text{C}$ หรือ $\text{C}\equiv\text{N}$ ที่ $2,363 \text{ cm}^{-1}$ หมู่การบักซิลิกที่พีก $1,727 \text{ cm}^{-1}$ และ ที่พีก $1,606 \text{ cm}^{-1}$ ($\text{C}=\text{O}$ stretching vibrations) หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-H ที่พีก $1,327 \text{ cm}^{-1}$ (C-H rocking) และหมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-O ที่พีก $1,000-1,257 \text{ cm}^{-1}$ (C-O stretching vibrations) ต่อไป IR-spectra ถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย แสดงให้เห็นการหายไปของหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ในขั้นตอนการเตรียมถ่านที่ใช้ความร้อนสูง และสารเคมีในการกระตุ้น ได้แก่ การหายไปของช่วง vibration band $3,700-3,300 \text{ cm}^{-1}$ (O-H stretching vibration) และ ที่พีก $1,727 \text{ cm}^{-1}$ และ ที่พีก $1,606 \text{ cm}^{-1}$ ($\text{C}=\text{O}$ stretching vibration) ซึ่งทำให้เห็นว่าฟังก์ชันที่เหลืออยู่บนถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อยได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-H ที่พีก $2,998 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ $\text{C}\equiv\text{C}$ หรือ $\text{C}\equiv\text{N}$ ที่พีก $2,361 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-C ที่พีก 955 และ ที่พีก 673 cm^{-1} จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่เด่นชัดเกินขีน 3 หมู่ คือ amine, C-H ในสายโซ่ aliphatic และ $\text{C}=\text{O}$ (จิราวรรณ นารี และคณะ, 2552)

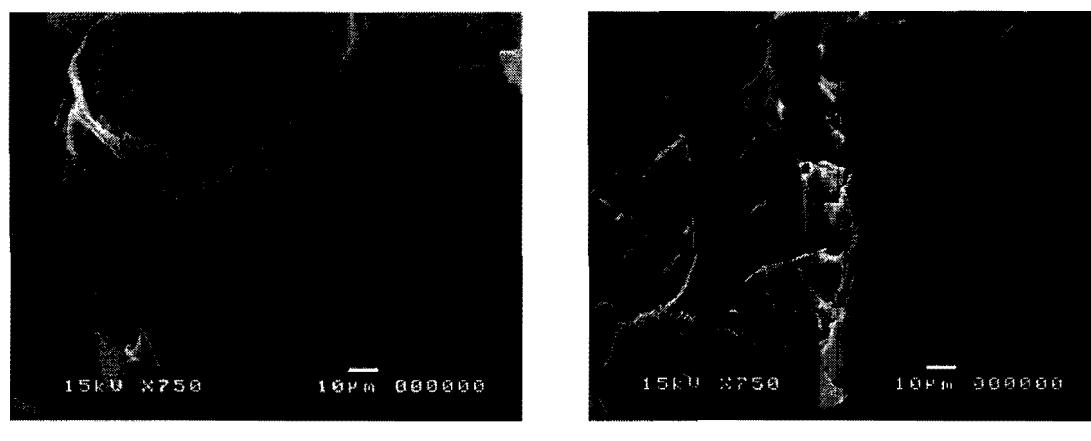


ภาพที่ 4.1 สเปกตรัม FTIR ของ (a) chan อ้อย และ (b) ถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย

4.1.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวคุณชับ

จากการวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวคุณชับด้วยเครื่อง SEM ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 4-2 พบว่าชานอ้อยมีพื้นผิวเรียบและไม่มีรูพรุนปรากฏอยู่ดังภาพที่ 4-2a แตกต่างจากถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่มีรูพรุนขนาดแตกต่างกันอยู่บนพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 4-2b

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษากับผลที่รายงานจากการงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาพบว่า ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปัญญา นภีจกร (2554) และ จิราวรรณ นารี และคณะ (2552) นั้นคือ สารเคมีที่ใช้ในการระคุนถ่านกัมมันต์ จะทำให้เกิดรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เช่น ถ่านกัมมันต์จากเม็ดหูกว้างที่กระตุนด้วยกรด H_2SO_4 (ปัญญา นภีจกร, 2554) และ ถ่านกัมมันต์จากไฟฟ์พอลิเทนที่กระตุนด้วย K_2CO_3 และ KOH (จิราวรรณ นารี และคณะ, 2552) นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์จากไฟฟ์พอลิเทนมีลักษณะรูพรุนและพื้นผิวสัมผัสที่ใกล้เคียงกันกับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยในงานวิจัยนี้

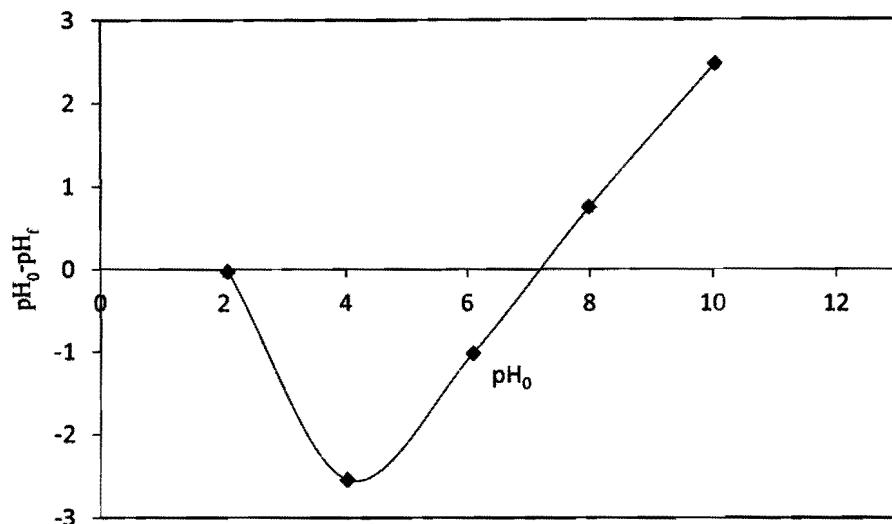


ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะพื้นผิวของตัวคุณชับ (a) ชานอ้อยและ (b) ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย

4.1.4 ผลการวิเคราะห์จุดไอโซอิเลคทริก (Isoelectric point) ของตัวคุณชับ

จุดไอโซอิเลคทริก(pI) ของตัวคุณชับ คือ ค่าพีเอช (pH) ของตัวคุณชับที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์ (หรือไม่มีประจุ) ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าเฉพาะตัวสำหรับตัวคุณชับแต่ละชนิด (Wang et al., 2008) จากการวิเคราะห์จุดไอโซอิเลคทริกของตัวคุณชับได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพนูก ก. (ตารางที่ ก.1) พบว่า ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย มีจุดไอโซอิเลคทริกเท่ากับ 7.04 ลักษณะกราฟของจุด

ไอโซอิเลคทริกได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ถ้าพีอีของตัวคุณชับมีค่าต่ำกว่า 7.04 พื้นพิวของตัวคุณชับจะมีประจุสุทธิเป็นบวก และในทางตรงกันข้ามถ้าพีอีของตัวคุณชับมีค่าสูงกว่า 7.04 พื้นพิวของตัวคุณชับจะมีประจุสุทธิเป็นลบ (Yahya et al., 2008)



ภาพที่ 4.3 จุดไอโซอิเลคทริกของถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อย (ความเข้มข้นของ NaCl เท่ากับ 0.01 M)

4.2 ผลการศึกษาการคุณชับแบบง่าย

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชับ

เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการคุณชับสีข้อม RB5 ด้วย chan อ้อยและถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อยสามารถทำได้โดยการหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด (Removal percentage) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 พบว่า ถ่านกัมมันต์จาก chan อ้อยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีข้อม RB5 สูงกว่า เมื่อจากในขั้นตอนการกรองดูน สาร KOH จะแทรกซึมเข้าไปในโครงร่างของถ่านทำให้สารระเหย เช่น ทาร์ ระหว่างการกรอง แสดงเป็นรูปด้านล่าง

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชั้บสีข้อม RBS ที่ $C_0 = 200 \text{ mg/L}$ โดยใช้ปริมาณตัวคูดชั้บ 0.5 g อุณหภูมิในการคุณชั้บ 25 °C เวลา 24 hr และ $\text{pH}_0 = 7.0 \pm 0.5$

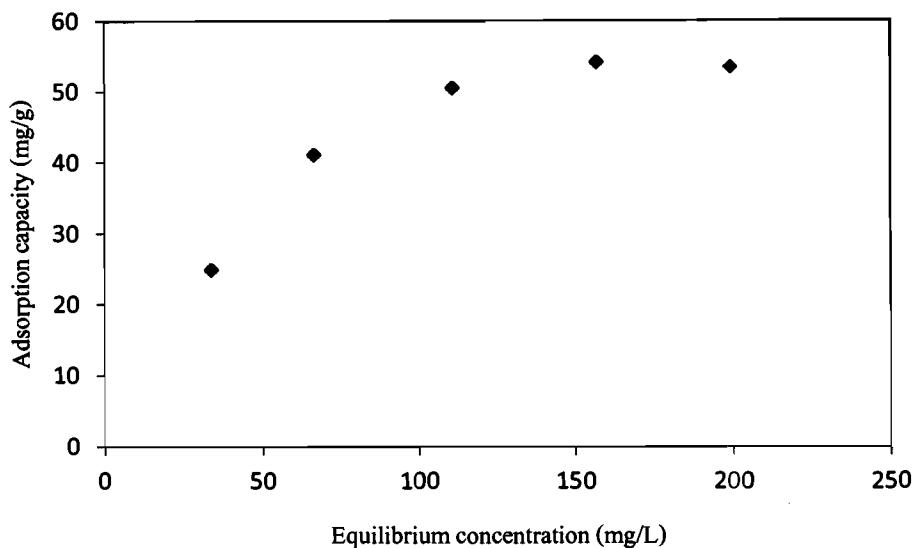
ชนิดสีข้อม	การกำจัดสีข้อม (%)	
	ชานอ้อย	ถ่านก้มมันต์จากชานอ้อย
RBS	4.27	68.38

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชั้บพบว่า ถ่านก้มมันต์จากชานอ้อยเป็นตัวคูดชั้บที่สามารถคุณชั้บสีข้อม RBS ในสารละลายน้ำได้มากกว่าชานอ้อย ดังนี้ ในการทดลองขึ้นตอนต่อไปจะศึกษาและทำการคุณชั้บสีข้อมด้วยถ่านก้มมันต์จากชานอ้อย เท่านั้น

4.2.2 ผลการศึกษาไอโซเทอนการคุณชั้บ

ไอโซเทอนของการคุณชั้บเป็นความสมมัพน์ระหว่างปริมาณของตัวคูดคุณชั้บที่อยู่บนพื้นผิวของตัวคูดชั้บกับความเข้มข้นของตัวคูดคุณชั้บในของเหลวที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ไอโซเทอนการคุณชั้บจะทำให้ทราบถึงกลไกของการคุณชั้บสีข้อม ซึ่งไอโซเทอนของการคุณชั้บเป็นแบบจำลองที่อริบາยได้โดยสมการว่ากลไกการคุณชั้บสีข้อม เป็นการคุณชั้บแบบชั้นเดียว (ไอโซเทอนแบบแลงเมียร์) หรือการคุณชั้บแบบหลายชั้น (ไอโซเทอนแบบฟรุนดิช) ปริมาณของสีข้อมที่ถูกคุณชั้บสามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลสารซึ่งอยู่ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.5

ไอโซเทอนการคุณชั้บของสี RBS ด้วยถ่านก้มมันต์จากชานอ้อยแสดงไว้ในภาพที่ 4.4 ผลการพล็อตข้อมูลการทดลองกับสมการ ไอโซเทอนแบบแลงเมียร์และฟรุนดิช พบว่า ไอโซเทอนการคุณชั้บของสีข้อม RBS มีความสอดคล้องกับไอโซเทอนการคุณชั้บแบบแลงเมียร์มากกว่า ไอโซเทอนการคุณชั้บแบบฟรุนดิช โดยพิจารณาจากค่า R^2 ในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.4 ไอโซเทอโนกราดูดซับสี RBS จากสารละลายน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย ปริมาณ 0.1 g และ $pH_0 = 7.0 \pm 0.5$

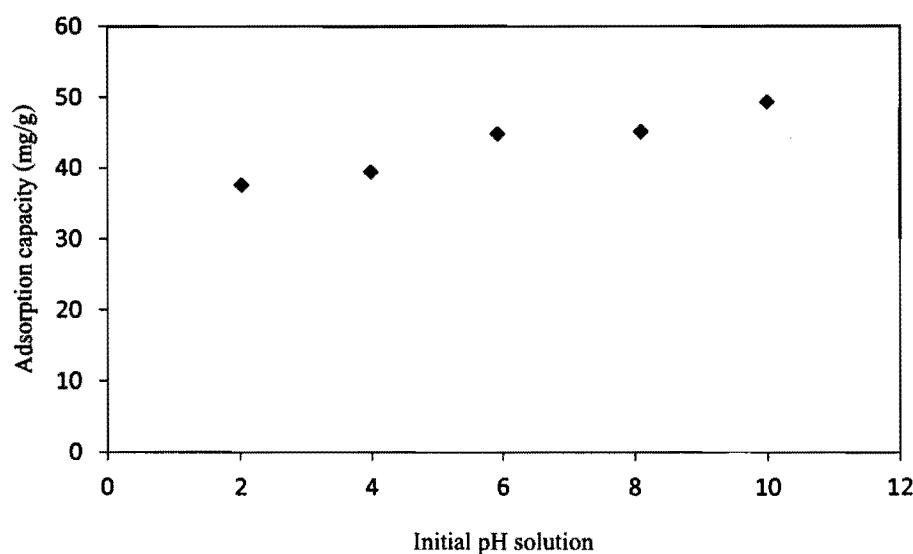
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ของไอโซเทอโนกราดูดซับแบบແลงເມີຣ໌ແລະ ແບນພຽນດີຂອງການດູດຊັບສື່ອມ RBS

ສື່ອມ	ไอโซเทอโนແບນແลงເມີຣ໌			ไอโซเทอโนແບນພຽນດີ		
	q_m (mg/g)	K_L (L/g)	R^2	K_F (L/g)	n	R^2
RBS	69.444	1.363	0.9822	5.57	2.282	0.9047

4.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่าพิเอชเริ่มต้นของสารละลายน้ำสື່ອມต่อปริมาณการดูดซับ จากการศึกษาอิทธิพลของค่าพิเอชเริ่มต้นของสารละลายน้ำสື່ອມต่อปริมาณการดูดซับ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามการเพิ่มของค่าพิเอชเริ่มต้น โดยทั่วไปสีรีแอ็คทิฟเป็นสື່ອມที่มีประจุลบจะถูกยึดติดผิวนถ่านกัมมันต์ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทึ้งที่เป็นแรงยึดเหนี่ยวชนิดอ่อน (weak interaction) และแรงยึดเหนี่ยวชนิดที่แข็งแรง (strong interaction) แรงยึดเหนี่ยวที่อ่อน ได้แก่ แรง van der Waals ส่วนแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง ได้แก่ “แรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic interaction)” ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีอนุภาคที่มีประจุลบ และ “แรงยึด

เห็นีข่าวระหว่างโนเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-Hydrophobic interaction) ระหว่างอะตอนการรับอนของสีข้อมและอะตอนการรับอนของถ่านกัมมันต์”

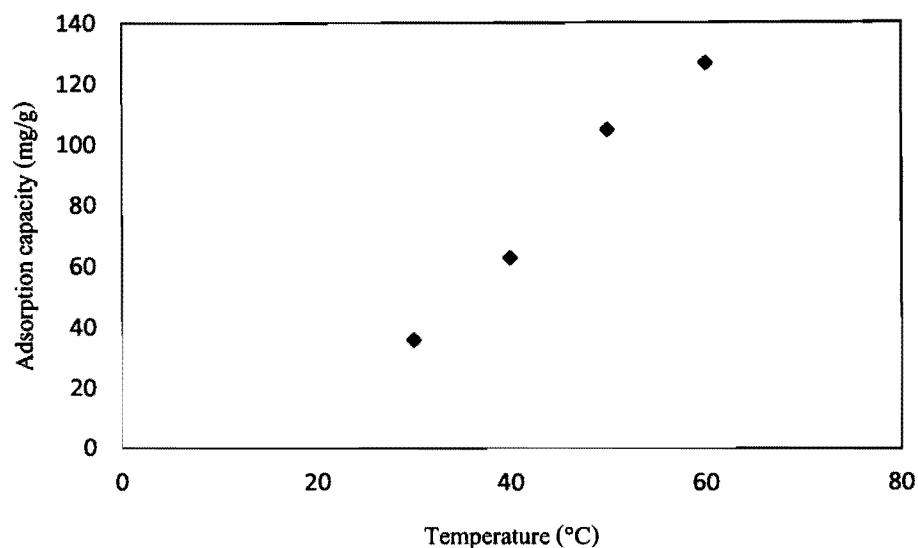
จากเหตุผลข้างต้นค่าพีเอชจะมีผลต่อปริมาณการดูดซับเพียงเล็กน้อย เนื่องจากที่ค่าพีเอชสูงกว่าค่า pH_{pzc} (จุดไอโซอิเลคทริกเท่ากับ 7.04) ของถ่านกัมมันต์จะทำให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีอำนาจเป็นบวกจึงสามารถดูดซับสีข้อมที่มีประจุลบได้มากขึ้น แต่ย่างไรก็ตาม การเพิ่มหรือลดปริมาณของประจุบวกและประจุลบในสารละลายส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยเล็กน้อยจึงอาจกล่าวได้ว่า “แรงขีดเห็นีข่าวระหว่างโนเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-Hydrophobic interaction) เป็นแรงขีดเห็นีข่าวหลักที่มีความสำคัญมากกว่าแรงขีดเห็นีข่าวชนิดอื่น”



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสีข้อมกับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีข้อม RB5 โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยปริมาณ 0.1 g (C_0 : 200 mg/L, 200 rpm, 24 hr และ pH: 2-10)

4.2.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับ

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณการดูดซับสี RB5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย ได้ผลการทดลองจากภาพที่ 4.6 พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 35.87 mg/g ไปเป็น 126.49 mg/g เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 °C ไปเป็น 60 °C แสดงว่า กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการดูดความร้อน (Endothermic process)



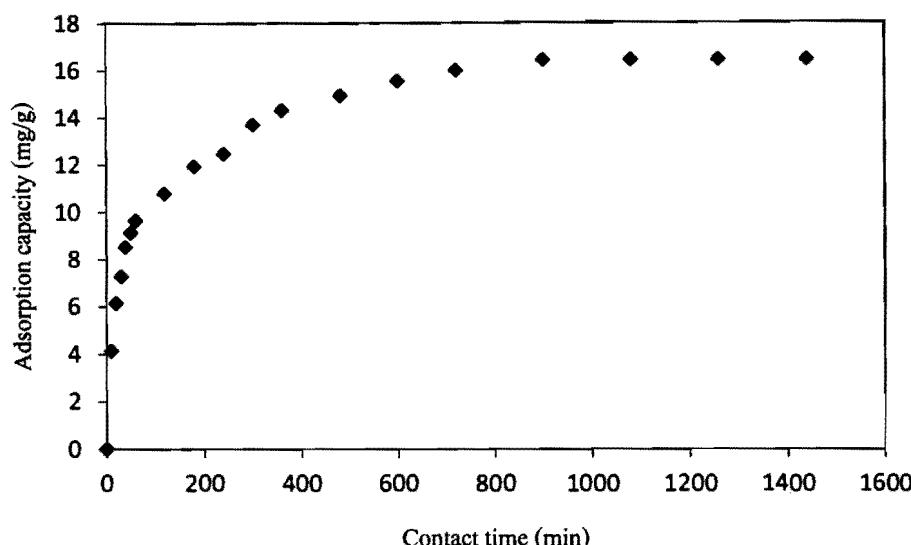
ภาพที่ 4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับสี RBS บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย (C_0 : 200 mg/L, 200 rpm, 24 hr และอุณหภูมิ 30-60)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ไมเดกูลของสีข้อมสามารถดูดซับผ่านหรือแพร่เข้าสู่รูพรุนภายในถ่านกัมมันต์มากขึ้น

4.2.5 ผลการศึกษาจนพอดคลาสต์การดูดซับ

4.2.5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อปริมาณการดูดซับ

จากการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับเวลาสัมผัส พบว่า ปริมาณการดูดซับของสีข้อม RBS เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในช่วงแรก ๆ ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุด ๆ หนึ่ง และจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับภายในเวลาประมาณ 800 นาที



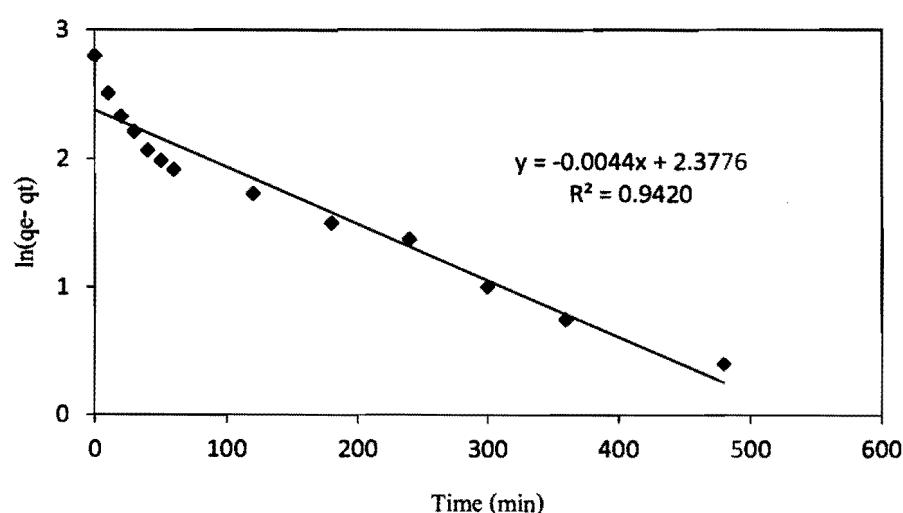
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับสี RB5 กับเวลาสัมผัสโดยใช้ตัวดูดซับถ่านมันต์จากชานอ้อยปริมาณ 0.1 g, $C_0 = 200 \text{ mg/L}$ และ $\text{pH}_0 = 7.0 \pm 0.5$

4.2.5.2 ผลการหาอันดับของปฏิกิริยาการดูดซับ

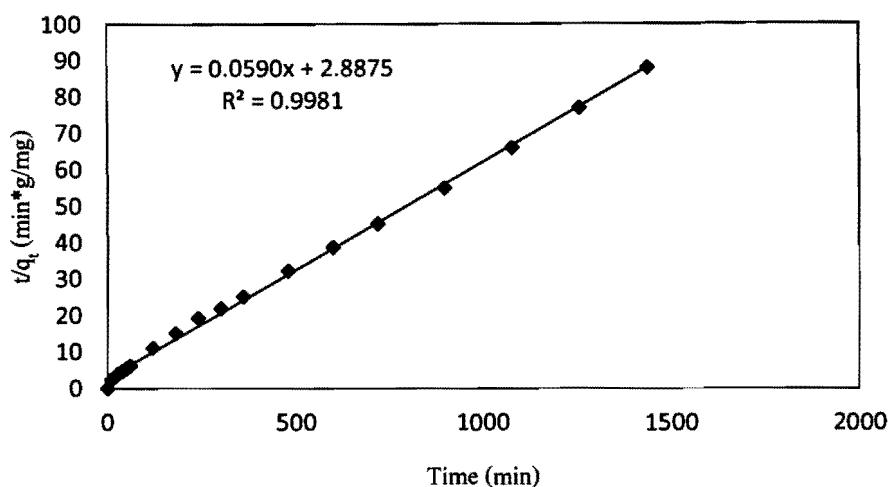
การศึกษาอันดับของปฏิกิริยาการดูดซับเพื่อหาขั้นตอนการดูดซับสีขึ้นต้นกระทำได้โดยการพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลการดูดซับกับ แบบจำลองอัตราการดูดซับที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้แก่ สมการอัตราการดูดซับอันดับหนึ่งเทียน (Pseudo-first order equation) ซึ่งจะบ่งบอกได้ว่าขั้นตอนการถ่ายโอนมวลของตัวถูกดูดซับผ่านชั้นของไอลรอนตัวดูดซับเกิดขึ้นช้าที่สุด และสมการอัตราการดูดซับอันดับสองเทียน (Pseudo-second order equation) ซึ่งจะบ่งชี้ได้ว่าขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่พื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นได้ช้าที่สุดเมื่อนำผลการทดลองมาพิสูจน์สมการอัตราการดูดซับอันดับหนึ่งเทียน และสมการอัตราการดูดซับอันดับสองเทียน แสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ พบว่า อัตราการดูดซับของสีข้อม RB5 มีความสอดคล้องกับสมการอัตราการดูดซับอันดับสองเทียนมากกว่าสมการอัตราการดูดซับอันดับหนึ่งเทียน โดยพิจารณาจากค่า R^2 ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ของสมการอันดับหนึ่งเทียมและสมการอันดับสองเทียมของการคุดซับสีข้อม RB5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อบ

$q_{e,exp}$ (mg/g)	สมการอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order)			สมการอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)		
	$k_1 \times 10^3$ (min ⁻¹)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	R^2	$k_2 \times 10^2$ (g/mg*min)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	R^2
	16.40	4.4	10.77	0.9420	1.2	16.94



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln (q_e - q_t)$ และ t (min) แบบจำลองขั้ตตราการคุดซับอันดับหนึ่งเทียมของ การคุดซับสีข้อม RB5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อบ เป็นตัวคุดซับ



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t (min^{*}g/mg) และ t (min) แบบจำลองอัตราการดูดซับอันดับสอง เที่ยวนของการดูดซับสีเย้อม RB5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย เป็นตัวดูดซับ

4.3 การศึกษาการคายซับ

พฤติกรรมการคายซับสี RB5 ของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า น้ำ สารละลายน 0.1 M NaOH และ สารละลายน 0.1 M HCl ไม่สามารถทำให้เกิดการคายซับของสี RB5 ได้ แต่เมื่อใช้สารละลายอะซิโตในไตรล์เป็นตัวทำละลายจะทำให้เกิดการคายซับได้ โดยการคายซับจะเกิดขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 41.44 % เมื่อความเข้มข้นของ อะซิโตในไตรล์เท่ากับ 60%v/v จากผลการทดลองข้างต้น ชี้ให้เห็นว่า การดูดซับเป็นกระบวนการ ไม่ย้อนกลับ (irreversible process) เมื่อใช้น้ำ เปเปรและกรด เป็นตัวทำละลาย เพราะตัวทำละลายเหล่านี้ไม่สามารถทำลายแรงบดหนีบวะห่วงตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับได้ กระบวนการดูดซับที่ไม่ย้อนกลับส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี ในอิกแห่งนุ่มนี่ สารละลายน อะซิโตในไตรล์เป็นตัวทำละลายที่สามารถทำลายแรงบดหนีบวะห่วงตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับได้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวทำละลายสีเย้อม RB5 ออกมากจากถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยได้

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคายชั้บสีข้อม RBS ในความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ปริมาณตัวคูคชับ 0.4 g อุณหภูมิในการคูคชับ 25 °C และเวลา 24 hr

ชนิดสารละลาย	Desorption (%)
น้ำกลั่น	0
NaOH 0.1 M	0
HCl 0.1 M	0
Acetonitrile 20% v/v	18.27
Acetonitrile 40% v/v	40.99
Acetonitrile 60% v/v	41.44
Acetonitrile 80% v/v	35.65

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยเป็นตัวคูดซับที่มีพื้นที่จำเพาะเท่ากับ $1,675 \text{ m}^2/\text{g}$ มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.74 nm และรูพรุนส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก การเตรียมถ่านกัมมันต์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันนอลที่อยู่บนพื้นผิวของตัวคูดซับ พื้นผิวของชานอ้อยมีลักษณะเรียบและไม่มีรูพรุน แต่ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยมีพื้นผิวที่มีรูพรุน และมีจุดไอโซอิเลคทริก (pI) เท่ากับ 7.04

ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยมีประสิทธิภาพการคูดซับสูงกว่าชานอ้อย ประมาณ 64.11% ค่าพีอีชาร์กเม้นต์ของสารละลายส่างผลกระทบต่อปริมาณการคูดซับเล็กน้อย ซึ่งให้เห็นว่า แรงยึดเหนี่ยวชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-hydrophobic interaction) เป็นแรงยึดเหนี่ยวหลักระหว่างสีข้อมและตัวคูดซับ ไอโซเทอนการคูดซับมีความสอดคล้องกับไอโซเทอนแบบแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอนแบบฟรุนดิช และคงว่า สีข้อมปกคลุมพื้นผิวของตัวคูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งปริมาณการคูดซับแบบชั้นเดียวสูงสุด (d_{max}) ของการคูดซับ เท่ากับ 69.44 mg/g การคูดซับของสี RBS จะเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 800 นาที โดยอัตราการคูดซับของสี RBS มีความสอดคล้องกับสมการอัตราการคูดซับอันดับสอง เทียบมากกว่าสมการอัตราการคูดซับอันดับหนึ่งเทิน และคงว่า ขั้นตอนการสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสีข้อมกับตัวคูดซับบนพื้นผิวของตัวคูดซับเป็นขั้นก้ามัดขั้ตรา

สี RBS ไม่สามารถเกิดการ催化ขับจากถ่านกัมมันต์ได้เมื่อใช้ น้ำ เบส และกรดเป็นตัวทำละลาย และคงว่า กระบวนการคูดซับเป็นกระบวนการไม่ข้อนกลับ ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมี และตัวทำละลายที่สามารถก่อให้เกิดการ催化ขับได้ คือ อะซิโตไนไตรล์ ซึ่งการ催化ขับเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 41.44 % ที่ความเข้มข้นของอะซิโตไนไตรล์เท่ากับ 60 %v/v

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเปรียบเทียบกับตัวคูดซับชนิดอื่น ๆ ใน การคูดซับสีข้อม เช่น แร่ดิน และมวลชีวภาพ เป็นต้น

5.2.2 ควรศึกษาโดยใช้สารชนิดอื่น ๆ ในการนำมากรองต้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมที่ดียิ่งขึ้น เช่น สาร Tetramethyl-ammonium (TMA), Tetradecyl trimethyl hexadecyl ammonium (TDMA) และกรดฟอสฟอสตريك เป็นต้น

5.2.3 ควรศึกษาการดูดซับสีข้อมชนิดอื่น ๆ เช่น สีไอโซชิด สีไดเร็กท์ สีเบสิก สีคิสเพอร์ส และสีซัลเฟอร์ เป็นต้น

5.2.4 ควรศึกษาการดูดซับในน้ำเสียจริงที่มีสีข้อม เพราะมีสารตัวอื่น ๆ อยู่ ซึ่งอาจส่งผลผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- จีราวรรณ นารี พัชรี กระจ่าง และศรีสุดา แซ่ซึ้ง. การเติมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโพเมเพลลี่บีเทน. ชลบุรี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2552.
- จักรกฤษณ์ อัมพุช. การกำจัดสีข้อมในน้ำทึ้งจากการข้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้เรคินมอนต์มอริลโลในต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.
- จักรกฤษณ์ อัมพุช และรัตนวรรณ (วินูลย์สวัสดิ์) เกียรติโภณ. “ผลงานศาสตร์ของการกำจัดสีข้อมในน้ำทึ้งจากการข้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้เรคินมอนต์มอริลโลในต์ในระบบถังกวน”, วิศวกรรมสารเคมีบันวิจัยและพัฒนา. 17(3): 40-47, 2549.
- เดชา พัตรศิริเวช. กระบวนการคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- ธีรบุษ พิไกวัลย์ และวรวรรณ พันธุ์วนานิว. อินฟราเรด สเปกโตรสโคป. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- ปรินทร์ เต็มยุทธศิลป์. การเติมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไฟต์หนามาจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.
- ปัญมากร พ. จาเรววงศ์ และรัตนวรรณ เกียรติโภณ. “การคุณภาพสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้เรคินมอนต์มอริลโลในต์ธรรมชาติ และ Organo-clays”, วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 11(1) : 39-51 ; มกราคม-มีนาคม, 2547.
- ปะยะพร บารมี. การเติมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุนด้วยเชิงค์คลอไรค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ปัญญา ณีจักร. “การกำจัดสีข้อมรีแอคทีฟในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอโดยการคุณภาพ ด้วยถ่านการบอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถูกหูภาวะ”, ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2554. ณ มหาวิทยาลัยรังสิต : 5 เมษายน, 2554.
- ทรงศักดิ์ สารแก้ว. การกำจัดสีข้อมโดยใช้เรคินมอนต์มอริลโลในต์คัดแยกด้วยไกโตกาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.
- พรสวัสดิ์ อัศวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. “การคุณภาพสีข้อมด้วยตัวคุณภาพจากธรรมชาติ”, วิศวสารภาคตะวันออกเฉียงใต้. 27(4): 101-105, 2553.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

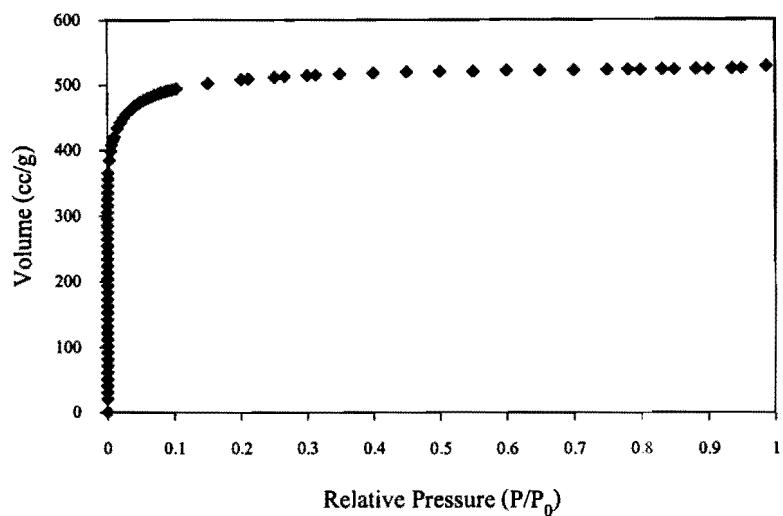
- อุรารธรรม อุ่นแก้ว. การผลิตถ่านกัมมันต์และไส้กรองครัวเรือน. กรุงเทพมหานคร : กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2548.
- อัญชลี สีดี และคณะ. การกำจัดสีรีเอคทีฟແປลีค 5 โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2548.
- Ahmad, A.A. and Hameed, B.H. "Fixed-bed adsorption of reactive azo dye onto granular activated carbon prepared from waste", Journal of Hazardous Materials. 175: 298-303, 2010.
- Aksu, Z. "Adsorption of biosorption for the removal of organic pollutants: a review", Process Biochemistry. 40: 997-1026, 2005.
- Al-Degs, Y.S., and et al. "Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon", Dyes and Pigments. 77: 16-23, 2008.
- Almeida, C.A.P., and et al. "Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay", Journal of Colloid and Interface Science. 332: 46-53, 2009.
- Apipreeya K. Recovery of copper (II) from copper-lead mixture solution using adsorption and desorption. Master's Thesis: Chulalongkorn University, 2006.
- Auta, M. and Hameed, B.H. "Optimized waste tea activated carbon for adsorption of methylene blue and acid blue 29 dyes using response surface methodology", Chemical Engineering Journal. 175: 233-243, 2011.
- Chen, D., and et al. "Characterization of anion-cationic surfactants modified montmorillonite and its application for removal of methyl orange", Chemical Engineering Journal. 171: 1150-1158, 2011.
- Department, C., and et al. "Adsorption Behavior of Anionic Reactive Dyes on H-type Activated Carbon: Competitive Adsorption and Desorption Studies", Separation Science and Technology. 42: 2195–2220, 2007.
- Dogan, M., and et al. "Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: Kinetics, mechanism and activation parameters", Journal of Hazardous Materials. 164: 172-181, 2009.

ເອກສາຣ໌ອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

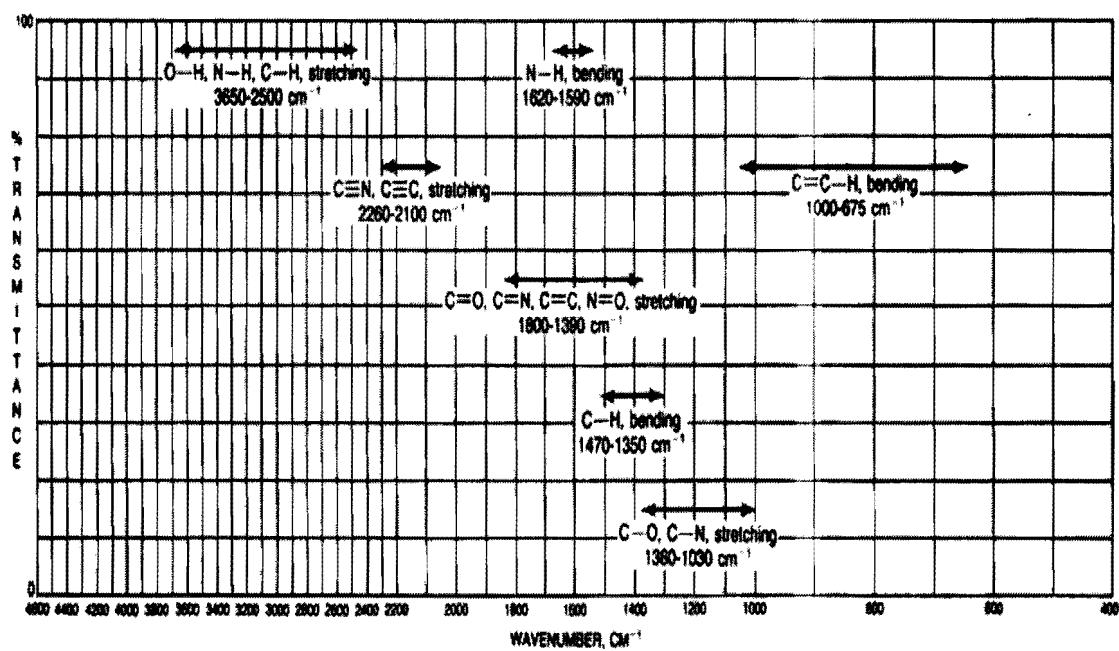
- Mckay, G. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. New York: CRC Press., 1996.
- Petrea F., Anisimov, S. V. and Popovic N. "Congo red and protein aggregation in neurodegenerative diseases", Brain Research Reviews. 53: 135-160, 2007.
- Rafatullah, M., and et al. "Adsorption of Methylene Blue on low-cost adsorbent", Journal of Hazardous Materials. 177: 70-80, 2010.
- Rozada, F and et al. "Dye adsorption by sewage sludge-based activated carbons in batch and fixed-bed systems", Bioresource Technology. 87: 221-230, 2003.
- Singh ,K.P., and et al. "Liquid-brochurse adsorption of phenols using activated carbons derived froagricultural waste material", Journal of Hazardous Materials, 147: 381-394, 2007.
- Solum, M.S., and et al. "Evolution of carbon structure in chemically activared wood", carbon. 33: 1247-1254, 1995.
- Ting, Y. and Aik Chong,L. "Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation ", Microporous and Mesoporous Materials. 63: 113-124, 2003.
- Wang, L. and Wang, A. "Adsorption characteristics of Congo Red onto the chitosan/montmorillo nite nanocomposite", Journal of Hazardous Materials. 147: 979-985, 2007.
- Wang, L., Zhang, J. and Wang, A. "Removal of methylene blue from aqueous solution using chitosan-g-poly (acrylic acid)/montmorillonite superadsorbent nanocomposite", Colloids and Surfaces A: Physicochemcal and Engineering Aspects. 322: 47-53, 2008.
- Yahya, S. and et al. "Effect of solution pH, ionic stengeth, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon", Dyes and Pigments. 77: 16-23, 2008.
- Yang , T., and et al. "Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation", Microporous and Mesoporous Materials. 63: 113–124 ,2003.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ตัวฤดูดซับ**



ภาพที่ ก.1 ໄອ ใช้เทคนิคการคุณภาพชั้บและคายซับก้าว ในโทรศัพท์มือถือที่ได้รับจากชานอ้อย
ด้วยเครื่อง Automatic Surface Analyzer วิเคราะห์ด้วย BET-method

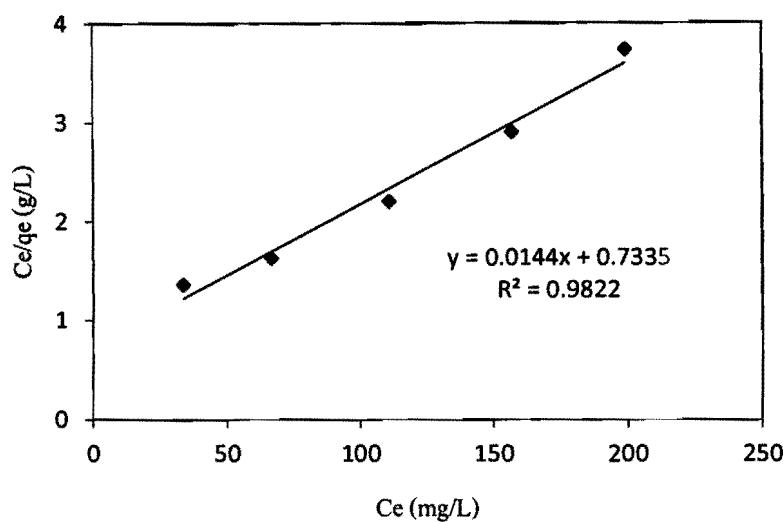


ภาพที่ ก.2 ความถี่ของการคุณภาพชั้บสีอินฟราเรดของหมูพิงก์ชันที่สามัญบางชนิด (ธีรบุษ พิไลวัลย์
และวรรณ พันธุ์วนิวัฒน์, 2548)

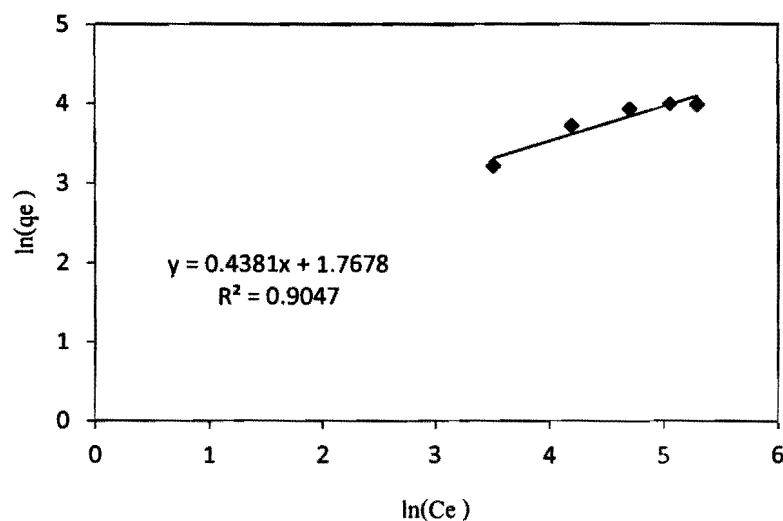
ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์จุดไอโซอิเลคทริกของตัวคุณภาพ

ลำดับที่	ชนิดตัวคุณภาพ	จุดไอโซอิเลคทริก (pI)
1	ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย	7.04

ภาคผนวก ข
ผลการศึกษาสมดุลการคุณชั้นแบบกะ



ภาพที่ น.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir จากสารละลายน้ำ RBS5 โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยชับ ปริมาณ 0.1 g อุณหภูมิในการดูดซับ 25 °C และ pH₀ = 7 ± 0.5



ภาพที่ น.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Frumkin จากสารละลายน้ำ RBS5 โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย ปริมาณ 0.1 g อุณหภูมิในการดูดซับ 25 °C และ pH₀ = 7 ± 0.5

ตารางที่ ข.1 ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (q_e) ของสีข้อม RB5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน

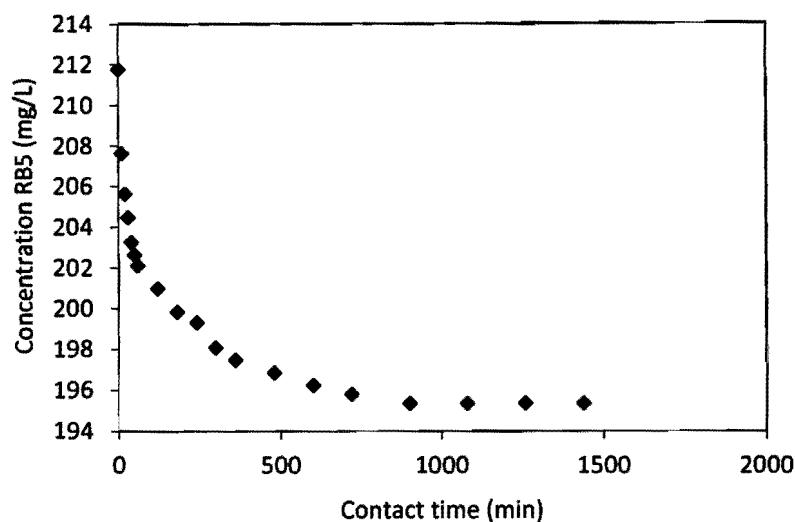
ชุดควบคุม					ชุดการทดสอบ				
ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (mg/g) ที่ C_0 (mg/L) แตกต่างกัน					ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (mg/g) ที่ C_0 (mg/L) แตกต่างกัน				
50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
0	0	3.2	0	1	24.82	41.05	50.52	54.12	53.42

หมายเหตุ ปริมาณการดูดซับก่อนการดูดซับมีค่าเท่ากับ 0 mg/g

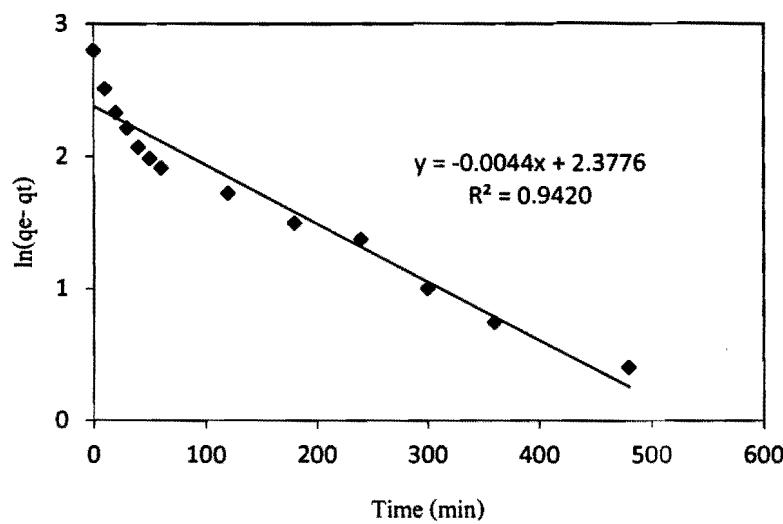
ตารางที่ ข.2 ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (q_e) ของสีข้อม RB5 ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นแตกต่างกัน

ชนิดสีข้อม		ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (mg/g) ที่พีเอชแตกต่างกัน				
		2	4	6	8	10
RB5	ชุดควบคุม	2.1	1.11	0	0.45	4.23
	ชุดการทดสอบ	37.63	39.47	44.82	45.17	49.29

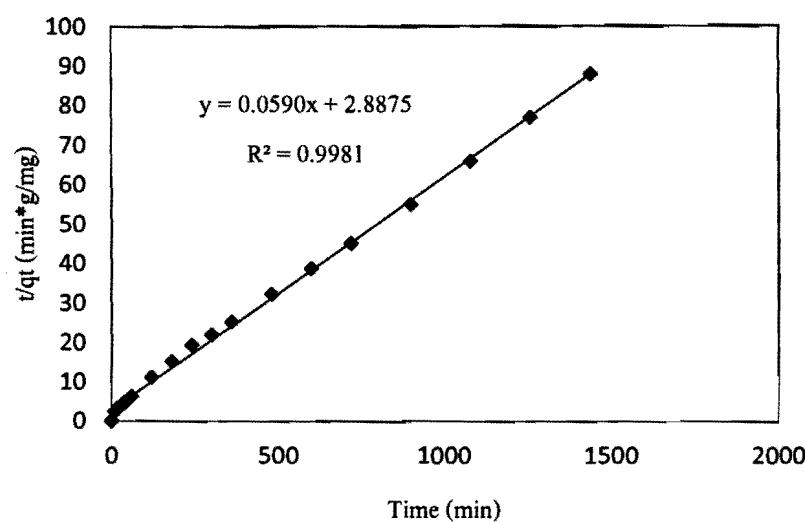
หมายเหตุ : ปริมาณการดูดซับก่อนการดูดซับมีค่าเท่ากับ 0 mg/g



ภาพที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำ RB5 กับเวลาสัมผัส ที่ $C_0 = 211.75 \text{ mg/L}$ โดยใช้ตัวคูดซับถ่านกัมน์ต์จาก chan อ้อย ปริมาณ 0.1 g และ $\text{pH}_0 = 7 \pm 0.5$



ภาพที่ ข.4 แบบจำลองอัตราการคูดซับถ่านกัมน์ต์หนึ่งเที่ยม (Pseudo-first order) ของการคูดซับสีข้อน RB5 ที่ $C_0 = 211.75 \text{ mg/L}$ โดยใช้ตัวคูดถ่านกัมน์ต์จาก chan อ้อย ปริมาณ 0.1 g
 $\text{pH}_0 = 7 \pm 0.5$

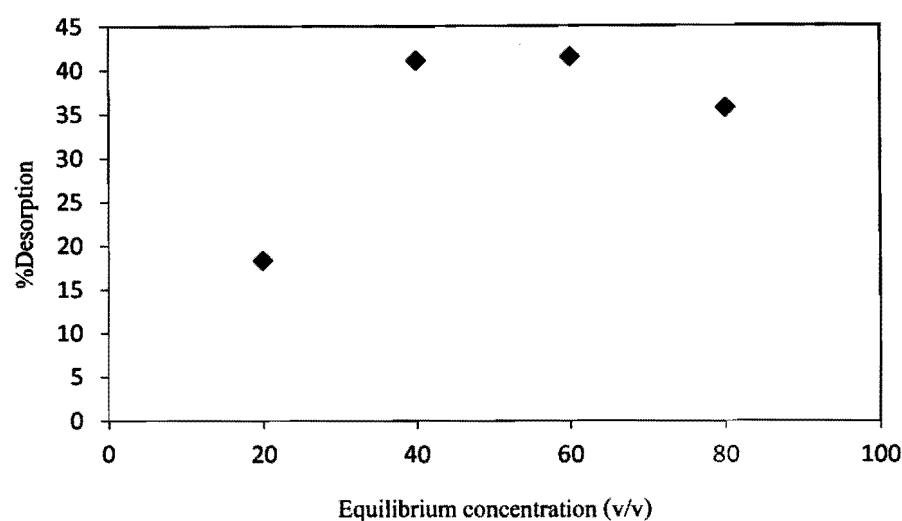


ภาพที่ บ.5 แบบจำลองอัตราการดูดซับขันคันสองเที่ยน (Pseudo-second order) ของการดูดซับสีเขียว RB5 ที่ $C_0 = 211.75 \text{ mg/L}$ โดยใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยชัน ปริมาณ 0.1 g
 $\text{pH}_0 = 7 \pm 0.5$

ตารางที่ ข.3 ปริมาณการคุณซับที่เวลาใด ๆ ของสีข้อม RB5

เวลา (นาที)	ชุดควบคุม	ชุดการทดลอง
	ปริมาณการคุณซับ (mg/g) ที่แตกต่างกันต่อเวลา	ปริมาณการคุณซับ (mg/g) ที่แตกต่างกันต่อเวลา
0	0	0
10	1.25	4.12
20	2.42	6.14
30	0	7.28
40	2.62	8.5
50	2.45	9.12
60	2.27	9.64
120	0	10.78
180	4.48	11.92
240	0	12.45
300	0	13.68
360	2.22	14.29
480	0	14.91
600	2.24	15.52
720	0	15.96
900	2.25	16.4
1080	2.14	16.4
1260	0	16.4
1440	1.25	16.4

**ภาคผนวก ค
ผลการศึกษาการค้ายั่น**



ภาพที่ C.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การคาย และ ความเข้มข้นของอะซิโตไนไตรอีด ของการของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ C.1 เปอร์เซ็นต์การคายชั้บที่สมดุล (q_e) ของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของ Acetonitrile (v/v)	ความเข้มข้นของการคายชั้บ (mg/l)	ปริมาณการคายชั้บที่สมดุล (mg/g)	ปริมาณการดูดซับที่สมดุล (mg/g)	Desorption (%)
20	3.59	3.59	19.68	18.27
40	8.07	8.07	19.68	40.99
60	8.15	8.15	19.68	41.44
80	7.01	7.01	19.68	35.65

ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์

**พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟเบนซีค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก
ชานอ้อย**

**Adsorption Behavior of Reactive Black 5 Dye on Activated Carbon
Prepared from Sugarcane Bagasse**

จักรกฤษณ์ อัมพุช^{1,2} บุญส่ง จุหารัตน์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Chakkrit Umpuch^{1,2} Boonsong Jutarat¹

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,
Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

²National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management, Ubonratchathani
University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190
Tel : 045-353343 E-mail: enhakum@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟเบนซีค 5 การดูดซับแบบขั้นเดียวสูงสุดบนตัวดูดซับ เท่ากับบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยโดยการกระตุ้น 69.44 มิลลิกรัมต่อกรัม และส่วนสุดท้าย การศึกษาทางเคมีด้วยสารโพแทสเซียมไออกอเรียม ภารทคลอง อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ พบว่า ปริมาณการแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ดูดซับเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แสดงว่า ได้แก่ เวลาในการสัมผัส ค่าพีเอชเริ่มต้น ความเข้มข้น กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการดูดความร้อน จากเริ่มต้นของสีย้อม และอุณหภูมิ ส่วนแรก การศึกษา ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่อิทธิพลของเวลาในการสัมผัส พบว่า อัตราการดูดซับ เตรียมจากชานอ้อยเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก และว้าสู่ การดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟเบนซีค 5 ภายใน 10 ชั่วโมง ข้อมูลการดูดซับ

สอดคล้องกับไมเคลด จนพลศาสตร์อันดับสองเทียบ **Abstract**

ส่วนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อการดูดซับ พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเริ่มต้น ส่วนที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้น พบว่า ผลการทดลองมีความ

This work studied adsorption of reactive black 5 dye on an activated carbon prepared from sugarcane bagasse which was chemically activated by potassium hydroxide. Experiment was divided into 4 parts

according to adsorption affecting factor including มีทัศนียภาพที่ไม่สวยงาม เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากสี contact time, initial solution pH, initial dye ข้อมูลที่ปัจจุบันจะไปปิกกันการส่องผ่านของแสงแคลคสูร concentration and temperature. Firstly, the effect of แหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ contact time on the dye uptake was studied. It was ดังนั้น สีข้อมูลนี้จึงเป็นต้องยกกำจัดก่อนปล่อยสู่ found that the adsorption rate was rapid in first 10 แหล่งรองรับทางธรรมชาติ

minute and then attained equilibrium at 10 hour.

Kinetic data follows the pseudo-second-order model.

Secondly, the effect of initial solution pH was investigated. It was observed that the dye uptake slightly increased with the pH. Thirdly, the effect of initial dye concentration was performed. The experimental result was in accordance with Langmuir isotherm and the maximum monolayer adsorption capacity obtained was 69.44 mg/g. Finally, the effect of temperature on the adsorption was investigated. The adsorption capacity increases with temperature indicating endothermic process. From the results above showing that the activated carbon prepared from sugarcane bagasse is effective for adsorption of reactive black 5 dye.

เนื่องจากสีแอ็คทีฟเบล็ค 5 ละลายน้ำได้ดีและมี

โครงสร้างไม่เล็กที่ชั้นข้อมูลของขากต่อการนำบัดดี้วาย

วิธีการแบบดั้งเดิม เช่น การใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(Oxidation) และการย้อมสีทางชีวภาพที่ใช้

ออกซิเจน (Aerobic biodegradation) [3] วิธีการนำบัดดี้

น้ำเสียที่ปัจจุบันสำคัญในการป้องกันสิ่งแวดล้อม

ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ

ทางเคมี และทางชีวภาพ [4] แม้ว่ากระบวนการทางเคมี

และทางชีวภาพจะสามารถกำจัดสีข้อมูลได้ดี แต่วิธีการ

เหล่านี้ต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ ก่อนข้างซับซ้อน และต้อง

ใช้พลังงานสูง นอกจากนี้ยังสร้างสารพิษอีกด้วย

ปริมาณมากออกมาน้ำ [4] กระบวนการทางกายภาพ

เช่น กระบวนการดูดซับ กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ

และการกรองผ่านแผ่นเยื่อบาง เป็นกระบวนการที่มี

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมูลที่ย้อมอย่าง

ชีวภาพในสภาพแวดล้อมที่ทึบไว้ ตัวดูดซับที่นิยม

Keywords: สีแอ็คทีฟเบล็ค 5 การดูดซับ ชานอ้อย ถ่านกัมมันต์ โพแทสเซียมไนโตรอเมโซ่

นำมาใช้ในการดูดซับสีข้อมูลที่ปัจจุบันในน้ำเสีย ได้แก่

ถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถเตรียมได้จากวัสดุธรรมชาติ

เช่น ของเสียทางการเกษตร ชานอ้อย ชิวมวล ไม้

ยางพารา กระดาษ เปลือกผลไม้ และกาภราแฟ เป็นต้น

1 บทนำ

สีแอ็คทีฟเบล็ค 5 เป็นสีข้อมูลเคมีสังเคราะห์ชนิด [5-9]

หนึ่งที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ ของประเทศไทย เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมฟอกย้อม และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น เนื่องจากสีแอ็คทีฟเบล็ค 5 มีคุณสมบัติคงทนนาน [1, 2] สี รีแอ็ค-ทีฟเบล็ค 5 มีโครงสร้างที่ชั้นข้อมูลประกอนไปด้วยหมู่อะโนมาริกที่เชื่อมต่อ กันด้วยพันธะอะโซ (-N=N-) อย่างไรก็ตาม สีข้อมูลนี้เมื่อปัจจุบันแล้วน้ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับสีข้อมูลด้วยถ่าน

กัมมันต์จะศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูด

ซับ ได้แก่ (1) ขนาดผลิตภัณฑ์การดูดซับ เพื่อศึกษาเวลา

ที่เข้าสู่สมดุล และทำงานยกเว้นการดูดซับโดยนำข้อมูล

ผลการทดลองมาพิสูจน์โดยใช้จลนพลาสต์

เช่น สมการอัตราอันดับหนึ่งเทียน (Pseudo-first order)

สมการอัตราอันดับสองเทียน (Pseudo-second order)

และสมการการแพร่เข้าสู่รูพุน (Intraparticle diffusion model) [10] ผลการทดลองการดูดซับสีข้อมูลด้วยถ่าน

กัมมันต์ส่วนใหญ่จะสอดคล้องกับสมการอันดับสอง เที่ยวน เช่น การคุณซับสีรีแอ็คทิพเรคด้วยค่ากัมมันต์ที่ เที่ยวนจากชานอ้อยเป็นดัน [11] (2) การศึกษาอิทธิพลที่ มีผลต่อการคุณซับ ได้แก่ เวลาในการสัมผัส ความ เชื้นชื้นเริ่มต้น ค่าพีอีชรีนดัน ปริมาณตัวคุณซับ และ อุณหภูมิ เป็นดัน (3) ไอโซเทอมการคุณซับ โดยทั่วไป ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองจะถูกนำมาเพื่อตัดกัน สมการ ไอโซเทอมเพื่อท่านายพุติกรณ์ในการคุณซับ ไอโซเทอมที่นิยมนามาศึกษา ได้แก่ ไอโซเทอมการคุณซับแบบแลงเมียร์ และ ไอโซเทอมการคุณซับแบบฟรุนเดิช เป็นดัน [12]

เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยเป็นจำนวนมาก ทำให้มีชานอ้อยเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ชานอ้อยเหล่านี้สามารถนำมาแปรรูปเป็นค่ากัมมันต์ซึ่งเป็น วัสดุที่มีรูปทรงสูง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับ ชานอ้อยที่มีปริมาณมากในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัย นี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการคุณซับสีรีแอ็คทิพเบล็ค 5 จากน้ำสี สังเคราะห์โดยใช้ค่ากัมมันต์ที่เที่ยวนจากชานอ้อย โดย ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณซับ ได้แก่ เวลาสัมผัส ค่าพีอีชรีนดัน ความเชื้นชื้นเริ่มต้น และอุณหภูมิ รวมทั้ง ศึกษาผลกระทบศาสตร์และไอโซเทอมการคุณซับด้วย

2 ระเบียบวิธีวิจัย

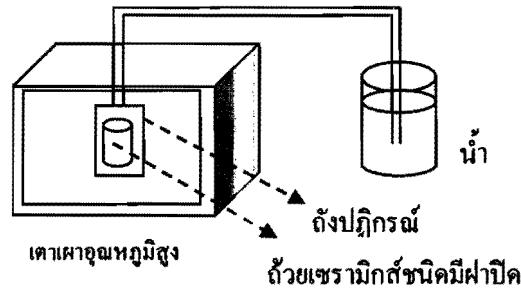
2.1 การเตรียมค่ากัมมันต์

วัตถุคิดที่ใช้ในการเตรียมค่ากัมมันต์คือ ชานอ้อย จากอุปกรณ์วินชาร์น จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งจะถูกนำมาล้างทำความสะอาดแล้วอบไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

หลังจากนั้น ชานอ้อยจะถูกนำมาเผาให้เป็นค่า กายได้สภาวะ ไร้อากาศที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายในถังปฏิกัด ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นภายในถังปฏิกัด

ค่ากัมมันต์ที่ได้จะถูกนำมากรองด้วยวิธี ทางเคมี (Chemical activation) โดยนำค่าที่ได้ไปทดสอบ กับสาร KOH (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ในอัตราส่วน

ค่ากันต่อสาร KOH เท่ากับ 1:3 โดยนำหักแล้วนำไปเผาภายใต้สภาวะ ไร้อากาศภายในถังปฏิกัดอีกครั้งที่ อุณหภูมิ 780 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นภายในถังปฏิกัด หลังจากนั้น นำค่ากัมมันต์ที่ได้ไปถังด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 20 % โดยปริมาตรเพื่อกำจัดสาร KOH ที่ตกค้างอยู่บนค่ากัมมันต์ แล้วล้างด้วยน้ำก่อนนำค่ากันน้ำสีสังเคราะห์ที่ได้จากน้ำที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการบดให้เป็นผง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh บรรจุค่ากัมมันต์ที่ได้ไว้ในถุงพลาสติกและเก็บรักษาไว้ในถุงความชื้น



รูปที่ 1 ถังปฏิกัดในการเตรียมค่ากัมมันต์

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวคุณซับ

นำค่ากัมมันต์ที่เที่ยวนจากชานอ้อยมาวิเคราะห์ ปริมาณการคุณซับและค่าขับก๊าซในไตรเจนที่อุณหภูมิ

77 K โดยใช้เครื่อง Micrometrics ASAP2010 apparatus เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ พื้นที่ผิวภายนอกพื้นที่ ผิวของรูปทรงขนาดเล็ก ปริมาตรรวมของ รูปทรง ปริมาตรของรูปทรงขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อย กว่า 2 nm) ปริมาตรของรูปทรงขนาดกลาง (เส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2 – 50 nm) และวิเคราะห์ขนาดเส้น ผ่าศูนย์กลางของรูปทรงเฉลี่ย คุณสมบัติทางเคมีที่ พื้นผิวของตัวคุณซับจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR-spectroscopy ค่ากัมมันต์ถูกนำมาศึกษาลักษณะ

ตัวผิวในตัวคุณซับของจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องการดู (Scanning Electron Microscope, SEM) นอกจากนี้ การหาค่า pH_{pc} หรือค่าพีอีชาที่ทำให้พื้นผิวของตัวคุณซับมี

ประจุเป็นกลางทางไฟฟ้า ทำการศึกษาโดยเครื่องต่อน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างสารละลายน้ำ NaCl 0.01 M ปริมาตร 100 mL ในขวดรูปทรงพุก 250 mL แล้วทำการปรับค่า pH เช่นเดียวกันน้ำสารละลายน้ำ NaOH และ/หรือ 0.1N HCl ให้อยู่ในช่วง 2.0 – 10.0 ปิดปากขวดด้วยฟอยล์แล้วเขย่า

ที่ความเร็วอุ่น 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดค่าพื้นที่ของสารละลาย

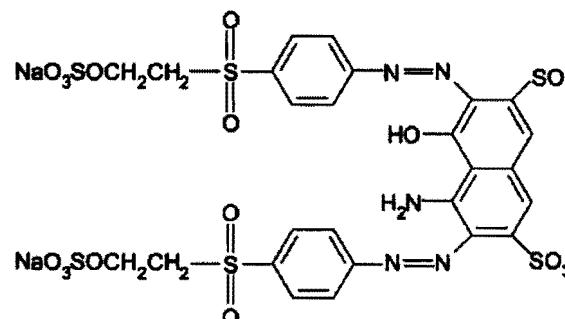
การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอช เริ่มต้นของสารละลาย ทำการทดลองเหมือนกับการทดลองส่วนแรก แต่ทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมในช่วง 2 – 10 แล้วทำการเขย่าเป็น

2.3 การเตรียมสารละลายตีบีบอม

สีรีเอ็กทีพเบนดิค 5 ขึ้ห้อ Asia Pacific Specialty มี เวลา 24 ชั่วโมง
 สูตรโมเลกุลเป็น $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$ มีน้ำหนักโมเลกุล
 เท่ากับ 991.82 g/mol [13] ความยาวคลื่นที่คุณซึมแสงญี่ปุ่น
 ถุงสุด (λ_{max}) เท่ากับ 588 nm โครงสร้างโมเลกุลของสี
 รีเอ็กทีพเบนดิค 5 แสดงไว้ในรูปที่ 2 สารละลายสต็อก
 (Stock solution) เข้มข้น 1000 mg/L จะถูกเตรียมโดยทำ
 การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของความ
 เข้มข้นเริ่มต้น ทำการทดลองเหมือนกับการทดลองส่วน
 แรก แต่ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเริ่มต้นของสี
 ข้อมูลในช่วง 50 – 300 mg/L และทำการเขียนเป็นเวลา
 24 ชั่วโมง

การละลายสีรีเอ็คทิพแบล็ค 5 จำนวน 1 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร หลังจากนั้นทำการเตรียมสารละลายสีข้อมูลความเข้มข้นต่าง ๆ ตามต้องการ โดยวิธีการเจือจาง

การทดลองส่วนสุดท้าย การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการคุณชัน ทำการทดลองเหมือนกับการทดลองส่วนแรกแต่ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง $30 - 60^{\circ}\text{C}$ ทำการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (1)$$

$$\%removal = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

รูปที่ 2 โครงสร้างไม้เลกุลของสีรีเอ็คทีพแบล็ค 5 [13]

โดย C_0 คือความเข้มข้นของสีข้อมเริ่มต้น (mg/L) C_t คือ ความเข้มข้นของสีข้อมที่เวลา t นาที C คือ ความเข้มข้น

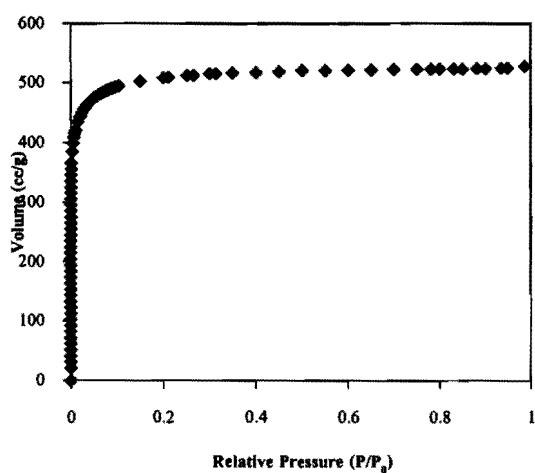
2.4 การทดสอบการคุณภาพแบบง่าย

การคุกเข้าแบบกะเบงออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาอิทธิพลของเวลาในการสัมผัส นำสารละลายน้ำซึ่งมีความเข้มข้น 200 mg/L ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาเติมลงในภาชนะปูชมน้ำ 250 มิลลิลิตร เติมค่าน้ำมันต์ลงไว้จำนวน 0.1 กรัม ปิดปากภาชนะปูชมน้ำด้วยกระดาษฟอยล์ เบ่าที่ความเร็วอบ 200 รอน

3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติตัวคุณชัน

รูปที่ 3 แสดงไอโซเทอมการคุณชันและคายชัน ก้าช์ในไตรเจนของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่อุณหภูมิ 77 K พบร่ว่า เส้นกราฟไอโซเทอมมีลักษณะเป็นแบบ Type I โดยจำแนกตามระบบของ IUPAC [14] ซึ่งหมาย ได้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ประกอบด้วยรูพูนขนาดเล็ก และเป็นการคุณชันแบบขั้นเดียว



รูปที่ 3 ไอโซเทอมการคุณชันและคายชันก้าช์ในไตรเจน ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ เตรียมจากชานอ้อย

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
พื้นที่ผิวจำเพาะ ^a (m^2/g)	1675
พื้นที่ผิวภายใน ^b (m^2/g)	300
พื้นที่ผิวภายในรูพูนขนาดเล็ก ^c (m^2/g)	1375
ปริมาตรรวมของรูพูน ^d (cm^3/g)	0.82
ปริมาตรของรูพูนขนาดเล็ก ^e (cm^3/g)	0.65
ปริมาตรของรูพูนขนาดกลาง ^f (cm^3/g)	0.13
เส้นผ่าศูนย์กลางรูพูนเฉลี่ย ^g (nm)	2.7

หมายเหตุ

a ค่าวนวพจากการของ BET [15]

b,c ค่าวนวพจาก t-plot [15]

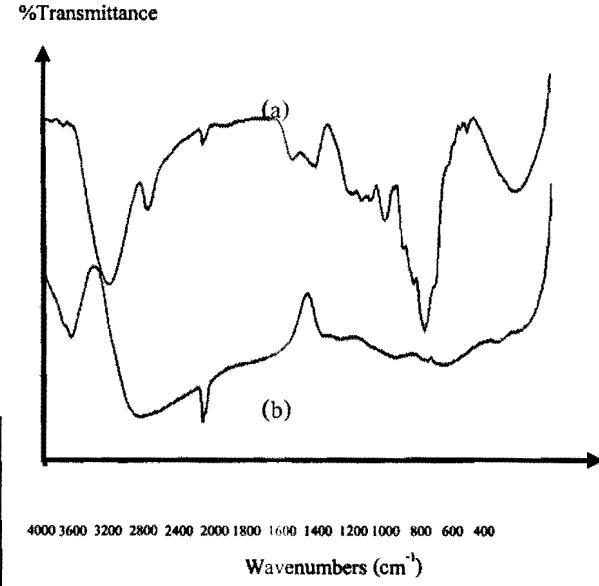
d ค่าวนวพจากการคุณชันในไตรเจนที่ $P/P_0 = 0.95$ [16]

e ค่าวนวพตามวิธีของ Dubinin-Radushkevich [17]

f ค่าวนวพจากการคุณชันในไตรเจนที่ P/P_0 ระหว่าง 0.40-0.95 โดยสมมติให้ปริมาตรของโมลของไนโตรเจนหน่วยเป็น $35 \text{ cm}^3/\text{mol}$ [18]

g ค่าวนวพตามวิธีของ Barrett-Joyner-Halenda (BJH) [15]

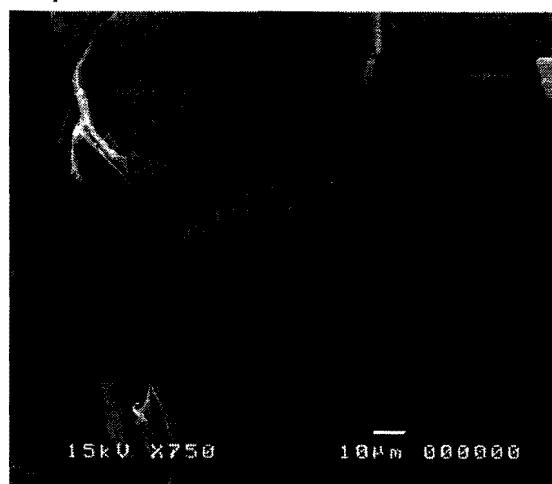
คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบร่ว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยเป็นวัสดุที่มี พื้นที่ผิวจำเพาะสูง ($1675 \text{ m}^2/\text{g}$) เป็นวัสดุที่มีรูพูนโดย พิจารณาจากปริมาตรรวมของรูพูนเท่ากับ $0.82 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาตรของรูพูนขนาดเล็ก เท่ากับ $0.79 \text{ cm}^3/\text{g}$ และปริมาตรของรูพูนขนาดกลาง เท่ากับ $0.13 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีรูพูน ขนาดเล็กเป็นองค์ประกอบหลัก และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพูนเฉลี่ย เท่ากับ 2.74 nm



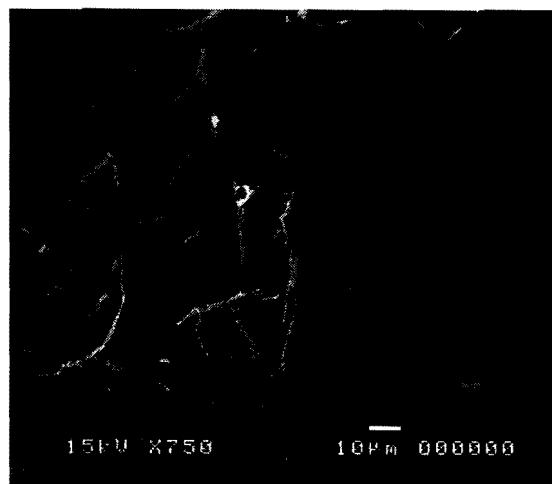
รูปที่ 4 Fourier Transforms infrared spectra (a) ชานอ้อย
(b) ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย

รูปที่ 4a แสดง IR-spectra ของชานอ้อย พบร่ว่า IR-spectra ของชานอ้อยมีพื้นเป็นจำนวนมาก บ่งบอกว่า พื้นผิวของชานอ้อยมีหมู่ฟังก์ชันอลอญี่เป็นจำนวนมาก

ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิลของน้ำที่อยู่บนชานอ้อย ที่ ถ่านใช้ความร้อนสูงและสารเคมี ซึ่งทำให้หมู่ฟังก์ชัน vibration band ในช่วง 3700-3300 cm⁻¹ (O-H 伸缩振动) หายไป ได้แก่ การหายไปของช่วง vibration stretching vibration) หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-H ที่ 2932 cm⁻¹ (C-H stretching vibration) และ 1727 cm⁻¹ (C=O stretching vibrations) หรือ C≡N ที่ 2363 cm⁻¹ หมู่คาร์บอนซิลิกที่ 1727 cm⁻¹ และ 1606 cm⁻¹ (C=O stretching vibrations) คือ C≡C หรือ C≡N ที่ 2363 cm⁻¹ หมู่คาร์บอนซิลิกที่ 1727 cm⁻¹ แสดงให้เห็นว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงสามารถกำจัดน้ำ 1327 cm⁻¹ (C-H rocking) และ ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-H ที่ 1000-1257 cm⁻¹ (C-O stretching vibrations) หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C=O ที่ 1000-1257 cm⁻¹ (C-O stretching vibrations) ขณะที่รูปที่ 4b แสดง IR-spectra ของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย ซึ่งมีจำนวนพื้นที่มากกว่า รูปที่ 4a แสดง IR-spectra ของชานอ้อย เนื่องจากขั้นตอนการเตรียม



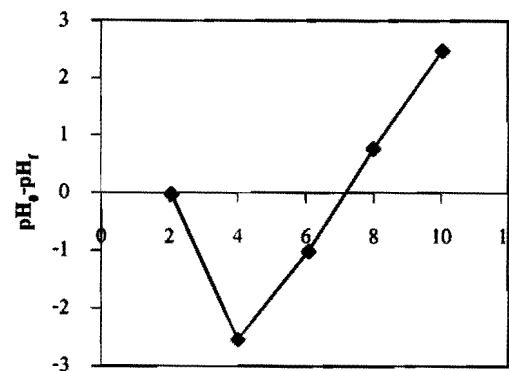
(a)



(b)

รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของ (a) ชานอ้อย และ (b) ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย

และหมู่การบอนด์ได้ เป็นต้น หมู่ฟังก์ชันที่เหลือบนฟังก์ชันที่มีพันธะ C-H ที่ 2998 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C≡C หรือ C≡N ที่ 2361 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชันที่มีพันธะ C-C ที่ 955 cm⁻¹ และ 673 cm⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้ปรากฏ vibration band ใหม่ในถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่ 3703 cm⁻¹ ซึ่งเป็น vibration band ของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลใหม่ ที่เป็นผลมาจากการกระตุ้นด้วยสาร KOH ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลนี้สามารถเกิดพันธะไฮdrogen ได้ และอาจส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสิ่งอ้อมเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของชานอ้อย (รูปที่ 5a) และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย (รูปที่ 5b) พบว่า พื้นผิวของชานอ้อยมีลักษณะเรียบและไม่มีรูพรุนปราฏอยู่ ขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยมีรูพรุนที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันอยู่บนพื้นผิว ซึ่งสถาณศักดิ์ของกับผลการวิเคราะห์ขนาด รูพรุนเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี BET

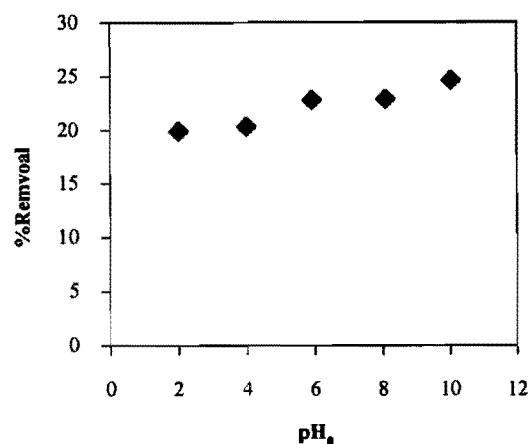


รูปที่ 6 ค่า pH_{pzc} ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย

รูปที่ 6 แสดงความค่า pH_{pzc} ของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยที่ค่า pH_{pzc} เท่ากับ 7.0 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอำนาจเป็นประจุบวก เมื่อค่า pH_{pzc} ต่ำกว่า 7.0 และพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอำนาจเป็นประจุลบ เมื่อค่า pH_{pzc} สูงกว่า 7.0

3.2 อิทธิพลของค่าพีโซร์เริ่มน้ำ

รูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสารละลายน้ำต่อการดูดซับ พบร่วมกับการดำเนินการกำจัดสีข้อนไม้เข้มกับค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสารละลาย โดยทั่วไปสีรีแอ็คทีพเป็นสีข้อมที่มีประจุลบจะถูกดูดซึมพื้นผิว ถ่านกัมมันต์ด้วยแรงดึงดูดเนื้อเยื่าที่เป็นแรงดึงดูดเนื้อเยื่าชนิดอ่อน (weak interaction) และแรงดึงดูดเนื้อเยื่าชนิดที่แข็งแรง (strong interaction) แรงดึงดูดเนื้อเยื่าที่อ่อน ได้แก่ แรง van der Waals ขณะที่แรงดึงดูดเนื้อเยื่าที่แข็งแรงประกอบไปด้วย 1) แรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic interaction) เป็นแรงดึงดูดเนื้อเยื่าว่าประจุลบของสีข้อม (ประจุลบของหมู่ SO_4^-) และประจุบวกบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (เช่น ประจุบวกของหมู่อะมิน [3]) 2) พันธะไฮdroเจน ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างอะตอนของออกซิเจนและในトイเจนที่อยู่ในหมู่พังก์ชันของสีข้อมและถ่านกัมมันต์ (3) แรงดึงดูดเนื้อเยื่าว่าไม่เลกฤตที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-Hydrophobic interaction) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสีข้อมและส่วนที่ไม่ชอบน้ำของถ่านกัมมันต์หรือแรงดึงดูดเนื้อเยื่าว่าไม่ชอบน้ำของอะตอนของคาร์บอน [3]



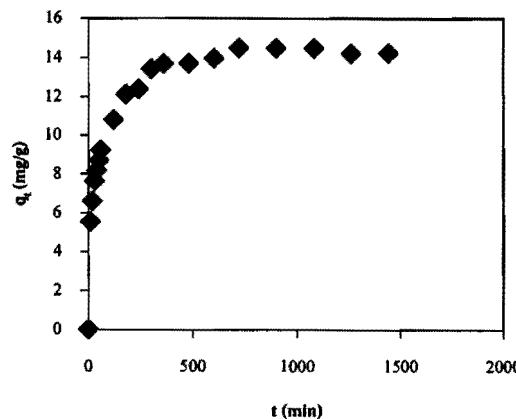
รูปที่ 7 อิทธิพลของค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสารละลายน้ำต่อการดูดซับสีรีแอ็คทีพแบบลีก 5 บนถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย (C_0 : 200 mg/L, 200 rpm และเวลา 24 hr)

จากการทดลอง พบร่วมกับค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสารละลาย ได้แก่ 2.02 3.99 5.92 8.09 และ 10.03 ค่าพีโซร์เริ่มน้ำที่สภาวะสนคุณลักษณะการดูดซับ 2.03 4.00 5.99 8.02 และ 9.98 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีโซร์เริ่มน้ำ ตามที่คาดการณ์ไว้ ค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสีข้อมน้ำมีค่าต่ำกว่าค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสีรีแอ็คทีพมาก เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีข้อมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก (จาก 19.7% ไปเป็น 24.58%) เมื่อค่าพีโซร์เริ่มน้ำของสารละลายน้ำเพิ่มขึ้นจาก 2.0 ถึง 10.0 (<5%) การเพิ่มหรือลดปริมาณของประจุบวกและประจุลบในสารละลายน้ำส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยน้อยมาก จึงกล่าวได้ว่า “แรงดึงดูดเนื้อเยื่าว่าไม่ชอบน้ำ ของไมเลกฤตที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-hydrophobic interaction)” เป็นแรงดึงดูดเนื้อเยื่าหลักที่มีความสำคัญมากกว่าแรงดึงดูดเนื้อเยื่าชนิดอื่น ๆ

3.3 อิทธิพลของเวลาสัมผัส

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อปริมาณการดูดซับสีรีแอ็คทีพแบบลีก 5 ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย พบร่วมกับปริมาณการดูดซับเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาที แรก หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของ

ปริมาณการคุกชับจะเริ่มช้าลง และเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณการคุกชับในช่วง 10นาทีแรก เนื่องจากพื้นผิวภายนอกของถ่าน กัมมันต์เร็นเดินไม่มีสีข้มยึดเกาะอยู่ จึงสามารถหลุดล่อนอก กับสีข้อมที่พื้นผิวภายนอกของถ่านได้ง่ายและรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง พื้นที่พื้นผิวภายนอกของถ่าน กัมมันต์ถูกปกคลุมไปด้วยสีข้อมจนเต็มแล้ว ไม่เหลือของสีข้อมซึ่งแพร่เข้าไปยังพื้นผิวภายนอก ของถ่านชั่วชิงเกิดขึ้นช้ากว่า 2 ขั้นตอนแรกข้างต้น ทำให้อัตราการคุกชับลดลง [19]



รูปที่ 8 อิทธิพลของเวลาในการสัมผัสต่อการคุกชับสีรี แอ็คทีพเบลดีค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก ชานอ้อย (C_0 : 200 mg/L, 200 rpm และ pH 6.0±1)

3.4 ผลพลศาสตร์การคุกชับ

เพื่อศึกษาลักษณะการคุกชับของสีรี แอ็คทีพเบลดีค 5 บนถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองจะถูกนำมาพิจารณา ที่ 6 สมการจอนพลศาสตร์ขั้นตับหนึ่งเทียน (Pseudo-first order model) สมการจอนพลศาสตร์ขั้นตับสองเทียน (Pseudo-second order model) และสมการการแพร่เข้าสู่ รูพน (Intra-particle diffusion model)

แบบจำลองการคุกชับเชิงพลศาสตร์ขั้นตับหนึ่งเทียน เป็นแบบที่ใช้ได้กับกระบวนการคุกชับที่ตัวถ่านเป็นไส้กรอง เช่น ตัวถูกคุกชับจะถ่ายโอนเข้าไปอย่างรวดเร็ว มีความเป็นไปได้ที่ตัวถูกคุกชับจะถ่ายโอนเข้าไปภายในรูพนของตัวถูกชับ เมื่อนำผลการทดลองมาพิจารณาจะพบว่า ตัวถูกคุกชับเป็นไส้กรองที่มีความสามารถในการคุกชับสูง แต่ต้องมีเวลาในการคุกชับที่ยาวนานกว่าตัวอื่นๆ

ที่พื้นผิวของตัวถูกชับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของพื้นผิวของตัวถูกคุกชับที่ว่างจากตัวถูกคุกชับ ถ้าข้อมูลการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองอันดับหนึ่งเทียนแสดงว่าขั้นตอนการซึมผ่านชั้น Boundary layer ที่ห่อหุ้มตัวถูกคุกชับของสีข้อมเป็นขั้นตอนกำหนดอัตรา (Rate of limiting step) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3

$$\frac{dq_e}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

ที่ซึ่ง k_1 (min^{-1}) คือ ค่าคงที่อัตราอันดับหนึ่งของ Lagergren เมื่อจัดรูปของสมการให้เป็นเส้นตรง จะได้

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (4)$$

แบบจำลองการคุกชับเชิงพลศาสตร์ขั้นตับสองเทียน [21] มีสมมติฐานว่า อัตราการคุกชับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของพื้นที่พื้นผิวของตัวถูกคุกชับที่ว่างจากตัวถูกคุกชับ ถ้าข้อมูลการทดลองมีความสอดคล้องกับแบบจำลองอันดับสองเทียนแสดงว่าขั้นตอนการซึมผ่านชั้น Boundary layer ที่ห่อหุ้มตัวถูกคุกชับและพื้นผิวของตัวถูกคุกชับเป็นขั้นตอนกำหนดอัตรา (Rate of limiting step) ซึ่งมีสมการเป็นไปตามสมการที่ 5

$$\frac{dq_e}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

ที่ซึ่ง k_2 ($\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$) คือ ค่าคงที่อัตราอันดับสอง เมื่อจัดรูปของสมการให้เป็นเส้นตรง จะเป็นไปตามสมการที่ 6

$$\frac{t}{q_e} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

เมื่อสารละลายเกิดการผสานกับตัวถูกคุกชับอย่างรวดเร็ว มีความเป็นไปได้ที่ตัวถูกคุกชับจะถ่ายโอนเข้าไปภายในรูพนของตัวถูกชับ เมื่อนำผลการทดลองมาพิจารณาจะพบว่า ตัวถูกคุกชับเป็นไส้กรองที่มีความสามารถในการคุกชับสูง แต่ต้องมีเวลาในการคุกชับที่ยาวนานกว่าตัวอื่นๆ

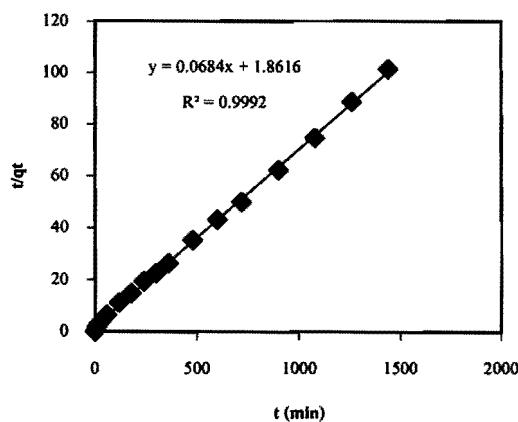
การทดลองสอดคล้องกับแบบจำลองนี้ แสดงว่า ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง ขั้นตอนการแพร่เข้าสู่รูพุนเป็นขั้นตอนกำหนดอัตรา ซึ่งมีความสอดคล้องกับสมการที่ 7

เที่ยง อันดับสองเที่ยง และแบบจำลองการ แพร่เข้าสู่รูพุนของการดูดซับสีรีแอ็คทิพ แบล็ค 5 ด้วยค่ากัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย

$$q_t = k_p t^{1/2} + C \quad (7)$$

ที่ซึ่ง k_p คือ ค่าคงที่ของการเข้าสู่รูพุน ($\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$) และ C คือค่าคงที่ (mg/g) ซึ่งจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับ ความหนาของชั้น Boundary layer

เมื่อนำเข้ามูลการดูดซับเชิงจลนพลศาสตร์มา พล็อตกราฟตามสมการอันดับหนึ่งเที่ยง สมการอันดับสองเที่ยง และสมการการแพร่เข้าสู่รูพุน พบว่า ข้อมูล ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับสมการอันดับสอง เที่ยงมากกว่าสมการจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเที่ยง และสมการการแพร่เข้าสู่รูพุน โดยพิจารณาจากค่า R^2 ในตารางที่ 2



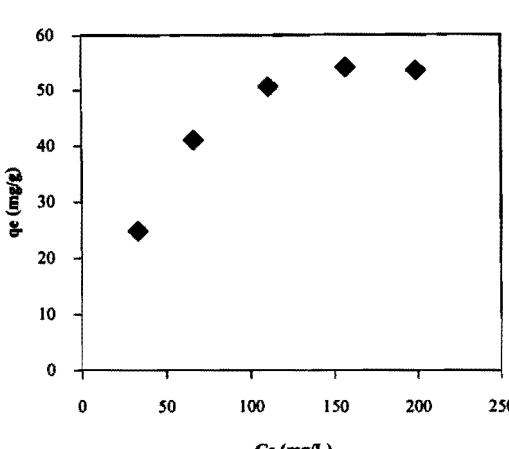
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองเชิงจลนพลศาสตร์ อันดับสองเที่ยงของการดูดซับสีรีแอ็คทิพแบล็ค 5 บนค่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย ($C_0: 200 \text{ mg/L}$, 200 rpm และ $\text{pH } 6.0 \pm 1$)

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
q_e ทดลอง (mg/g)	14.47
สมการอันดับหนึ่งเที่ยง $k_1 (\text{min}^{-1})$	5.27×10^{-3}
q_e คำนวณ (mg/g)	7.99
R^2	0.9230
สมการอันดับสองเที่ยง $k_2 (\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min}))$	2.51×10^{-3}
q_e คำนวณ (mg/g)	14.62
R^2	0.9992
สมการการแพร่เข้าสู่รูพุน $k_p (\text{g}/\text{mg} \cdot \text{min}^{1/2})$	0.290
C (mg/g)	6.05
R^2	0.7297

รูปที่ 9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการพล็อตผล การทดลองกับสมการอันดับสองเที่ยงซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9992 นอกจานี้ค่าคงที่ของตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ (4) สมการที่ (6) และสมการที่ (7) จะถูกคำนวณและ แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งให้เห็นว่า ขั้นตอนการเกิดการขึ้น หนึ่งของสีรีแอ็คทิพแบล็ค 5 บนพื้นผิวของด่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อยเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นช้าที่สุด หรือเป็นขั้นกำหนดอัตรา (rate of limiting step)

3.4 ไอโซเทอมการดูดซับ

อิโซเพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรีกัมมันต์และการ ดูดซับ (ไม่ได้แสดงรูป) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสีรี กัมมันเพิ่มสูงขึ้นปริมาณการดูดซับจะเพิ่มสูงขึ้นตามไป ด้วย จนกระทั่งที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 211 mg/L ปริมาณการดูดซับจะเริ่มงดที่ซึ่งให้เห็นว่า ด่านกัมมันต์ที่ มีน้ำหนัก 0.1 g จะเริ่มอ่อนตัวไปด้วยสีรีแอ็คทิพแบล็ค 5 ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 211 mg/L



รูปที่ 10 ไอโซเทอโนมการดูดซับสีรีเอ็คทิพแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย (C_0 : 50-200 mg/L, 200 rpm และ 24 hr)

เพื่อท่านายพฤติกรรมการดูดซับของสีข้อมูลนี้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ไอโซเทอโนมการดูดซับซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ (q_e) กับความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_e) จะถูกพิสูจน์ดังแสดงว่าค่า R_L ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี (Favorable) ขณะที่ค่า $R_L \geq 1$ หรือ $R_L = 0$ จะชี้ให้เห็นว่าการดูดซับสีข้อมูลเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือเป็นไอโซเทอโนมที่ไม่สามารถกลับไปได้ (irreversible adsorption isotherms) ค่า R_L ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_e) จะถูกพิสูจน์ดังแสดงว่าค่า R_L ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ชี้ชี้ให้เห็นว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี (favorable) นำไปพิสูจน์กับสมการ ไอโซเทอโนมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอโนมแบบฟรุนเดิช (Freundlich isotherm) ไอโซเทอโนมแลงเมียร์ [22] มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปปักลูนพื้นผิวของตัวคุณซับเป็นชั้นๆ (Multilayer) บนพื้นผิวของตัวคุณซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一 นำไปพิสูจน์กับสมการ ไอโซเทอโนมแบบฟรุนเดิช [22] มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปปักลูนพื้นผิวของตัวคุณซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับเกิดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 8

$$q_e = \frac{k_L q_{\max} C_e}{1 + k_L C_e} \quad (8)$$

โดย q_{\max} คือ ปริมาณการดูดซับของตัวถูกคุณซับบนพื้นผิวของตัวคุณซับแบบชั้นเดียวสูงสุด (mg/g) และ k_L คือค่าคงที่ของแลงเมียร์

สำหรับการหาค่าคงที่ในสมการที่ 3 สามารถทำได้โดยการพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e โดยใช้รูปสมการที่ 8 ให้อบุญในรูปเส้นตรงใช้สมการที่ 9

ได้แก่

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_L q_{\max}} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (9)$$

เมื่อหาค่า $1/\text{ความชัน}$ จะได้ค่า q_{\max} และทำการหาค่า k_L จาก $1/\text{จุดตัดแกน } C_e/q_e$ แล้วแทนค่า q_{\max} ที่ได้ นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่มีความสำคัญของไอโซเทอโนมและเมียร์ ได้แก่ ค่าปัจจัยการแยก (Separation factor) ซึ่งแทนค่าของสัญลักษณ์ R_L ซึ่งนิยามในสมการที่

$$R_L = \frac{1}{1 + k_L C_0} \quad (10)$$

ค่า R_L มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี (Favorable) ขณะที่ $R_L \geq 1$ หรือ $R_L = 0$ จะ

ชี้ให้เห็นว่าการดูดซับสีข้อมูลเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือเป็นไอโซเทอโนมที่ไม่สามารถกลับไปได้ (irreversible adsorption isotherms) ค่า R_L ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_e) จะถูกพิสูจน์ดังแสดงว่าค่า R_L ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ชี้ชี้ให้เห็นว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี (favorable)

นำไปพิสูจน์กับสมการ ไอโซเทอโนมแบบฟรุนเดิช [22] มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปปักลูนพื้นผิวของตัวคุณซับเป็นชั้นๆ (Multilayer) บนพื้นผิวของตัวคุณซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一 นำไปพิสูจน์กับสมการ ไอโซเทอโนมฟรุนเดิช [22] มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปปักลูนพื้นผิวของตัวคุณซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับ เนื่องจากพื้นผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一 นำไปพิสูจน์กับสมการ ไอโซเทอโนมแบบฟรุนเดิช [22] มีสมนติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปปักลูนพื้นผิวของตัวคุณซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับ เนื่องจากพื้นผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (11)$$

ค่าคงที่ k_f คือค่าคงที่ของการดูดซับ ($(\text{mg}^{1-1/n} \cdot \text{L}^{1/n})/\text{g}$) ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานพันธะ และ n เป็นค่าคงที่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแรงที่กระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับ ด้วยกันเอง ถ้า $n > 1$ แสดงว่า มีแรงผลักกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับด้วยกันเอง ถ้า $n < 1$ แสดงว่า พื้นผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一 เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous surface) ดังสมการที่

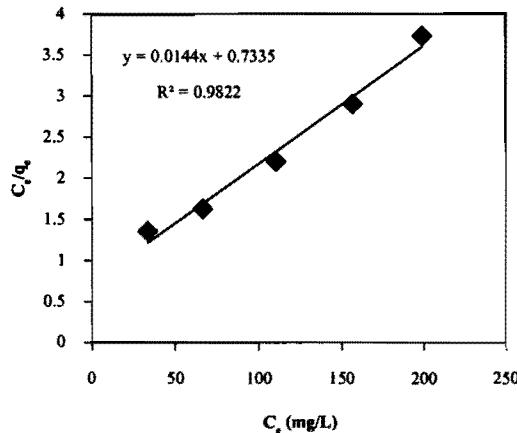
ค่าคงที่ k_f คือค่าคงที่ของการดูดซับ ($(\text{mg}^{1-1/n} \cdot \text{L}^{1/n})/\text{g}$) ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานพันธะ และ n เป็นค่าคงที่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแรงที่กระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับ ด้วยกันเอง ถ้า $n > 1$ แสดงว่า มีแรงผลักกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวถูกคุณซับด้วยกันเอง ถ้า $n < 1$ แสดงว่า พื้นผิวของตัวคุณซับมีความไม่齐一 เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous surface) ดังสมการที่

ค่าคงที่ของไอโซเทอโนมฟรุนเดิช สามารถหาได้โดย การพิสูจน์กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(q_e)$ กับ $\ln(C_e)$ โดยใช้สมการที่ 12 ซึ่งเป็นการจัดรูปสมการที่ 11 ให้อยู่

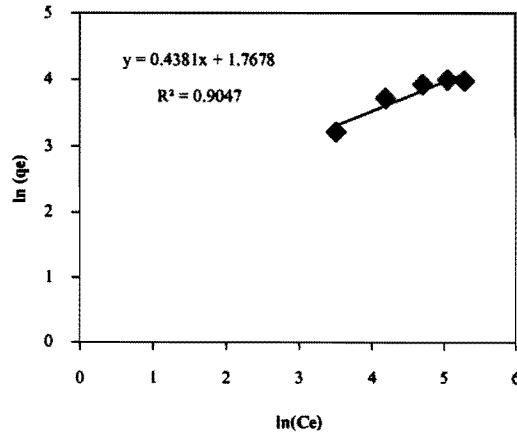
ในรูปสมการเด่นตรง

$$\ln(q_e) = \ln(k_F) + \frac{1}{n} \ln(C_e) \quad (12)$$

เมื่อหาค่า 1/ความชัน จะได้ค่า n และค่าคงที่ k_F หากได้จากค่าเอกซ์โพเนนเชียลของค่าจุดตัดแกน $\ln(q_e)$



รูปที่ 11 ไอโซเทอมการคุณชั้บแบบແລງເມີຣ໌ຂອງການຄຸດ
ຈັບສືບອນຮີເອົ້າກີພແບດີກ 5 ບນດໍານກັນນັນດ
ຈາກຂານອ້ອຍ

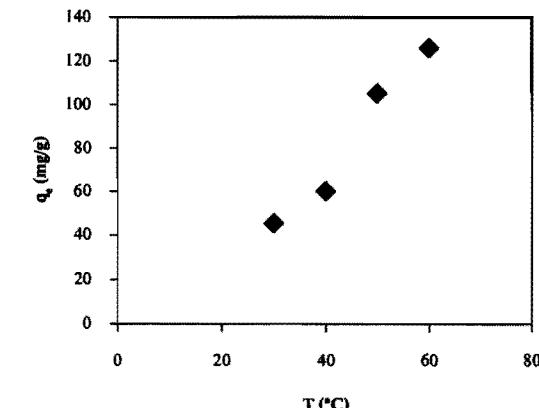


รูปที่ 12 ไอโซເທອນການຄຸດຈັບແບບຝຸນດີຂອງການຄຸດ
ຈັບສືບອນຮີເອົ້າກີພແບດີກ 5 ບນດໍານກັນນັນດ
ຈາກຂານອ້ອຍ

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ไอโซເທອນແບບແລງເມີຣ໌ແລະຝຸນດີຂ
ອງການຄຸດຈັບສືບຮີເອົ້າກີພແບດີກ 5 ດ້ວຍ
ດໍານກັນນັນດທີ່ເຕີມຈາກຂານອ້ອຍ

ຕົວແປ່ງ	ກ່າວຕົວແປ່ງ
ไอโซເທອນແບບແລງເມີຣ໌	
k_L (L/g)	1.96×10^{-2}
q_m (mg/g)	69.44
R_L	2.90×10^{-3} ສິ່ງ 1.24×10^{-2}
R^2	0.9822
ไอโซເທອນແບບຝຸນດີ	
$k_F ((\text{mg}^{1-n}, \text{L}^{1/n})/\text{g})$	5.86
n	2.28
R^2	0.9047

ຮູບທີ 11 ແລະ 12 ແສດງການພລື້ອດຂໍ້ມູນພລກາ
ທົດລອງເຊິ່ງສ່າມຄຸລກັບສ່າມການ ไอโซເທອນແບບແລງເມີຣ໌
ແລະສ່າມການ ไอโซເທອນແບບຝຸນດີ ຕາມລຳດັບ ພບວ່າ
ພດການທົດລອງນີ້ສ່າມສອດດ້ອງກັບ ไอโซເທອນການຄຸດ
ຈັບແບບແລງເມີຣ໌ນຳກົກວ່າ ไอโซເທອນການຄຸດຈັບແບບ
ຝຸນດີ ໂດຍພິຈານາຈັກຄ່າ R^2 ແສດວ່າ ສີຫ້ອນເຂົ້າໄປຢຶດ
ຕືດພິວຂອງດໍານກັນນັນດໃນລັກນະເປັນຊັ້ນເດີວ
(Monolayer) ແລະນີ້ປິນານການຄຸດຈັບແບບຈັ້ນເດີວ
ສູງສຸດ ເທົ່າກັບ 69.44 mg/g



ຮູບທີ 13 ອິທີພລຂອງອຸພໜູນມີຕ່ອງການຄຸດຈັບສືບຮີເອົ້າກີພ
ແບດີກ 5 ບນດໍານກັນນັນດທີ່ເຕີມຈາກຂານອ້ອຍ
(C_0 : 50-200 mg/L, 200 rpm ແລະ 24 hr)

3.5 อิทธิพลของอุณหภูมิ

รูปที่ 13 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการคุณชั้บ สีรีแอ็คทิพเบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาน สังเคราะห์

ร้อย พบร่วง ปริมาณการคุณชั้บเพิ่มขึ้นจาก 45.26 mg/g

ไปเป็น 125.79 mg/g เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 °C ไป กิตติกรรมประภาค

เป็น 60 °C แสดงว่ากระบวนการคุณชั้บเป็นกระบวนการ คุณความร้อน (Endothermic process)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณการคุณชั้บเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผล

ให้ไมเลกูลของสีข้อมสามารถซึมผ่านหรือแพร่เข้าสู่ เอกสารอ้างอิง

พรุนภายในถ่านกัมมันต์มากขึ้น หรือเนื่องจากมีการเกิด

Active site ใหม่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองมีความ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ [23 - 25]

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาน อ้อยเป็นตัวคุณชั้บที่มี

ประสิทธิภาพในการคุณชั้บสีรีแอ็คทิพเบล็ค 5 จากน้ำสี

สังเคราะห์

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาศึกษาเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการ สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการวิจัย

4 สรุป

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาน อ้อยโดยการกรองตื้น ทางเคมีด้วยสาร KOH เป็นตัวคุณชั้บที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ สูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1675 \text{ m}^2/\text{g}$ มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 2.74 nm ซึ่งรูพรุนส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก

ปริมาณการคุณชั้บเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้น เดือนอย ($<5\%$) เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย เพิ่มขึ้น แสดงว่า สีข้อมูกยึดเหนี่ยวบนถ่านกัมมันต์ด้วย แรงขึ้คเห็นที่ชวนนิดที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic-hydrophobic interaction) เป็นแรงขึ้คเห็นที่ยวหลัก

ผลการทดลองเชิงลงพื้นศาสตร์มีความ สอดคล้องกับแบบจำลองการคุณชั้บอันดับสองเทียบ แสดงว่า ขั้นตอนในการสร้างแรงขึ้คเห็นที่ยวบนพื้นผิว ของถ่านกัม- มันต์เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นช้าที่สุด หรือ เป็นขั้นกำหนดค้อตรา ผลการทดลองเชิงสมดุลมีความ สอดคล้องกับไฮโซ-เทอนแบบแลงเมียร์ แสดงว่า สี ข้อมูกยึดคืนนพิเศษของถ่านกัมมันต์ในลักษณะเป็นรั้น เดียว และมีต่อการคุณชั้บแบบชั้นเดียวสูงสุด เท่ากับ 69.44 mg/g

จากผลการทดลองข้างต้น ซึ่งให้เห็นว่า ถ่านกัม

[1] Ip, A.W.M., Barford, J.D. and McKay, G. (2010).

A comparative study on the kinetics and mechanism of removal of Reactive Black 5 by adsorption onto activated carbons and bonechar. Chemical Engineering Journal, 157(2-3): 434-442.

[2] Chatterjee, S., Chalterjee, T. and Woo, S.H. 2011. Influence of the polyethyleneimine grafting on the adsorption capacity of chitosan beads for Reactive black 5 from aqueous solutions. Chemical Engineering Journal, 166: 168-175.

[3] El-Barghouthi, M.I., El-Sheikh, A.H. and Al-Degs, Y.S. and Walker, G.M. 2007. Adsorption behavior of anionic reactive dyes on H-type activated carbon: Competitive adsorption and desorption studies. Chemical Engineering Journal, 42: 2195-2220.

[4] Vandevivere, P., Bianchi, R. and Verstraete, W. 1998. Review: Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. J. Chemical Technology and Biotechnology, 72: 289-302.

[5] Chuah, T.G., Jumasiah, I., Azni, S. and Katayon, S.Y. 2005. Rich husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview. Desalination, 175: 305-316.

- [6] Wu, F.-C., Tseng, R.-L. and Hu, C.-C. 2005. Comparisons of pore properties and adsorption performance of KOH-activated and steam-activated carbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, 80: 95-106.
- [7] Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P. and Diamadopoulos, E. 2008. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. *Bioresource Technology*, 99: 6809-6816.
- [8] Chen, Y., Huang, B., Huang, M. and Cai, B. 2011. On the preparation and characterization of activated carbon from mangosteen shell. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42: 837-842.
- [9] Matos, J., Nahas, C., Rojas, L. and Rosales, M. 2011. Synthesis and characterization of activated carbon from sawdust of Algarroba wood. I. Physical activation and pyrolysis. *Journal of Hazardous Materials*, 196: 360-369.
- [10] Figaro, S., Avril, J.P., Brouers, F., Ouensanga, A. and Gaspard, S. Adsorption studies of molasse's wastewater on activated carbon: Modeling with a new fractal kinetic equation and evaluation of kinetic models. *Journal of Hazardous Materials*, 161: 649-656.
- [11] Amin, N. K. 2008. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. *Desalination*, 223: 152-161.
- [12] Noonpui, S., Thiravetyan, P., Nakbanpote, W. and Netpradit S., Color removal from water-based ink wastewater by bagasse fly ash, sawdust fly ash and activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 162: 503-508.
- [13] Hameed, B.H. and Ahmad, A.A. 2010. Fixed-bed adsorption of reactive azo dye onto granular activated carbon prepared from waste. *Journal of Hazardous Materials*, 175: 298-303.
- [14] Seader, J.D. and Henley, E.J. 1998. *Separation process principles*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [15] Gregg, S. and Sing, K. (1982). *Adsorption, surface and porosity*, 2nd Ed.; Academic Press.
- [16] Haghseresh, H. and Lu, G. (1998). Adsorption characteristics of phenolic compounds onto coal-rejected-derived adsorbents. *Energy and Fuels*, 12: 1100-1107.
- [17] Guzel, f. and Tez, Z. (1993). The characterization of the micropore structure of some activated carbon of plant origin by N₂ and CO₂ adsorption. *Separation and Science and Technology*, 28: 1609-1627.
- [18] Newcombe, G. and Drikas, M. (1997). Adsorption of NOM activated carbon: electrostatic and NON-electrostatic effects. *Carbon*, 35: 1239-1250.
- [19] Almeida, C.A.P., Debacher, N.A., Downs, A.J., Cottet, L. and Mello, C.A.D. 2009. Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay. *J. Colloid interface Science*, 332: 46-53.
- [20] Lagegren, S. and Svenska, B.K. 1898. Zur theorie der sogenannten adsorption geloester stofe. *Vaternskapsakad Handlingar*, 24(4): 1-39.
- [21] Ho, Y.S. and McKay, G. 1998. Sorption of dye from aqueous solution by peat, *Chemical Engineering Journal*, 70: 115-124.
- [22] R. Wibulswas. 2004. Batch and fixed bed sorption of methylene blue on precursor and QACs modified montmorillonite. *Separation and Purification Technology*, 39. 3-12.

- [23] Wang, L. 2012. Application of activated carbon derived from ‘waste’ bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Management*, 102: 79-87.
- [24] Deniz, F. and Karaman, S. 2011. Removal of an azo-metal complex textile dye from colored aqueous solutions using an agro-residue. *Microchemical Journal*, 99(2): 296-302.
- [25] Saeed, A., Sharif, M. and Iqbal, M. 2010. Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: kinetics, equilibrium, and mechanism of crystal violet adsorption. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 564-572.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายบุญส่ง จุหารัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2530
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ. 2553
ผลงานในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ	จักรกฤษณ์ อัมพุช และบุญส่ง จุหารัตน์. “พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบบลีค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย”, ใน วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี : ประเภทบทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับที่ 2 ปีที่ 5 ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2555