

การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

นางสาวพรรณธิดา บรรจง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ADSORPTION OF METHANOL IN BIODIESEL WITH CARBON ADSORBENT
FROM MACADAMIA NUT SHELLS

Miss Punthida Bunchong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดูคชับเมทานอลในใบโอดีเซลด้วยถ่านดูคชับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย
โดย	นางสาวพรรณธิดา บรรจง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาวนันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินสุภา จุ้ยจุลเจิม)

พรรณธิดา บรรจง : การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย (ADSORPTION OF METHANOL IN BIODIESEL WITH CARBON ADSORBENT FROM MACADAMIA NUT SHELLS) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : รศ. ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช, 85 หน้า.

ถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียสังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 – 50 โดยมวล และนำไปเผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากล้างถ่านดูดซับด้วยน้ำกลั่น นำถ่านดูดซับไปอบ ณ อุณหภูมิ 50, 80, 120 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

เมื่อนำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลพบว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับเมทานอลและไบโอดีเซลไปพร้อมๆกัน โดยมีปริมาณดูดซับเมทานอลและไบโอดีเซลจำเพาะ 181.564 และ 122.448 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง แต่ความสามารถในการดูดซับของถ่านดูดซับลดลงหลังจากการฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับประมาณร้อยละ 20 ส่วนถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณดูดซับเมทานอลจำเพาะ 157.890 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ และหลังจากการฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านดูดซับ

การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ โดยมีค่าคงที่สมดุลดูดซับของแลงเมียร์ เท่ากับ 0.200 และปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะสูงสุด เท่ากับ 238.152 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิติ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....

5370468221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADSORPTION / METHANOL / BIODIESEL / CARBON ADSORBENT /
MACADAMIA NUT SHELLS

PUNTHIDA BUNCHONG : ADSORPTION OF METHANOL IN BIODIESEL
WITH CARBON ADSORBENT FROM MACADAMIA NUT SHELLS.
ADVISOR : ASSOC.PROF. DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 85 pp.

Macadamia nut shells, in actual hemispherical shape, were converted to carbon adsorbent by reaction of 30 – 50%wt phosphoric acid solutions at 250°C for 1 hour. After washing the adsorbents with distilled water, they were dried in an oven at 50, 80, 120 and 200°C, respectively, for 5 hours. The methanol separation performance of the adsorbents synthesized from biodiesel were investigated. In addition, methanol adsorption isotherm was proposed.

The macadamia nut shell adsorbent, which was dried at 200°C, could adsorb methanol and biodiesel simultaneously upto 181.564 and 122.448 mg/g, respectively within 3 hours. However, the adsorption capacity was reduced by 20% after regeneration. While the adsorbent, which was dried at 50°C, could selectively adsorb methanol upto 157.890 mg/g, and the adsorbent could be regenerated to recover the same adsorption capacity.

The adsorption isotherm of methanol in biodiesel was agreed with Langmuir's isotherm model with adsorption equilibrium constant $K_L = 0.200$ and maximum adsorption equilibrium capacity $q_{max} = 238.152$ mg/g.

Department : Chemical Engineering Student's Signature

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

งานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับการให้คำปรึกษา ความเอาใจใส่ และคำแนะนำที่ดี ตลอดมา รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้มีเนื้อหาใจความที่สมบูรณ์ถูกต้อง รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภูวสันต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินสุภา จุ้ยจุลเจิม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณพิบูลย์ เกิดโภคทรัพย์ คุณณพัทธ์ รัชมพิพิธ และคุณวรรณคารา อินทรปัญญา เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและให้คำปรึกษา ตลอดจนอำนวยความสะดวก และช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอบคุณเพื่อนและพี่ระดับปริญญาโททุกท่านที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ท้ายสุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา พี่น้องและเพื่อนๆ ที่ช่วยสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แมคคาเดเมีย.....	7
2.2 ถ่านกัมมันต์.....	7
2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของถ่านกัมมันต์.....	8
2.2.2 สมบัติทางกายภาพ.....	8
2.2.3 สมบัติทางเคมี.....	9
2.2.4 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	10
2.2.5 โครงสร้างทางเคมีและเคมีพื้นผิวของถ่านกัมมันต์.....	13
2.2.6 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	15
2.3 การดูดซับ.....	16
2.3.1 พฤติกรรมของการดูดซับของสาร.....	17
2.3.2 กลไกการดูดซับ.....	18
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	19
2.3.4 การฟื้นฟูสภาพเดิมของตัวดูดซับ.....	19
2.4 จลนพลศาสตร์การดูดซับ.....	20

บทที่	หน้า
2.4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1.....	20
2.4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 เสมือน.....	20
2.4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 2 เสมือน.....	21
2.5 แบบจำลองสมดุลคู่ชั้นของของเหลว.....	21
2.5.1 แบบจำลองสมดุลคู่ชั้นของเฮนรี.....	21
2.5.2 แบบจำลองสมดุลคู่ชั้นของแลงเมียร์.....	21
2.5.3 แบบจำลองสมดุลคู่ชั้นของฟรุนคลิช.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสม เมทานอลกับน้ำ.....	26
3.2 การเตรียมไบโอดีเซล.....	26
3.3 การหาปริมาณสมดุลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูด ซับ.....	26
3.4 การเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก.....	27
3.5 การทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ.....	29
3.6 การฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับหลังการดูดซับ.....	30
3.7 การทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ หลังการดูดซับ.....	30
4 ผลการวิจัย.....	31
4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับ น้ำ.....	31
4.2 สมบัติของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.....	32
4.2.1 องค์ประกอบถ่านดูดซับแบบประมาณ.....	32
4.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ.....	34
4.2.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อพื้นที่ผิวจำเพาะและ ลักษณะรูพรุนของถ่านดูดซับ.....	36
4.3 การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ.....	38

บทที่	หน้า
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่าน คูดซับ.....	38
4.3.2 ผลของปริมาณคูดซับน้ำจำเพาะของถ่านคูดซับต่อการคูดซับเมทานอล.....	42
4.3.3 ผลของการฟื้นฟูสภาพถ่านคูดซับและนำกลับมาคูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล อีกครั้ง.....	49
4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลในไบโอดีเซล.....	53
4.3.5 แบบจำลองสมดุลการคูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล.....	56
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก.....	65
ภาคผนวก ข.....	71
ภาคผนวก ค.....	78
ภาคผนวก ง.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
1.1	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไป โอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2548 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน.....	1
2.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	10
2.2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด.....	10
3.1	ชื่อย่อถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย.....	28
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.....	32
4.2	การเปรียบเทียบพลังงานพันธะของพันธะชนิดต่างๆ.....	33
4.3	การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่เปลี่ยนแปลงไป.....	34
4.4	สัดส่วนผลผลิตของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย.....	35
4.5	พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวดูดซับชนิดต่างๆ.....	36
4.6	ปริมาณสมดุลการดูดซับน้ำและไป โอดีเซลของตัวดูดซับชนิดต่างๆ.....	37
4.7	ความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำและไป โอดีเซล ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	37
4.8	ปริมาณ สมดุลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลอง จลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล..	40
4.9	ปริมาณการดูดซับไป โอดีเซลของตัวดูดซับชนิดต่างๆภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง...	41
4.10	ปริมาณ สมดุลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลอง จลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล.....	44
4.11	ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	45
4.12	ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	48
4.13	ปริมาณ สมดุลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลอง จลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล.....	48

ตารางที่	หน้า
4.14 ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลอง จลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ ผ่านการฟื้นฟูสภาพ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล.....	52
4.15 ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลอง จลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล...	55
ก.1 ความหนาแน่นของของผสมเมทานอลกับน้ำ.....	65
ก.2 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ.....	65
ก.3 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง.....	66
ก.4 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	67
ก.5 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	68
ก.6 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ.....	69
ก.7 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้น เริ่มต้นต่างๆของเมทานอล.....	70
ข.1 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอ ดีเซลหลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของ เมทานอล ก่อนการดูด ซับด้วยถ่านดูดซับ.....	71
ข.2 ปริมาณสมมูลเมทานอลที่อยู่ในน้ำล้างและไบโอดีเซล (ร้อยละ โดยมวล) หลังการ ล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูด ซับ.....	72
ข.3 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอ ดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิง พาณิชย์แบบแห้ง.....	73
ข.4 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอ ดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	74

ตารางที่	หน้า
ข.5 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการคูดซัด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	75
ข.6 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการคูดซัด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟุ้งสภาพ.....	76
ข.7 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการคูดซัด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล.....	77
ค.1 ความเข้มข้นของเมทานอลใน ไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซัจำเพาะหลังการคูดซัด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์.....	78
ค.2 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซัจำเพาะของถ่านคูดซัหลังการคูดซัด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	79
ค.3 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซัจำเพาะของถ่านคูดซัหลังการคูดซัด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120...	80
ค.4 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซัจำเพาะของถ่านคูดซัหลังการคูดซัด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟุ้งสภาพ.....	81
ค.5 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซัจำเพาะ หลังการคูดซัด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล....	82

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลไกการดูดซับ.....	18
3.1	ขั้นตอนการหาปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล.....	27
3.2	ขั้นตอนการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ.....	30
4.1	กราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ.....	31
4.2	กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ.....	32
4.3	ปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสฟอริกกับเซลลูโลส.....	34
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง.....	38
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง.....	39
4.6	การเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลก่อนและหลังการดูดซับกับชนิดของตัวดูดซับ.....	41
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในถ่านดูดซับ ณ อุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในการอบถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง.....	42
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	43
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	43
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่ถูกดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120.....	45
4.11	การเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลก่อนและหลังการดูดซับกับชนิดของถ่านดูดซับ	46

ภาพที่	หน้า
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับ ระยะเวลาในการ คูดซ์ของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	47
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคูดซ์จำเพาะกับระยะเวลาในการคูดซ์ของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050.....	47
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับ ระยะเวลาในการคูดซ์ของถ่านคูดซ์ที่คูดซ์ครั้งที่ 1 และถ่านคูดซ์ที่ผ่านการ ฟื้นฟูสภาพด้วยการล้างที่คูดซ์ครั้งที่ 2 (ก) CA 4050 (ข) CA 4080 (ค) CA 40120 และ(ง) CA 40200.....	50
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคูดซ์จำเพาะกับระยะเวลาในการคูดซ์ของถ่านคูด ซ์ที่คูดซ์ครั้งที่ 1 และถ่านคูดซ์ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพด้วยการล้างที่คูดซ์ครั้ง ที่ 2 (ก) CA 4050 (ข) CA 4080 (ค) CA 40120 และ (ง) CA 40200.....	51
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับ ระยะเวลาในการคูดซ์ของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ในไบโอดีเซล.....	54
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคูดซ์จำเพาะกับระยะเวลาในการคูดซ์ของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอลในไบโอดีเซล.....	54
4.18 การเปรียบเทียบข้อมูลการคูดซ์จากผลการทดลองที่ระยะเวลาในการคูดซ์ 3 ชั่วโมงกับแบบจำลองสมดุลคูดซ์ของแลงเมียร์.....	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤตพลังงานเช่นเดียวกับหลายๆประเทศที่พึ่งพาการนำเข้าพลังงาน เนื่องมาจากราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวม และอาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศในอนาคต ทั้งนี้เพราะประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่เดียวกันก็ประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีสูงขึ้น อันเกิดจากการใช้พลังงานจากปิโตรเลียม ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อนเช่นกัน ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศ และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน [1]

ไบโอดีเซลเป็นสารเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยการใช้ไขมันพืชหรือน้ำมัน/ไขมันสัตว์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล โดยมีด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกนอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม คุณสมบัติที่สำคัญของไบโอดีเซล คือ สามารถย่อยสลายเองตามกระบวนการชีวภาพในธรรมชาติและไม่เป็นพิษ การเผาไหม้เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมากและสามารถใช้แทนกันได้ [2]

การควบคุมคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานได้แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน [1]

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า 3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93

ที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
5	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือ จากการกลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าของกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน	กรัมไอโอดีน/100กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	prEN 14538
23	ฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน			

คุณสมบัติของไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งคุณลักษณะทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซล คือ ปริมาณเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซล โดยทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลลดลงและส่งผลเสียต่อการทำงานของเครื่องยนต์ [3 - 5] ดังนี้

- ทำให้ส่วนที่เป็นยางและปะเก็นเสื่อมสภาพ
- จุดวาบไฟต่ำ (เกิดปัญหาในการเก็บ ขนส่ง การใช้ประโยชน์ ฯลฯ)
- ค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นต่ำ
- กัดกร่อนชิ้นส่วนอะลูมิเนียมและสังกะสี

ตามข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงานปริมาณเมทานอลที่เหลือกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 0.20 โดยมีผล สรุปลงในตารางที่ 1.1 ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลเพื่อให้ไบโอดีเซลมีคุณภาพเป็นมาตรฐานเดียวกัน

การผลิตไบโอดีเซลทั่วไปการทำปฏิกิริยามักใช้เมทานอลในปริมาณมากเกินไปมากกว่าความต้องการทำปฏิกิริยาตามทฤษฎี เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันได้อย่างรวดเร็วและเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นหลังการทำปฏิกิริยาแล้วจะมีเมทานอลเหลืออยู่จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดเมทานอล ซึ่งกระบวนการกำจัดเมทานอลอาจทำก่อนการแยกผลิตภัณฑ์หรือหลังการแยกส่วนเป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแล้ว [6]

การล้างไบโอดีเซลส่วนใหญ่มี 2 วิธีหลักที่นิยม คือ [5]

1. การล้างไบโอดีเซลแบบเปียก (Biodiesel Wet Washing Technologies) เป็นวิธีที่ใช้กำจัดกลีเซอรอล เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน กรด และน้ำพร้อมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำ ซึ่งทั้งกลีเซอรอล เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถละลายได้ดี ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้น้ำปริมาณมาก ใช้เวลานาน และอาจก่อให้เกิดอิมัลชันขึ้นได้
 - 1.1 การล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (Dionized Water Washing Technology) ขั้นตอนการล้าง คือ เติมน้ำกลั่นในไบโอดีเซลพร้อมด้วยการกวนเบาๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอิมัลชัน ทำซ้ำจนกระทั่งสีของน้ำล้างใส ซึ่งต้องใช้น้ำปริมาณมาก
 - 1.2 การล้างด้วยกรดและน้ำปราศจากไอออน (Acid and Dionized Water Washing technology) กรดส่วนใหญ่ที่ใช้ เช่น กรดฟอสฟอริก กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก เพื่อทำให้ไบโอดีเซลเป็นกลางและตามด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่น
 - 1.3 การล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvents Washing Technology) ตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ใช้ เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์ ตามด้วยการล้างด้วยน้ำ

บริสุทธิ์เพื่อกำจัดสบู่ที่หลงเหลือและตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีนี้จะต้องมีการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกภายหลัง

การกำจัดเมทานอลบางกระบวนการอาจดำเนินการก่อนขั้นตอนการล้างโดยการระเหยเมทานอลก่อน เพื่อให้มีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนในน้ำที่น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามบางกระบวนการอาจดำเนินการหลังการแยกไบโอดีเซลกับผลผลิตพลอยได้ ซึ่งจะมีขั้นตอนการล้างอย่างเดียว

2. การล้างไบโอดีเซลแบบแห้ง (Dry Washing Technologies) เป็นการทำให้ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ผ่านการใช้ซิลิเกต (Magnesol หรือ Trisyl) เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Amberlite หรือ Purolite) เซลลูโลซิกส์ (Cellulosics), ดินกัมมันต์ (Activated Clay), ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon), ไฟเบอร์กัมมันต์ (Activated Fiber) ฯลฯ ตัวดูดซับเหล่านี้ประกอบด้วยบริเวณการดูดซับทั้งความเป็นกรดและด่าง และมีแรงดึงดูดสารที่มีขั้ว เช่น เมทานอล กลีเซอรอล กลีเซอไรด์ โลหะ และสบู่ วิธีนี้จะตามด้วยขั้นตอนการกรอง การล้างแบบแห้งมักดำเนินการที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส และกระบวนการจะเสร็จสมบูรณ์ภายใน 20 – 30 นาที การล้างด้วยวิธีนี้ทำให้ประหยัดเวลา พลังงาน และค่าใช้จ่าย

2.1 การล้างด้วยแมกนีซอล (Washing with Magnesol) ใช้แมกนีเซียมซิลิเกตประมาณร้อยละ 1.5 – 3 โดยมวลของไบโอดีเซล และต้องผ่านกระบวนการกรองโดยใช้สารกรองขนาด 5 ไมโครเมตร และ 1 ไมโครเมตรในกระบวนการกรองสุดท้าย

2.2 การล้างด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Washing with Ion Exchange Resins) เรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีโครงสร้างเป็นเมทริกซ์ที่ไม่สามารถละลายได้ มีลักษณะเป็นทรงกลมเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 – 2 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่มีสีขาวหรือสีค่อนข้างเหลือง ผลิตจากพอลิเมอร์อินทรีย์บรรจุในคอลัมน์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนก่อนใช้ต้องแห้งและไม่นิยมนำเรซินแลกเปลี่ยนไอออนกลับมาใช้ใหม่ วิธีนี้มีประสิทธิภาพดีในการกำจัดกลีเซอรอล น้ำ สบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยา แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทานอลน้อยมาก

2.3 การล้างด้วยสารอื่น (Washing with Other Dry Washing Agents) เช่น ถ่านกัมมันต์ ซึ่งโดยปกติใช้กำจัดสีของไบโอดีเซล โดยตัวดูดซับจะบรรจุลงในถังผสมและกวนเบาๆ ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่เล็กกว่าทำให้ประสิทธิภาพกระบวนการล้างไบโอดีเซลดีกว่า แต่ขั้นตอนการแยกหลังการล้างยากกว่า อย่างไรก็ตามขนาดของ

ถ่านกัมมันต์ที่ใหญ่กว่าแม้จะมีประสิทธิภาพในการล้างไบโอดีเซลต่ำกว่า แต่สามารถแยกได้ง่ายกว่า

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซลโดยวิธีการดูดซับเนื่องจากวิธีการดูดซับเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพในการแยกเมทานอลออกจากไบโอดีเซล โดยใช้ถ่านดูดซับที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ซึ่งช่วยปรับปรุงโครงสร้างของถ่านดูดซับ คือ เพิ่มความเป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ทำให้การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลดีขึ้น ซึ่งการใช้เปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็นการพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถั่วแมคคาเดเมีย นอกจากจะทำให้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถั่วแมคคาเดเมียลดลงอย่างมากแล้วยังทำให้เกิดประโยชน์โดยทำการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถั่วแมคคาเดเมียไปเป็นถ่านดูดซับ และเปลือกถั่วแมคคาเดเมียนั้นสามารถสังเคราะห์เป็นถ่านดูดซับคุณภาพดีได้ เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กมากมาย และรูพรุนจำนวนมากนี้เองทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียต่อปริมาณดูดซับจำเพาะ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้อบถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียหลังขั้นตอนการล้างต่อปริมาณดูดซับจำเพาะ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลในไบโอดีเซลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่ใช้แล้ว โดยการล้างและนำกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หาปริมาณสมมูลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล และใช้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยมวล โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็น 1.5 ต่อ 1 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียไปเผา ณ อุณหภูมิ

250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบ ณ อุณหภูมิ 50 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง

- 1.3.2 หาปริมาณสมดุลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล และใช้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็น 1.5 ต่อ 1 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียไปเผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบ ณ อุณหภูมิ 50, 80 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง
- 1.3.3 หาปริมาณสมดุลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยมวล และใช้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็น 1.5 ต่อ 1 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียไปเผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง
- 1.3.4 ฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับด้วยวิธีการล้างน้ำและนำไปอบ ณ อุณหภูมิ 50, 80, 120 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และนำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบสมดุลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
- 1.4.2 เพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านดูดซับเมื่อสังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
- 1.4.3 สามารถฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดการสิ้นเปลืองในการเปลี่ยนถ่านดูดซับใหม่
- 1.4.4 เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและพัฒนาทางเลือกการใช้ประโยชน์วัตถุดิบภายในประเทศเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แมคคาเดเมีย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง ในแต่ละปีจะมีผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมปริมาณมาก และจากแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่จะพัฒนาพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้สามารถเพาะปลูกพืชได้ เพื่อให้ประชาชนมีแหล่งทำกิน ลดการอพยพย้ายถิ่นฐาน และพัฒนาให้พื้นที่ว่างเปล่ากลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเทศไทยจึงมีการทดลองปลูกพืชเมืองหนาวหลายชนิดรวมถึงแมคคาเดเมีย ซึ่งปัจจุบันพื้นที่ปลูกแมคคาเดเมียในประเทศไทยมีประมาณ 10,000 ไร่ มีโรงงานแปรรูปเพื่อรองรับผลผลิตของเกษตรกร 3 แห่ง คือ ที่กิ่งอำเภอน้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์ โครงการคอยตุง จ.เชียงราย และไร่วโนทยาน อ.ภูเรือ จ.เลย ดังนั้นประเทศไทยจึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตถั่วแมคคาเดเมียเป็นจำนวนมาก ได้แก่ เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

แมคคาเดเมียเป็นถั่วเปลือกแข็ง เนื้อในแมคคาเดเมียสามารถรับประทานได้ ซึ่งหลังจากการผลิตถั่วแมคคาเดเมียออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้มีปริมาณเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่ข่อยสลายได้ช้าตามธรรมชาติมีอยู่เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาขยะและของเสียตามมา และเนื่องจากลักษณะเปลือกที่แข็ง หนา และมีรูพรุนขนาดเล็กมากมาย หรือคิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่เก็บได้ จึงมีความพยายามที่จะลดปัญหานี้และเป็นที่มาของการนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยผลิตเป็นถ่านดูดซับ

2.2 ถ่านกัมมันต์ [7,8]

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation Process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีทั้งของเหลวและก๊าซ ขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุน

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจเป็นอินทรียวัตถุหรือถ่านก็ได้ อินทรียวัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบแบ่งได้ดังนี้

1. สารเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม จี้เถื่อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น
2. ถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท บิทูมินัส เป็นต้น
3. วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดูก เป็นต้น

ส่วนถ่านที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะเป็นถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากการเผาอินทรียวัตถุถ่านธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน

คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์มีความสำคัญมากในการจำแนกประเภทสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปจะแบ่งคุณลักษณะตามคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกรรมวิธีถ่านกัมมันต์ [9]

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของถ่านกัมมันต์ [10]

ปริมาณสารระเหย (Volatile Content) เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก ค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนแก่ถ่านกัมมันต์

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์ การวิเคราะห์โดยการอบแห้งจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

ปริมาณเถ้า (Ash Content) คือ ปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ที่ปนอยู่ในวัตถุดิบ ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์มีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเพิ่มพื้นที่ผิวที่อุณหภูมิสูงและเวลาสูงปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟต คาร์บอเนต และสารประกอบอื่นๆของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโลหะอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ โดยส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยซิลิกอน ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการกำจัดเถ้าออกจากถ่านกัมมันต์นั้นจะใช้กรด หากมีเถ้าที่มีองค์ประกอบซับซ้อนมากจะใช้กรดที่ผสมกัน เช่น กรดที่ผสมกันระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริกและกรดไฮโดรคลอริก

2.2.2 สมบัติทางกายภาพ

พื้นที่ผิว (Surface Area) ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้คุณภาพในการดูดซับดีกว่า โดยที่ปริมาตรของรูพรุนจะจำกัดขนาดโมเลกุลที่สามารถดูดซับได้ ในขณะที่พื้นที่ผิวจะจำกัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับได้ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุน ในการวัดพื้นที่ผิวจะต้องใช้ข้อมูลสมดุลดูดซับจำเพาะ (Isotherm) ของการดูดซับ ซึ่งไอโซ

เทอมนี้จะมีรูปแบบตามธรรมชาติของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง ซึ่งจะทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ที่ความดันย่อยต่างๆเพื่อสร้างไอโซเทอมของการดูดซับ จากไอโซเทอมของการดูดซับข้อมูลที่ได้ คือ

- ค่าของพื้นที่ผิว
- ค่าของปริมาตรรูพรุน
- ลักษณะเคมีพื้นผิว (Surface Chemistry) ของตัวดูดซับ
- ข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับ
- ประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในระบบการแยกหรือการทำให้บริสุทธิ์

ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า มักบ่งบอกว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ในปริมาณมากกว่า

ค่าความแข็ง/ค่าการขัดถู (Hardness/Abrasion Number) บอกลถึงความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ ค่านี้จะบอกลถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสี และสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัสดุคืบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (Particle Size Distribution) เกี่ยวข้องกับความละเอียดของผงถ่าน ยิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็ยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลแก๊สถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

2.2.3 สมบัติทางเคมี

สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์หาได้จากปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของการดูดซับของถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลว ตัวอย่างของสมบัติการดูดซับ คือ

การดูดซับไอโอดีน (Iodine Adsorption) บอกลถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์เนื่องจากไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน)/น้ำหนักถ่าน 1 กรัม

การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Adsorption) ในถ่านกัมมันต์บางชนิดมีรูขนาดไม่ใหญ่มากเหมาะกับการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง เช่น สารเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนขนาดกลาง คือ มีขนาดใหญ่มากกว่า 1.5 นาโนเมตร ทำให้สารให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูจะระบุในหน่วยน้ำหนักกรัม/100 กรัม

โมลาสนัมเบอร์ (Molass Number) เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในถ่านกัมมันต์ โดยถ่านที่มีรูขนาดใหญ่จำนวนมาก (ค่าโมลาสนัมเบอร์สูง) จะดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อย่างโมเลกุลสีได้ดีกว่าถ่านที่มีรูพรุนเล็ก (ค่าโมลาสนัมเบอร์ต่ำ)

แทนนิน (Tannin) เป็นสารผสมประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่และสารโมเลกุลขนาดกลาง เช่นเดียวกับฟิวของถ่านกัมมันต์ที่มีทั้งรูขนาดใหญ่และรูขนาดกลาง ดังนั้นค่าแทนนินจึงใช้บอกความสามารถในการดูดซับสารแทนนินหรือสารโมเลกุลขนาดใหญ่และกลางของถ่าน และระบุในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm, part per million) ซึ่งถ่านกัมมันต์ควรมีค่านี้อยู่ในช่วง 200 - 362 ppm

การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity) เป็นการหาความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยดูจากค่าการดูดซับไออ้อมตัวของสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 900 – 2547 โดยทดสอบตามมาตรฐานของ American Water Works Association (AWWA) แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง [11]

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 – 0.75

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด [11]

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600
ความชื้น	ร้อยละ 5 ไม่เกิน ร้อยละ 8
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ไม่น้อยกว่า 0.36
ความแข็ง	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 70

2.2.4 การผลิตถ่านกัมมันต์ [10]

2.2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ เป็นขั้นที่สำคัญเพื่อสามารถกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ได้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณามี ดังนี้

ความชื้น ความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ควรควบคุมให้มีค่าต่ำสุดที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดระยะเวลาและลดมลภาวะในรูปของควัน อีกทั้งสามารถลดพลังงานในการเปลี่ยนเป็นถ่าน (Carbonization) การลดความชื้นกระทำโดยการอบด้วยเตาอบโดยตรงหรือการตากแดด

การลดขนาด การลดขนาดของวัตถุดิบบางประเภทก่อนเข้าขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านมีความจำเป็นเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวเข้าไปในวัตถุดิบอย่างทั่วถึง เช่น การลดขนาดของถ่านหิน ส่วนที่เป็นลำคั้นที่มีขนาดใหญ่ หรือกะลามะพร้าวที่มีลักษณะขนาดไม่สม่ำเสมอ

การกักเก็บวัตถุดิบ เมื่อวัตถุดิบที่พร้อมจะผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านจะถูกนำไปเก็บในที่มิดชิดป้องกันความชื้นเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากฝนหรือที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้เพื่อป้องกันการติดไฟด้วยตัวเองในกรณีเก็บไว้นานในภาวะอากาศร้อน

2.2.4.2 การเปลี่ยนเป็นถ่าน (Carbonization) สามารถทำได้โดยเอาวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาเผาในสถานะที่ปราศจากออกซิเจนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น [12] โดยความร้อนจะไล่ความชื้นและสารระเหยได้ต่างๆออกจากวัตถุดิบ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ (Char) การทำให้เป็นถ่านที่มีคุณสมบัติที่ต้องการทำได้โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญ ดังนี้

- อุณหภูมิ
- อัตราการให้ความร้อน
- ตัวกลางของปฏิกิริยา
- องค์ประกอบของวัตถุดิบ

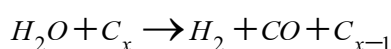
ขั้นตอนนี้จัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน และมีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก

อย่างไรก็ตามพบว่าถ่านที่ผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านมีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะมีพื้นที่ผิวและรูพรุนน้อย จึงจำเป็นต้องนำถ่านที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป

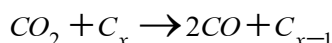
2.2.4.3 ขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอน ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้นหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆของถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้น วิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวมีหลายวิธีและประสิทธิภาพของวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่นๆก่อนขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วย โดยทั่วไปการเพิ่มพื้นที่ผิวมี 2 วิธี คือ การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สออกซิไดซ์ และการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมีอื่นๆ

การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สออกซิไดซ์ (Physical Activation) เป็นวิธีการเพิ่มรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การทำให้เป็นถ่าน และตามด้วยการกระตุ้นถ่านชาร์ภายใต้แก๊สออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูง 700 – 1000 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไป คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอ้ น้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมแก๊สดังกล่าวก็ได้ [13] ผิวของคาร์บอนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยมีการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่าน ข้อดีของการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยวิธีนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีกระตุ้นด้วยสารเคมี

- **การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยไอ้ น้ำ** ไอ้ น้ำถือว่าเป็นสารเพิ่มพื้นที่ผิวที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปอย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน และเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามจะมีการยับยั้งปฏิกิริยาเกิดขึ้นอันเกิดจากจะมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งว่างว่องไวบนผิวของคาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน ปฏิกิริยาสามารถแสดงในรูปสมการเคมีได้ ดังนี้



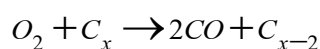
- **การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์** ปฏิกิริยานี้ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบดูดความร้อนเช่นเดียวกับไอ้ น้ำ ปฏิกิริยานี้มีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาอันเกิดจากคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ปฏิกิริยาสามารถแสดงในสมการเคมีได้ ดังนี้



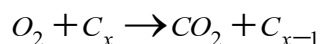
- **การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สออกซิเจน** แก๊สออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านได้

2 วิธี คือ

- ใช้แก๊สออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อน ปฏิกิริยาสามารถแสดงในสมการเคมีได้ ดังนี้



- ใช้แก๊สออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อน ปฏิกิริยาสามารถแสดงในสมการเคมีได้ ดังนี้



การเกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนไม่ค่อยนิยมนิยมใช้มากนักเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ทำให้ควบคุมปฏิกิริยาได้ยาก และออกซิเจนทำให้ถ่านไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก โดยถ้าเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนทั้ง 2 วิธีข้างต้น พบว่าวิธีที่ 2 นิยมนิยมใช้มากกว่าแต่ต้องใช้ร่วมกับสารอินทรีย์ตัวอื่นเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดช้าลง [13]

การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมี (Chemical Activation) เป็นการใส่สารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนพร้อมกัน คือ ขั้นตอนวัตถุดิบที่เป็นถ่านชาร์แล้วถูกผสมด้วยสารเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาดีน้ำออก (Dehydration) ได้ เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เนื่องจากสารเคมีนี้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง จึงยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบๆและแทรกอยู่ภายในถ่าน และด้วยคุณสมบัติในการดูดความชื้นของสารเคมี ทำให้เกิดการดูดโมเลกุลของน้ำและแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนอยู่ทั่วไปบนวัตถุดิบ เมื่อให้ความร้อนเข้าสู่ระบบจะทำให้ไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ทั่วไปเกิดการกักร้อนวัตถุดิบ และขั้นตอนการถูกออกซิไดซ์เพื่อลดความชื้นและก่อให้เกิดรูพรุนที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังสามารถรวมขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านและการเพิ่มพื้นที่ผิวเป็นขั้นตอนเดียวกัน โดยเริ่มต้นจากวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการทำให้เป็นถ่านมาก่อน ข้อดีของการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยวิธีนี้คือ สามารถกระทำได้โดยขั้นตอนเดียว ใช้อุณหภูมิต่ำ ใช้เวลาน้อยในการเพิ่มรูพรุน และให้การเกิดรูพรุนที่ดีกว่า แต่มีข้อเสีย คือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ซึ่งต้องมีขั้นตอนการล้างสารเคมีออก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องสามารถทนทานต่อการกักร้อนได้ [10,12,13]

2.2.5 โครงสร้างทางเคมีและเคมีพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากการเผาผลาญสารอินทรีย์จากวัสดุทางการเกษตรด้วยความร้อน ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจนถูกกำจัดออกในรูปแก๊ส อะตอมของคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆแต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนหกเหลี่ยม (Aromatic Ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ช่องว่างเหล่านี้กลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับสารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ ทำให้เกิดช่องว่าง

หรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันนำขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมี

เคมีพื้นผิวอธิบายกลไกการดูดซับของสารบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption Capacity) ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ดังนี้ [10,14]

- ลักษณะทางกายภาพ เช่น พื้นที่ผิวทั้งหมด โครงสร้างทางรูพรุน ปริมาณเถ้า และหมู่ฟังก์ชันนำ (Functional Group) ต่างๆบนผิวรูพรุนของถ่าน
- ลักษณะของตัวถูกดูดซับ เช่น หมู่ฟังก์ชันนำ ความเป็นขี้ มูล โมเลกุล และขนาด
- สภาพของสารละลาย เช่น ความเป็นกรดด่าง ความแข็งแรงของขี้ และความเข้มข้น

ขนาดของรูพรุนบริเวณผิวเป็นสิ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์มีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่สารนั้นมีขี้หรือไม่มีขี้ นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่างไวบริเวณผิวถ่านกัมมันต์เป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์กับโมเลกุลอื่น ดังนั้นการดูดซับของถ่านกัมมันต์มิได้แปรผันตามกับพื้นที่ผิวอย่างเดียว เพราะว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมที่มีวิธีต่างกัน วิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ต่างกันก็ให้ลักษณะการดูดซับ (Adsorption Characteristics) ที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์จึงควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับ ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระในวงโคจรนอกสุดมีไม่ครบ 12 หรือ 8 (Unsaturated Valencies) ตามกฎออกเตต ทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ว่างไว (Active Site) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศ หรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวจะช่วยให้การเกาะกันของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักเกิดกับอะตอมที่อยู่วงอะโรเมติกส์ ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบเคมี (Chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนเป็นออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจนซึ่งไม่หลุดออกแม้ใช้อุณหภูมิถึง 1,000 องศาเซลเซียส รวมทั้งสามารถดึงอะตอมของไนโตรเจนออกจากโมเลกุลของแอมโมเนีย ดึงอะตอมซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจนออกจากโมเลกุลฮาโลเจนทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้ เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนำต่างๆบนผิวของถ่านกัมมันต์ หมู่ฟังก์ชันนำที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบมีความสำคัญมากที่สุด โดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน จะมีอิทธิพลมากต่อลักษณะพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ เช่น ความเป็นกรดที่บริเวณผิว การแลกเปลี่ยนไอออน

บวก รวมถึงการดูดซับแก๊สและไอที่มีขี้วและไม่มีขี้ว ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนหรือที่เรียกว่าผิวออกไซด์นั้นมี 2 ชนิด คือ

ผิวออกไซด์ชนิดเป็นกรด มักเกิดในถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิไม่สูงมาก หมู่ฟังก์ชันนัลที่เกาะอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาร์บอนิล (Carbonyl), ฟีนอล (Phenols), แลคโตน (Lactone), แอลดีไฮด์ (Aldehydes), คีโตน (Ketones), ควิโนน (Quinones), ไฮโดรควิโนน (Hydroquinones) และแอนไฮไดรด์ (Anhydride) สามารถดูดซับโมเลกุลที่เป็นต่างได้ และโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เหล่านี้ค่อนข้างที่จะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เล็กน้อยจะสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้มากเกิดการสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน ถ้าผิวถ่านกัมมันต์มีหมู่ที่แสดงความเป็นกรดที่บริเวณผิวจะทำให้มีสมบัติในการชอบดูดน้ำมากขึ้น (Hydrophilic) และการดูดน้ำที่มากขึ้นนี้มีผลต่อพื้นที่ผิว และคุณลักษณะต่างๆ ในของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นการมีหมู่ฟังก์ชันนัลเหล่านี้จึงมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ

ผิวออกไซด์ชนิดเป็นด่าง เป็นถ่านกัมมันต์จากการเพิ่มพื้นที่ผิวที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันนัลที่เกาะอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี ได้แก่ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl), คาร์บอเนต (Carbonate) เป็นต้น

2.2.6 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟท์ (Graphite) แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า กล่าวคือ อะตอมของคาร์บอนเรียงตัวเป็นชั้น มีแรงระหว่างชั้น คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเป็นแรงที่ไม่ค่อยแข็งแรง [8] แต่ละชั้นประกอบด้วยกลุ่มอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างรูปหกเหลี่ยม อะตอมคาร์บอนแต่ละอะตอมใช้ซิกมาอเล็กตรอนสร้างพันธะเดียวกับอะตอมข้างเคียง 3 อะตอม อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวเป็นไพออิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการสร้างพันธะที่ไม่อิมตัวคือพันธะคู่

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของถ่านกัมมันต์พบว่าแตกต่างจากกราไฟท์ ซึ่งมีผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) ประกอบกันเป็นวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน

2.2.6.1 ความพรุน (Porosity) โดบปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.5 มิลลิลิตรต่อกรัม จากลักษณะและขนาดของรูพรุนสามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด ดังนี้

รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 – 20,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่า 2 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่ง

น้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores หรือ Mesopores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20 – 1,000 อังสตรอม มีปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.02 – 0.1 มิลลิลิตรต่อกรัม มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 6 – 8 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนอยู่ระหว่าง 0.15 – 0.5 มิลลิลิตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะอย่างน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด รูพรุนขนาดเล็กมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากพื้นที่การดูดซับและพลังงานการดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

2.2.6.2 พื้นที่ผิว (BET Surface) เป็นการหาพื้นที่ผิวโดยใช้หลักทฤษฎีการดูดซับของ Brunauer , Emmelt , Teller (BET) การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวอาจเกิดขึ้นจากการเปิดรูพรุนที่ผิวของถ่าน และการเพิ่มขึ้นของรูพรุนขนาดเล็กจะเป็นฟังก์ชันกับการเพิ่มอุณหภูมิ แต่อัตราการเพิ่มรูพรุนขนาดเล็กนี้ไม่เท่าการถูกทำลายพื้นที่ผิวด้วยความร้อนเช่นกัน [15]

2.2.6.3 ขนาดและปริมาตรรูพรุน (Pore Size and Volume) ทั้งขนาดและปริมาณของการกระจายขนาดของรูพรุนขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ จะเป็นตัวกำหนดถึงคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ กล่าวคือ รูพรุนขนาดเล็กไม่สามารถที่จะดักจับสารที่มีขนาดใหญ่ (Large Adsorbate) ส่วนรูพรุนขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถที่จะเหนี่ยวรั้งสารขนาดเล็ก (Small Adsorbate)

2.3 การดูดซับ (Adsorption) [16,17]

กระบวนการดูดซับ หมายถึง กระบวนการแยกมวลสารซึ่งอาจอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ (ทั้งในสถานะของของเหลวและแก๊ส) ที่มีอยู่ในสารละลายหรือแก๊สให้เกาะอยู่บนผิวของของแข็ง โดยสารที่ไปเกาะติดอยู่บนผิวหน้า เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ตัวดูดซับไปเกาะ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดติดกับผิวของของแข็งที่เป็นตัวดูดซับด้วยแรงที่มีลักษณะเดียวกันกับที่ทำให้เกิดการควบแน่น ดังนั้นการดูดซับจึงเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่เฉพาะเจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waal's forces) หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจงซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี

กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งอาจเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊ส ของแข็งกับแก๊ส ของแข็งกับของเหลว หรือของเหลวกับของเหลวก็ได้

ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายใน นอกจากนี้ คุณสมบัติต่างๆของรูพรุน เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยการเลือกดูดซับที่เหมาะสมนั้นทำให้สามารถแยกโมเลกุลบางชนิดออกและติดอยู่กับตัวดูดซับนั้นได้ เมื่อดูดซับจนอิ่มตัวแล้วก็สามารถนำเอาตัวดูดซับมาไล้โมเลกุลที่ติดไว้ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น อุณหภูมิ และความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิมและนำกลับไปดูดซับได้อีก

2.3.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร [16,17]

พฤติกรรมการดูดซับสามารถแบ่งออกได้ตามความแข็งแรงของพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เป็น 2 แบบ คือ

การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption หรือ Pysisorption) เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยแรงทุดิยภูมิ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ การดูดซับลักษณะนี้เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นที่บริเวณใดก็ได้ภายในรูพรุน ไม่ว่าจะเป็นบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับหรือระหว่างตัวดูดซับกับตัวดูดซับ โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นได้หลายชั้น (Multilayer Adsorption) ซึ่งแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความมีขั้วของทั้งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและโมเลกุลของตัวดูดซับ เกิดขึ้นได้จาก [18]

- **ผลของการจัดเรียงตัว (Orientation Effect)** สำหรับโมเลกุลที่มีขั้ว การดึงดูดกันและกันเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลของการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีขั้ว 2 โมเลกุล โดยบริเวณที่มีประจุเป็นลบของโมเลกุลหนึ่งจะพยายามวิ่งเข้าหาบริเวณที่มีประจุเป็นบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง เช่น การกำจัดไอน้ำ (โมเลกุลที่มีขั้ว) ออกจากกระแสแก๊สโดยใช้ซิลิกาเจล (ของแข็งดูดซับที่มีขั้ว)

- **ผลของการแพร่กระจาย (Dispersion Effect)** เมื่อสารที่ไม่มีขั้ว 2 ชนิดเข้าไปใกล้กันพลังงานที่มีในสารนั้นจะลดลงและมีการแผ่กระจายแสงออกมาจึงได้ชื่อว่าโดยผลของการแพร่กระจาย เช่น การดูดซับของไอสารอินทรีย์บนถ่านกัมมันต์

- **ผลของการเหนี่ยวนำ (Induction Effect)** โมเลกุลที่มีขั้วสามารถเหนี่ยวนำหรือทำให้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วเกิดมีขั้วขึ้นเมื่อใกล้กัน เช่น การดูดซับระหว่างโมเลกุลของแก๊สที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

การดูดซับแบบนี้สามารถเกิดได้ง่ายและใช้พลังงานในการทำให้เกิดการดูดซับน้อย และเป็นกระบวนการแบบผันกลับซึ่งเมื่อสารดูดซับหมดประสิทธิภาพในการดูดซับแล้วสามารถทำการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับใหม่ (Regeneration) ได้ง่าย

การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption หรือ Chemisorption) เป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่สูงมาก โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [17,21]

ตัวดูดซับ ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน องค์ประกอบทางเคมี โดยความสามารถในการดูดซับจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของตัวดูดซับได้มาจากช่องว่างหรือรูพรุนภายใน

ตัวถูกดูดซับ ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น ขนาดของโมเลกุล ความเป็นขั้วของโมเลกุล องค์ประกอบทางเคมี โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารที่ต้องการดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย

ภาวะของการดูดซับ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ โดยความสามารถของการดูดซับจะแปรผันตรงกับความดันและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ แต่แปรผกผันกับอุณหภูมิของระบบ

เวลาที่อยู่ในระบบ มีผลโดยตรงกับตรงต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของสารที่ผ่านหอดูดซับ ถ้าผ่านหอดูดซับช้า โมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับจะมีโอกาสมากขึ้นที่จะชนกับตำแหน่งที่สามารถดูดซับได้ทันที

ความสูงของเบด การให้เบดของตัวดูดซับมีความสูงที่เพียงพอมีความสำคัญมาก เพื่อให้สามารถนำสารที่ไม่ต้องการออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.4 การฟื้นฟูกลับสภาพเดิมของตัวดูดซับ (Regeneration) [22]

การเปลี่ยนตัวดูดซับใหม่หรือการทำให้ตัวดูดซับที่อิ่มตัวแล้วกลับคืนสภาพเดิมเป็นระยะๆ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเมื่อตัวดูดซับมีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับไว้สูงและมีระยะเวลาการใช้งานนาน ซึ่งการเปลี่ยนตัวดูดซับใหม่จะทำให้สิ้นเปลือง จึงควรเลือกวิธีการฟื้นฟูกลับสภาพเดิมซึ่งมีหลายวิธี เช่น

การเพิ่มอุณหภูมิ ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้จะออกจากผิวของตัวดูดซับกลับมาอยู่ในกระแสแก๊ส และจะถูกกำจัดออกจากตัวดูดซับได้โดยการเป่าไล่ด้วยแก๊สเฉื่อย ซึ่งต้องมีการระบายความร้อนออกก่อนที่จะเริ่มมีการดูดซับต่อ แต่ต้องระวังไม่ให้มีการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงจนเกินไป เพราะอาจจะทำให้สารดูดซับเกิดการเสื่อมคุณภาพได้

การลดความดัน ใช้ความดันต่ำที่อุณหภูมิคงที่ เพื่อลดความสามารถของตัวดูดซับ เรียกวิธีนี้ว่า Pressure – Swing – Adsorption (PSA) โดยตัวดูดซับจะกลับมาอยู่ในสถานะแก๊สและออกมาจากรูพรุนได้ ข้อดี คือ ใช้พลังงานต่ำ ตัวดูดซับมีอายุการใช้งานนาน

การเป่าไล่ด้วยแก๊สเฉื่อย แก๊สเฉื่อยจะปลดความดันย่อยของสารที่ต้องการดูดซับในเฟสแก๊ส ทำให้เกิดเกรเดียนต์ความเข้มข้น โมเลกุลของแก๊สที่ต้องการดูดซับจึงหลุดออกจากผิวกลับเข้าไปในกระแสแก๊ส

การแทนที่ด้วยสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่า โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไว้จะถูกแทนที่ด้วยสารซึ่งสามารถดูดซับไว้ได้บางชนิด วิธีนี้ใช้ต่อเมื่อสารซึ่งถูกดูดซับไว้เมื่อครั้งแรกนั้นมีคุณค่าและไวต่อความร้อน และไม่อาจใช้วิธีลดความดันได้

2.4 จลนพลศาสตร์การดูดซับ (Adsorption Kinetics) [23,24]

จลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราการดูดซับกับเวลา โดยตัวแปรทางจลนพลศาสตร์จะช่วยในการทำนายอัตราการดูดซับ และมีความสำคัญในการออกแบบกระบวนการ ซึ่งโดยปกติแล้วอัตราเร็วของการดูดซับจะมีค่ามากในช่วงระยะเริ่มต้นของการดูดซับ และอัตราเร็วจะลดลงอย่างช้าๆจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ แบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นิยมใช้ได้แก่

2.4.1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 (First Order Kinetic Model) ใช้ในการทำนายอัตราการดูดซับ โดยที่ไม่จำเป็นต้องทราบปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุล แสดงดังสมการที่ 2.1 และสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $1/q_t$ และ $1/t$ ได้ดังสมการที่ 2.2

$$q_t = \frac{q_e kt}{1 + kt} \quad 2.1$$

$$\frac{1}{q_t} = \left(\frac{1}{q_e k} \right) \frac{1}{t} + \frac{1}{q_e} \quad 2.2$$

เมื่อ q_t และ q_e คือ ปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาใดๆและปริมาณสมดุล ดูดซับจำเพาะตามลำดับ k คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับ 1 และ t คือ ระยะเวลาของการดูดซับ

2.4.2 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 เสมือน (Pseudo First Order Kinetic Model) เหมาะสำหรับการดูดซับสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำๆ แสดงดังสมการที่ 2.3 และสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\ln(q_e - q_t)$ และ t ได้ดังสมการที่ 2.4

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad 2.3$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad 2.4$$

เมื่อ k_1 คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับ 1 เสมือน

2.4.3 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 2 เสมือน (Pseudo Second Order Kinetic Model)

แสดงดังสมการที่ 2.5 และสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\frac{t}{q_t}$ และ t ได้ดังสมการ

ที่ 2.6

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad 2.5$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad 2.6$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับ 2 เสมือน

2.5 แบบจำลองสมดุลดูดซับของของเหลว (Adsorption Isotherm Models) [25]

2.5.1 แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี เหมาะสำหรับการดูดซับของเหลวที่มีสารดูดซับน้อย ปริมาณสมดุลดูดซับสารดูดซับจำเพาะแปรผันเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นสมดุลของสารดูดซับ แบบจำลองนี้จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงดังสมการที่ 2.7

$$q = K_H C \quad 2.7$$

โดยที่ K_H คือ ค่าคงที่สมดุลดูดซับของเฮนรี

2.5.2 แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ มีสมมติฐานของการดูดซับ คือ ของแข็งมีความสามารถในการดูดซับอย่างจำกัด ทุกๆบริเวณที่ว่างไว้ใน การดูดซับสามารถดูดซับได้หนึ่งโมเลกุล หรือมีการดูดซับแบบชั้นเดียว [26] และปริมาณสมดุลดูดซับสารดูดซับจำเพาะมี

ลักษณะโค้งคือ ปริมาณการดูดซับจำเพาะจะลู่เข้าสู่ปริมาณสมดุลการดูดซับจำเพาะสูงสุด แสดงดังสมการที่ 2.8

$$q = \frac{q_{\max} K_L C}{1 + K_L C} \quad 2.8$$

โดยที่ K_L คือ ค่าคงที่สมดุลดูดซับของแลงเมียร์ และ q_{\max} คือ ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะสูงสุด สมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ สามารถแปลงให้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $1/q$ และ $1/C$ ได้ดังสมการที่ 2.9

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_{\max} K_L} \right) \frac{1}{C} + \frac{1}{q_{\max}} \quad 2.9$$

2.5.3 แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช เมื่อความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น ความสัมพันธ์ของปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะกับความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับการดูดซับแบบหลายชั้น [26] และสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับที่มีลักษณะโค้งกว่าหรือโค้งหงาย ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะแปรเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับยกกำลังค่าคงที่แสดงดังสมการที่ 2.10

$$q = K_F C^n \quad 2.10$$

โดยที่ K_F คือ ค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรุนดลิช และ n คือ ดัชนีชี้กำลัง สมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชสามารถแปลงเป็นสมการเชิงเส้นระหว่าง $\ln q$ กับ $\ln C$ ได้ดังสมการที่ 2.11

$$\ln q = n \ln C + \ln K_F \quad 2.11$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Berrios และคณะ [4] ศึกษาวิธีการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 คือ มีปริมาณเมทานอลไม่เกินร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบ 3 วิธี คือ การล้างด้วยน้ำ การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และการใช้เมกนีซอล โดยการล้างด้วยน้ำโดยตรงหลังการแยกกลีเซอรอลให้ผลเป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 แต่มีข้อเสีย คือ การใช้น้ำปริมาณมากมีค่าใช้จ่ายสูง การเกิดอิมัลชัน เกิดปัญหาน้ำเสีย และต้องมีขั้นตอนการต้มน้ำผลิตภัณฑ์ การใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนช่วยลดปริมาณกลีเซอรอลเป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 แต่ความสามารถในการกำจัดเมทานอลต่ำ (ประมาณ 20 ลิตรไบโอดีเซลต่อกิโลกรัมเรซิน) ส่วนการใช้เมกนีซอลให้ผลการกำจัดเมทานอลดีกว่าการใช้เรซิน แต่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 และต้องใช้เมกนีซอลอย่างน้อยร้อยละ 0.75 โดยมวล จึงจะลดปริมาณกลีเซอรอลและสบู่ในไบโอดีเซลให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด

ธีรวิภา ศักดิ์สุภา [13] ศึกษาการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิห้องด้วยตัวดูดซับก้านกล้วยสดที่เพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 – 20 โดยมวล ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่าสมมูลการดูดซับของเมทานอลสอดคล้องกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี และค่าคงที่สมมูลของเฮนรีจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0241 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อกรัมตัวดูดซับ เป็น 0.083 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อกรัมตัวดูดซับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดฟอสฟอริกจากร้อยละ 5 เป็น 20 โดยมวล

อ้อยทิพย์ ลิ้มปัญญาเลิศ [27] ศึกษาการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลจากถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวหลังจากการดูดซับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยมวล ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าการดูดซับเมทานอลเข้าสู่สมมูลดูดซับภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณดูดซับเมทานอลจำเพาะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเพิ่มขึ้น สมมูลการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดริช สำหรับตัวดูดซับที่ดูดซับกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล ในขณะที่ตัวดูดซับที่ดูดซับกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล เป็นไปตามแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี

Toles และคณะ [28] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่ว คือ เปลือกแอลมอน พีแคน วอลนัท แมคคาเดเมีย พัลลาชิโอ และกะลามะพร้าว โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมีซึ่งใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก ภายใต้สภาวะ คือ ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกร้อยละ 25 – 55 โดยมวล

อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วเป็น 1 ต่อ 1 และระยะเวลาการแช่ผสม 1.5 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการให้ความร้อน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกให้ความร้อนและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศ ณ ช่วงอุณหภูมิ 160 – 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้จะระเหยน้ำออกจากเปลือกถั่ว ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับกรดบริเวณช่องว่างของเปลือกถั่ว และขั้นตอนที่สองให้ความร้อนและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยอากาศ ณ ช่วงอุณหภูมิสูง 400 – 475 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 1.5 ชั่วโมง โดยขั้นตอนนี้เป็นการเพิ่มรูพรุนถ่านกัมมันต์ และก่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชันนัลบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะ

Girgis และ El – Hendawy [29] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และใช้เมล็ดอินทผลัมเป็นวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการแช่ผสมวัตถุดิบกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 – 70 โดยปริมาตร และตามด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 300, 500 หรือ 700 องศาเซลเซียส โดยกรดจะเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพโดยการสลายพันธะภายในโครงสร้าง และช่วยเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุนและความสามารถในการดูดซับ แต่เนื่องจากเมล็ดอินทผลัมมีความเป็นรูพรุนต่ำ และมีโครงสร้างที่อัดแน่นจึงต้องใช้ความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิที่สูงในการช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุน

Budinova และคณะ [30] ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์โดยการรวมการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยแก๊สออกซิไดซ์และการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมีในขั้นตอนเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย ซึ่งใช้ไม้จากต้นเบิชเป็นวัตถุดิบและเตรียมโดยการแช่ผสมกับกรดฟอสฟอริก และตามด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยแก๊สที่แตกต่างกัน (ไนโตรเจน, ไนโตรเจนและไอน้ำ ตามลำดับ, ไอน้ำ) โดยคุณสมบัติของถ่าน กัมมันต์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก อัตราส่วนในการแช่ผสม และชนิดของแก๊สในกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยการแช่ผสมด้วยกรดฟอสฟอริกและตามด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยไอน้ำจะมีโครงสร้างความเป็นรูพรุน พื้นที่ผิว และความสามารถในการดูดซับปรอทจากสารละลายสูงสุด

Carrott และคณะ [31] ศึกษาการดูดซับเมทานอล ณ อุณหภูมิ 298 เคลวิน บนคาร์บอนแบล็ค และคาร์บอนรูพรุนขนาดเล็ก พบว่ากลไกการดูดซับเมทานอลบนคาร์บอนแบล็คแสดงเช่นเดียวกับการดูดซับไอน้ำ โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็คมีขั้วปานกลาง และมีขนาดรูพรุนไม่ใหญ่

Jagtogen และ Derbyshire [32] ศึกษาผลของการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากต้นเฮลโลและไวท์โอ๊คพบว่ากรดฟอสฟอริกทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการสลายพันธะในโครงสร้าง และช่วยให้เกิดการเชื่อมโยง (Cross – link) ภายในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงของกลุ่มฟอสเฟต ช่วยลดการหดตัวหรือพังลงของโครงสร้างรูพรุน แต่ทำให้โครงสร้างรูพรุนขยายออก และหลังการกำจัดกลุ่มฟอสเฟตออกโดยการล้าง ทำให้ความพรุนของถ่านดูดซับเพิ่มขึ้น และพบว่าผลของการกระตุ้นต้นเฮลโลซึ่งมีโครงสร้างแบบโครงร่างผลึกเซลลูโลสทำให้เกิดขนาดรูพรุนแบบผสม ส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดกลาง มีประสิทธิภาพในการขยายโครงสร้างมากกว่าไวท์โอ๊คซึ่งมีโครงสร้างแบบพอลิเมอร์อสัณฐานที่ส่วนใหญ่เกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็ก เนื่องจากความหนาแน่นและโครงสร้างทางเคมีของวัตถุดิบ

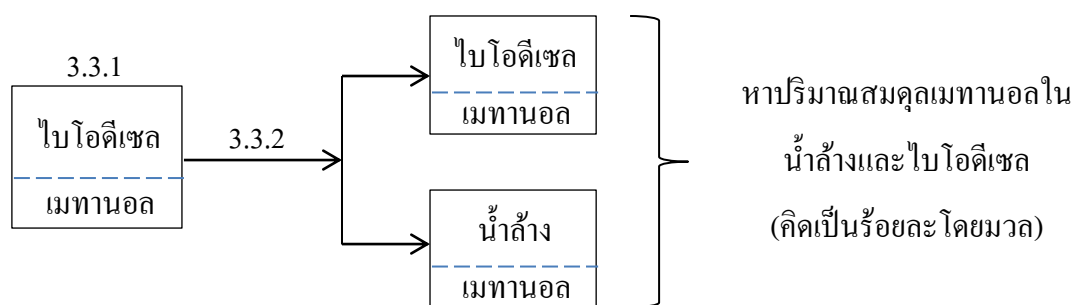
ณัฐยา พูนสุวรรณ [33] ศึกษาวิธีการเตรียมและวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์และถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก และให้ความร้อนในบรรยากาศผ่านการไหลของก๊าซไนโตรเจนในเตาเผาแบบท่อพบว่าร้อยละผลได้ องค์ประกอบแบบประมาณ พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และสภาวะการเพิ่มพื้นที่ผิว เช่น อัตราส่วนโดยมวลของสารเคมีต่อวัตถุดิบ อุณหภูมิ และเวลาของการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์สภาวะที่ให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด 1,550 ตารางเมตรต่อกรัม ได้แก่ การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารเคมีต่อวัตถุดิบ 1.5 ต่อ 1.0 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ส่วนถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด 1,574 ตารางเมตรต่อกรัม โดยการเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารเคมีต่อวัตถุดิบ 1.0 ต่อ 1.0 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที

วิศรุต โฉมงามนทร์ [35] ศึกษาผลของการเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริกต่อสมคุณการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ พบว่า ปฏิกิริยาเคมีระหว่างการเตรียมถ่านดูดซับด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเกิดได้รวดเร็วเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป สำหรับการทดลองที่สภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกร้อยละ 60 โดยมวล อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผา 120 นาที จะได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด 986 ตารางเมตรต่อกรัมถ่านดูดซับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

- 3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ**
- 3.1.1 เตรียมของผสมเมทานอลกับน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 โดยมวล
 - 3.1.2 วัดความหนาแน่นของของผสมที่เตรียมไว้ด้วยขวดวัดความหนาแน่น (Pycnometer) ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
 - 3.1.3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ
- 3.2 การเตรียมไบโอดีเซล**
- 3.2.1 ล้างไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยน้ำกลั่นอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 1 จนกระทั่งน้ำล้างมีความหนาแน่นเท่ากับน้ำที่ใช้ล้าง
- 3.3 การหาปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ**
- 3.3.1 เตรียมไบโอดีเซลปริมาตร 30 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนัก เกล่งในขวดรูปชมพู่จำนวน 5 ขวด และเติมเมทานอลด้วยอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยมวลของไบโอดีเซล และกวนผสมให้เข้ากัน
 - 3.3.2 ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วนโดยปริมาตรไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 1
 - 3.3.3 ชั่งน้ำหนักและวัดความหนาแน่นของน้ำล้าง ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หาปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้าง โดยคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเมทานอลกับน้ำ และคำนวณหาปริมาณสมมูลเมทานอลในไบโอดีเซล



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการหาปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล

- 3.4 การเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก**
- 3.4.1 ถังเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก และสุดท้ายตามด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น
- 3.4.2 นำเปลือกถั่วที่เตรียมจากข้อ 3.4.1 แช่ผสมด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 0, 30, 40 และ 50 โดยมวล โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็น 1.5 ต่อ 1 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียไปเผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็น
- 3.4.3 นำถ่านดูดซับที่ได้ไปล้างกรดฟอสฟอริกออกด้วยน้ำกลั่นอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำซ้ำและวัดความเป็นกรดของน้ำล้างจนกระทั่งน้ำล้างมีค่า pH เป็นกลาง
- 3.4.4 นำถ่านดูดซับที่ผ่านการล้างไปอบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3.4.5 ทดลองซ้ำ 3.4.1 – 3.4.4 ซ้ำ โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้อบเป็น 50, 80 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3.4.6 นำเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่เป็นวัตถุดิบ ถ่านดูดซับที่ไม่ผ่านการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก และถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้างไปวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis) โดยวิเคราะห์

- 3.4.6.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัวตามมาตรฐาน ASTM D3172
- 3.4.6.2 ปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D3173
- 3.4.6.3 ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D3174
- 3.4.6.4 ปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน ASTM D3175
- 3.4.7 นำถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ได้จากด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ด้วยวิธี Bruner-Emmet-Teller (BET)

ตารางที่ 3.1 ชื่อย่อถ่านคูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย

ชื่อย่อ	ความหมาย
CA 00	ถ่านคูดซับที่ไม่ผ่านการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
CA 30	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านขั้นตอนการล้าง
CA 40	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านขั้นตอนการล้าง
CA 50	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านขั้นตอนการล้าง
CA 3050	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 4050	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 5050	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 30200	ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง

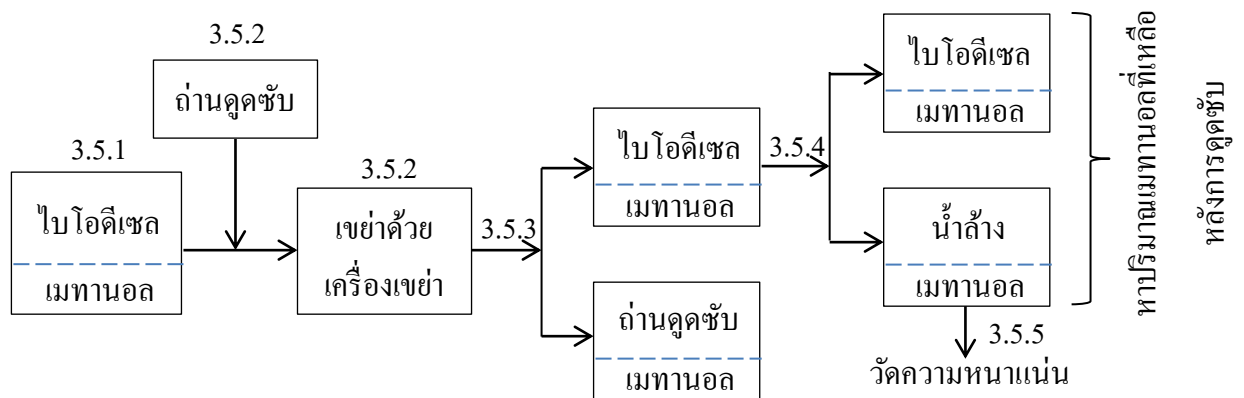
ชื่อย่อ	ความหมาย
CA 40200	ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 50200	ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 4080	ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง
CA 40120	ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง

3.5 การทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ

- 3.5.1 เตรียมไบโอดีเซลปริมาตร 30 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนัก เกลงในขวดรูปชมพู่ และเติมเมทานอลด้วยอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยมวลของไบโอดีเซล ชั่งน้ำหนักรวมของของผสม และกวนผสมให้เข้ากัน
- 3.5.2 ชั่ง CA 30200, CA 40200 และ 50200 โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1 ต่อ 3 เกลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบที่มีของผสมไบโอดีเซลและเมทานอล ปิดจุกยางให้แน่น และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 100 รอบ ต่อนาที ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
- 3.5.3 เก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ตะแกรงกรองแยกถ่านดูดซับออกจากตัวอย่างที่เก็บได้ ชั่งน้ำหนักถ่านดูดซับและไบโอดีเซลที่เปลี่ยนแปลงไป
- 3.5.4 ล้างไบโอดีเซลที่แยกออกมาได้ด้วยน้ำกลั่นอุ่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วนโดยปริมาตรไบโอดีเซลต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 1
- 3.5.5 ชั่งน้ำหนักและวัดความหนาแน่นของน้ำล้าง หาปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้าง โดยคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเมทานอลกับน้ำ และคำนวณหาปริมาณสมมูลเมทานอล

ในไบโอดีเซล ผลรวมของปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและในไบโอดีเซล คือ ปริมาณเมทานอลทั้งหมดที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ

- 3.5.6 ทดลอง 3.5.1 – 3.5.5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเป็น CA 4050, CA 4080 และ CA 40120
- 3.5.7 ทดลอง 3.5.1 – 3.5.5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเป็น CA 3050, CA 4050 และ CA 5050
- 3.5.8 ทดลอง 3.5.1 – 3.5.5 ซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของเมทานอลเป็นร้อยละ 5, 10, 30 และ 40 โดยมวล และใช้ CA 4050
- 3.5.9 เพื่อให้มั่นใจว่าผลการทดลองมีความถูกต้องจึงทำการทดลอง 3.5.1 – 3.5.8 ซ้ำไม่ต่ำกว่า 3 ครั้งจนกว่าผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ

3.6 การฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับหลังการดูดซับ

- 3.6.1 ล้าง CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3.6.2 นำถ่านดูดซับที่ล้างแล้วไปอบ ณ อุณหภูมิ 50, 80, 120 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.7 การทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพหลังการดูดซับ

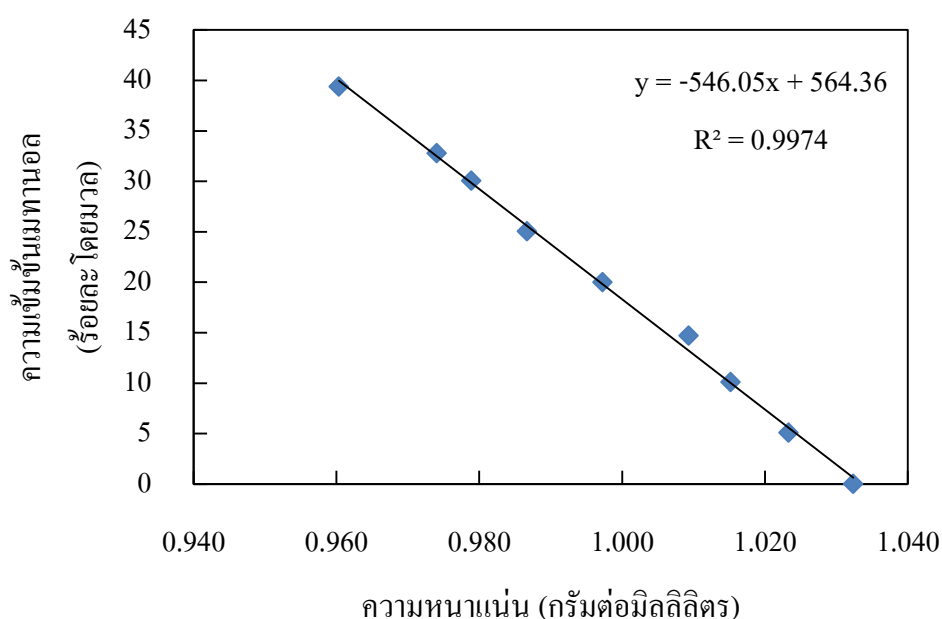
- 3.7.1 ทดลอง 3.5.1 – 3.5.5 และ 3.5.9 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเป็นถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพหลังการดูดซับจากข้อ 3.6

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ

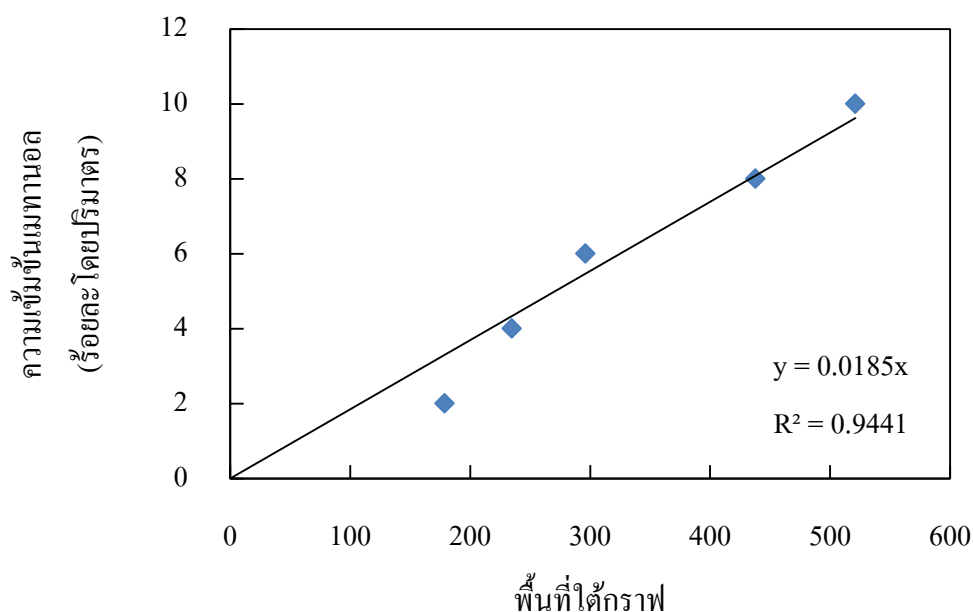
ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำที่ความเข้มข้นเมทานอลร้อยละ 0 – 40 โดยมวล แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ

เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานจากงานวิจัยของ [34] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟและความเข้มข้นเมทานอล โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงดังภาพที่ 4.2

พบว่ากราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ แม้ว่างานวิจัยของ [34] จะทดสอบในช่วงความเข้มข้นของเมทานอลต่ำกว่า แต่ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของเมทานอลสูงขึ้น ดังนั้นวิธีการวัดความหนาแน่นจึงสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อหาความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำได้ดี อีกทั้งมีความสะดวกและใช้พลังงานน้อยในการวิเคราะห์



ภาพที่ 4.2 กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟและความเพิ่มขึ้นของของผสมเมทานอลกับน้ำ

4.2 สมบัติของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

4.2.1 องค์ประกอบถ่านดูดซับแบบประมาณ (Proximate Analyses)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย สรุปในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

ชนิด	องค์ประกอบแบบประมาณ (ร้อยละโดยมวล)			
	คาร์บอนคงตัว	สารระเหย	เถ้า	ความชื้น
เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย	20.00	67.90	0.20	11.90
CA 00 (250°C)	39.38	59.97	0.60	0.05
CA 4050	54.40	41.60	1.90	2.10

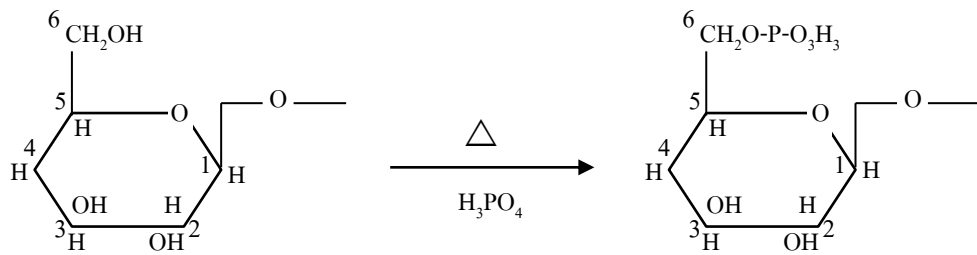
องค์ประกอบของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย จำแนกออกเป็นคาร์บอนคงตัว สารระเหย เถ้า และความชื้น โดยเปลือกถั่วแมคคาเดเมียมีองค์ประกอบที่เป็นสารระเหยในปริมาณสูงถึงร้อยละ 67.90 และมีคาร์บอนคงตัวเพียงร้อยละ 20.00 ส่วน CA 00 และ CA 4050 มีองค์ประกอบของสารระเหยลดลงประมาณร้อยละ 10 – 20 และปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

ผลการศึกษาโดยพิจารณาร่วมกับสัดส่วนผลผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่า CA 00 ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และมีสัดส่วนผลผลิตเป็นร้อยละ 67.53 มีองค์ประกอบของสารระเหยลดลง เนื่องจากการสลายพันธะภายในโครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย โดยพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะแต่ละชนิดสรุปในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าพลังงานพันธะ C-H, C-O และ O-H แม้จะมีค่าสูงกว่า C-C แต่โครงสร้างส่วนใหญ่ซึ่งเป็นอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจน ทำให้มีจำนวนพันธะที่มากกว่าดังนั้นอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนจึงหลุดออกไปในรูปของสารระเหยมากกว่าอะตอมของคาร์บอนจากการให้ความร้อนส่งผลให้ความชื้นและสารระเหยลดลง แต่คาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ส่วน CA 4050 ที่มีสัดส่วนผลผลิตเป็นร้อยละ 64.50 จะเกิดการสลายพันธะภายใน โครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียซึ่งหลุดออกไปในรูปของสารระเหยมากกว่า เนื่องจากการแตกหักของพันธะภายในโครงสร้างจากการให้ความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดฟอสฟอริกกับ โครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ซึ่งสารละลายกรดฟอสฟอริกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาดึงน้ำออกจากโครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย (Dehydration) กับอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนได้ดีขึ้น ทำให้สารระเหยที่อยู่ในเปลือกถั่วแมคคาเดเมียหลุดออกไปในรูปของแก๊สได้มากขึ้น ส่งผลให้สารระเหยในถ่านดูดซับลดลง แต่ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น [32,33] สรุปในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบพลังงานพันธะของพันธะชนิดต่างๆ [35]

ชนิดของพันธะ	พลังงานพันธะ (กิโลจูลต่อโมล)
C - C	348
C - H	413
C - O	358
O - H	463

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า CA 4050 มีปริมาณเถ้าสูงกว่าเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่ใช้เป็นวัตถุดิบและ CA 00 ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดฟอสฟอริกกับ โครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เช่นเดียวกับปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสฟอริกกับเซลลูโลสดังภาพที่ 4.3 แม้จะผ่านกระบวนการล้าง แต่ถ่านดูดซับยังคงมีสารประกอบในรูปของฟอสเฟตแทรกอยู่ใน โครงสร้างของถ่านดูดซับ ซึ่งอาจทำให้ปริมาณเถ้าสูงขึ้นได้



ภาพที่ 4.3 ปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสฟอริกกับเซลลูโลส [32]

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียที่เปลี่ยนแปลงไป

ชนิด	องค์ประกอบ (ร้อยละโดยมวล)			
	คาร์บอนคงตัว	สารระเหย	เถ้า	ความชื้น
เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย	20.00	67.90	0.20	11.90
CA 00 (250°C)	26.59	40.50	0.41	0.03
CA 4050	35.09	26.83	1.23	1.35

4.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ

ผลการคำนวณหาสัดส่วนผลผลิตของ CA 00 ที่เผา ณ อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ CA 30, CA 40 และ CA 50 โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเป็น 1.5 ต่อ 1 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สรุปในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนผลผลิตของถ่านคูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย

ชนิดถ่านคูดซับ	อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	สัดส่วนผลผลิต
CA 00	250	67.53
	300	58.81
	350	44.86
	400	10.37
	500	0.45
CA 30	250	65.32
CA 40	250	64.50
CA 50	250	64.34

เมื่อเผาเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ทำให้สัดส่วนผลผลิตของถ่านคูดซับลดลง ส่วนหนึ่งมาจากออกซิเจนภายในระบบช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ แต่ปัจจัยที่สำคัญกว่า คือ อุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างภายในเปลือกถั่วแมคคาเดเมียมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ถ่านคูดซับที่สังเคราะห์ได้บางส่วนเริ่มกลายเป็นเถ้า และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนผลผลิตมีค่าน้อยมากและใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ CA 00 ที่เผา ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงว่าองค์ประกอบของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียสลายตัวและระเหยออกไปเกือบหมด ส่วนการเผาเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ณ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เผาด้วยกระถางดินเผา มีสัดส่วนผลผลิตสูงสุด และการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกช่วยในการสังเคราะห์ถ่านคูดซับมีผลทำให้สัดส่วนผลผลิตของถ่านคูดซับลดลง เนื่องจากกรดฟอสฟอริกจะช่วยให้เกิดการสลายพันธะภายในโครงสร้างของเปลือกถั่วแมคคาเดเมียมากขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านคูดซับทำให้สัดส่วนผลผลิตของถ่านคูดซับไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้อาจต่ำไป ทำให้กรดฟอสฟอริกแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้ปริมาณน้อย

4.2.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อพื้นที่ผิวจำเพาะและลักษณะรูพรุนของถ่านดูดซับ

จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดถ่านดูดซับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (\AA)
CA 30	71.0	6.7×10^{-2}	36.6
CA 40	112.8	9.7×10^{-2}	35.1
CA 50	42.9	5.3×10^{-2}	47.5
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ จากกะลามะพร้าว	1154.6	5.2×10^{-1}	25.8
ถ่านดูดซับจาก เปลือกถั่วลิสง [36]	986.0	-	19.4

การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านดูดซับไม่แตกต่างกันมาก และการที่ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วลิสงด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล และเผา ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงจากงานวิจัยของ [36] ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 986 ตารางเมตรต่อกรัมถ่านดูดซับ อาจเนื่องจากผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้สังเคราะห์ เปลือกถั่วแมคคาเดเมียมีขนาดใหญ่และหนากว่าเปลือกถั่วลิสงมาก ทำให้สารละลายกรดฟอสฟอริกแทรกซึมเข้าไปภายในเปลือกถั่วแมคคาเดเมียในระหว่างการแช่ผสมได้ยาก

เมื่อนำถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียทั้ง 3 ชนิด และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ ไปทดสอบดูดซับของเหลว โดยหาปริมาณสมดุลการดูดซับน้ำและไบโอดีเซลของถ่านดูดซับจน น้ำหนักคงที่ สรุปในตารางที่ 4.6 พบว่า ถ่านดูดซับทั้ง 3 ชนิด และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าไบโอดีเซล เป็นผลมาจากอิทธิพลของความหนืดและแรงตึงผิวของของเหลว ซึ่งมีความแตกต่างกันมากระหว่างน้ำและไบโอดีเซล สรุปในตารางที่ 4.7 และพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำและไบโอดีเซลของถ่านดูดซับ ไม่แตกต่างกันมาก แต่น้อยกว่าปริมาณการดูดซับของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์มีขนาดเล็กกว่ามาก

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสมดุลการดูดซับน้ำและไบโอดีเซลของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ		ปริมาณไบโอดีเซลที่ถูกดูดซับ	
	น้ำหนัก (mg/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	น้ำหนัก (mg/g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)
CA 30200	296.963	0.297	149.682	0.174
CA 40200	301.190	0.301	166.565	0.194
CA 50200	311.451	0.311	186.000	0.216
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์	674.806	0.675	529.063	0.615

ตารางที่ 4.7 ความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำและไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของของเหลว	น้ำ	ไบโอดีเซล
ความหนืด (mPa·s)	0.65	3.89 [37]
แรงตึงผิว (mN/m)	69.60	28.20 [38]

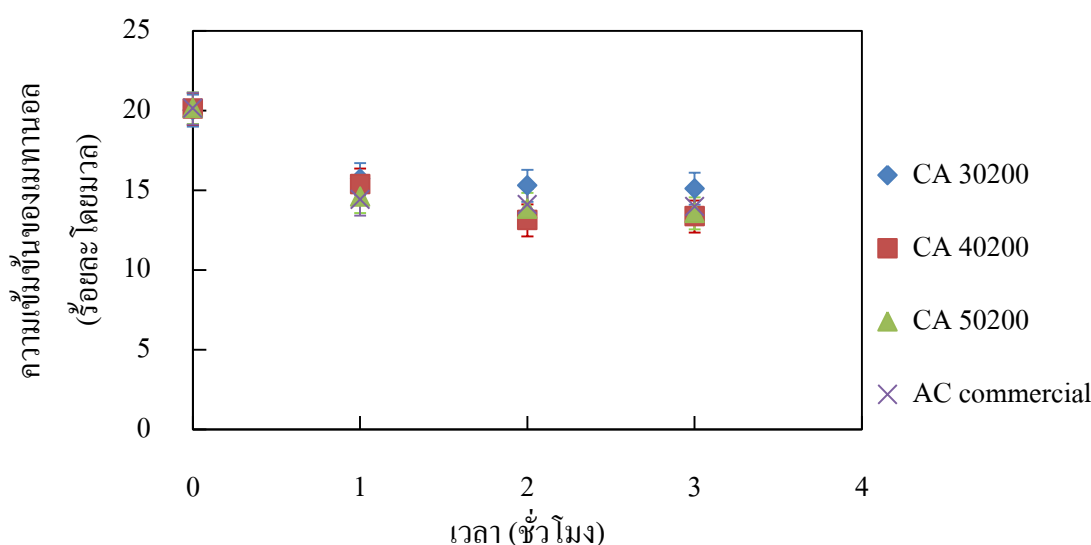
เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบดูดซับของเหลวกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี BET พบว่า ถ่านดูดซับและถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์สามารถดูดซับน้ำและไบโอดีเซลได้ในปริมาณที่มากกว่า ปริมาตรรูพรุนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี BET ซึ่งเป็นวิธีทดสอบ โดยการดูดซับแก๊ส แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านดูดซับด้วยวิธี BET อาจไม่เหมาะสมกับการ

ทดลองนี้ซึ่งเป็นการทดลองดูดซับของเหลว และวิธีการหาปริมาณรุกรานที่สามารถดูดซับของเหลวได้ของถ่านดูดซับโดยการดูดซับน้ำหรือไบโอดีเซลโดยตรงมีความสำคัญมากที่ทำให้ทราบลักษณะของถ่านดูดซับที่ใช้ในการทดลอง

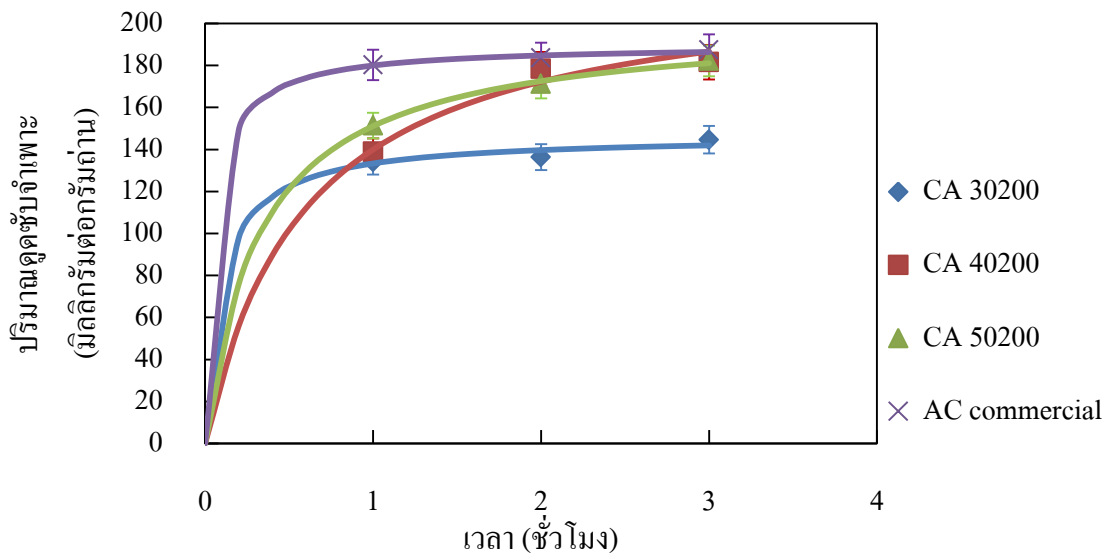
4.3 การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับ

4.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ

จากการทดลองดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล ด้วย CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1 ต่อ 3 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.4 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง

ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้างและถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 - 15 โดยมวล ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมทานอลเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีแนวโน้มคงที่

ปริมาณดูดซับจำเพาะของ CA 40200 และ CA 50200 มีค่าไม่แตกต่างกันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง พบว่าปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับ CA 40200 และ CA 50200 ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 2 - 3 ชั่วโมง แต่สามารถดูดซับได้มากกว่าในระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก และจะเห็นว่าเข้าสู่สมดุลดูดซับเร็วกว่าถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย คือ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับชนิดต่างๆจากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ดังสมการที่ 4.1 สรุปในตารางที่ 4.8

$$q_t = \frac{q_e kt}{1 + kt} \quad 4.1$$

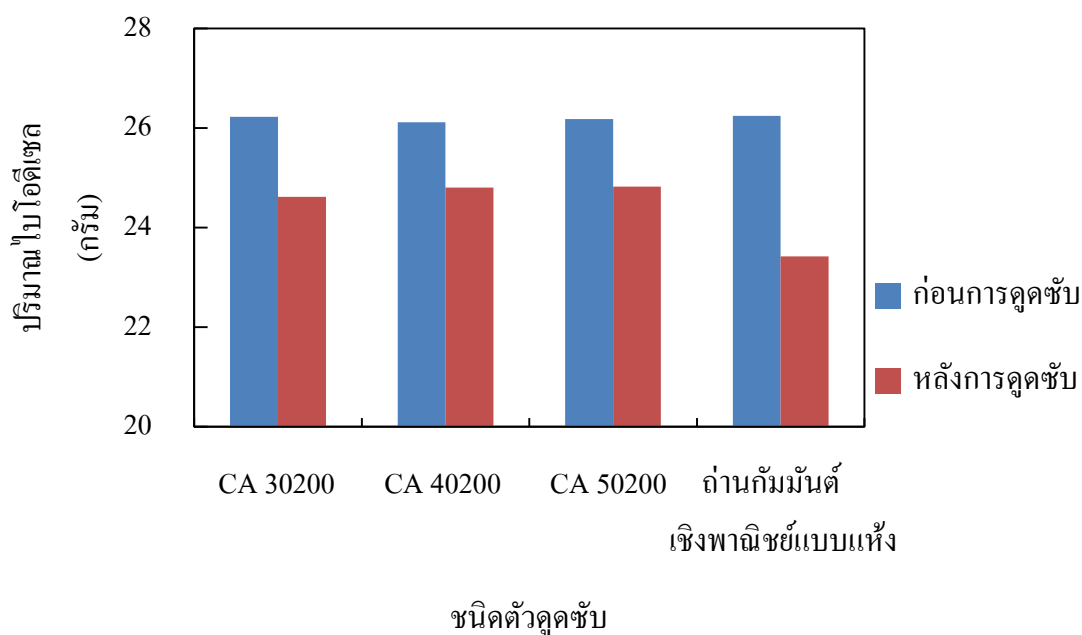
ตารางที่ 4.8 ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (3 ชั่วโมง) q_{exp} (มิลลิกรัมต่อกรัม)	จลนพลศาสตร์อันดับ 1		
		q_c	k	R^2
CA 30200	144.665	146.679	10.005	0.689
CA 40200	181.564	223.968	1.666	0.964
CA 50200	182.203	201.020	3.029	0.995
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์	187.359	189.813	18.332	0.905

CA 30200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีค่าคงที่อัตราการดูดซับสูงกว่า CA 40200 และ CA 50200 ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของ CA 30200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะมากประมาณร้อยละ 99 มีผลทำให้เข้าสู่สมมูลการดูดซับเร็วกว่า CA 40200 และ CA 50200 ซึ่งมีค่าคงที่อัตราการดูดซับใกล้เคียงกัน มีปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับประมาณร้อยละ 80 และ 90 ตามลำดับ ของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ

ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 200 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง และเนื่องจากถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียและถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีการดูดซับทั้งเมทานอลและไบโอดีเซลไปพร้อมๆกัน จึงทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับสูง แต่ส่งผลต่อความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลน้อยมาก เป็นผลมาจากการสูญเสียไบโอดีเซลบางส่วนในระหว่างการดูดซับ ปริมาณไบโอดีเซลหลังการดูดซับจึงลดลงมาก โดยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีการสูญเสียไบโอดีเซลมากกว่าถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย แสดงดังภาพที่ 4.6 และสรุปในตารางที่ 4.9 เนื่องจากถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีขนาดเล็กกว่าทำให้ไบโอดีเซลติดอยู่กับผิวด้านนอกได้มากกว่า และแยกไบโอดีเซลออกได้ง่ายกว่า ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลจึงลดลงน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไบโอดีเซลที่เหลือหลังการดูดซับ และการที่ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ

200 องศาเซลเซียส มีปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับสูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 2 – 3 ชั่วโมง แตกต่างกันที่ระยะเวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมงแรก อาจเนื่องมาจากขนาดของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่เล็กกว่าถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ส่งผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์สูงกว่าในช่วงแรก และทำให้การดูดซับเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย แต่ขนาดของถ่านดูดซับจะไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อระยะเวลาในการดูดซับมากขึ้น จากผลการเปรียบเทียบถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี BET ไม่มีผลกับระบบนี้เมื่อนำมาดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล



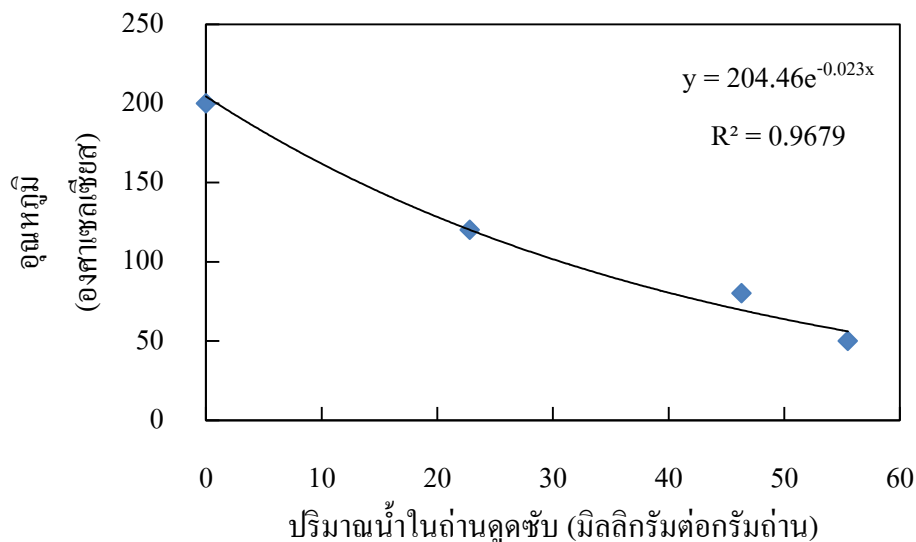
ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลก่อนและหลังการดูดซับกับชนิดของตัวดูดซับ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับไบโอดีเซลของตัวดูดซับชนิดต่างๆภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณการดูดซับไบโอดีเซล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 30200	150.966
CA 40200	122.448
CA 50200	126.942
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์	262.918

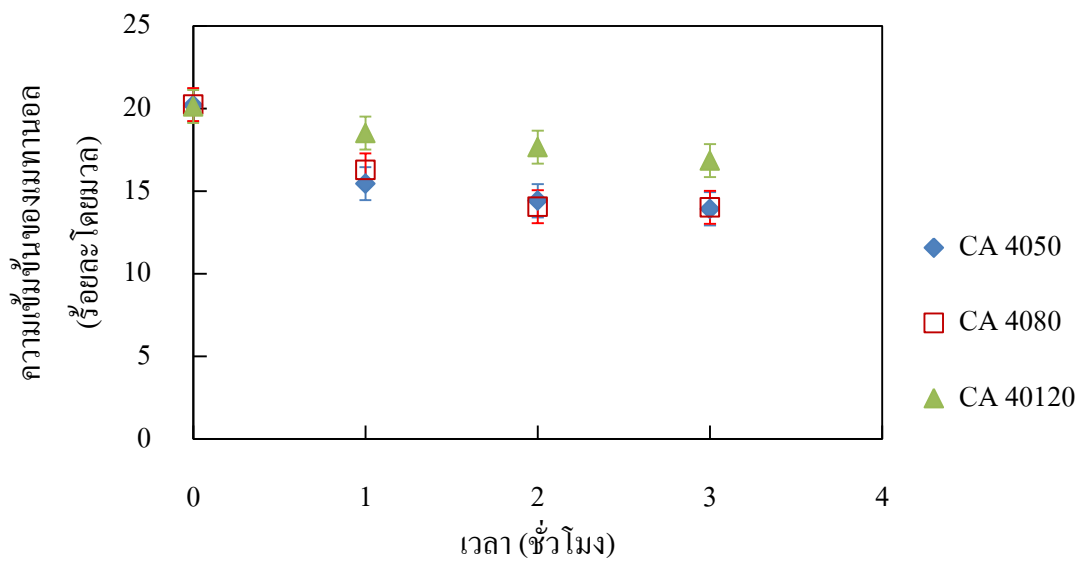
4.3.2 ผลของปริมาณดูดซับน้ำจำเพาะของถ่านดูดซับต่อการดูดซับเมทานอล

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในถ่านดูดซับ ณ อุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในการอบถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง แสดงดังภาพที่ 4.7

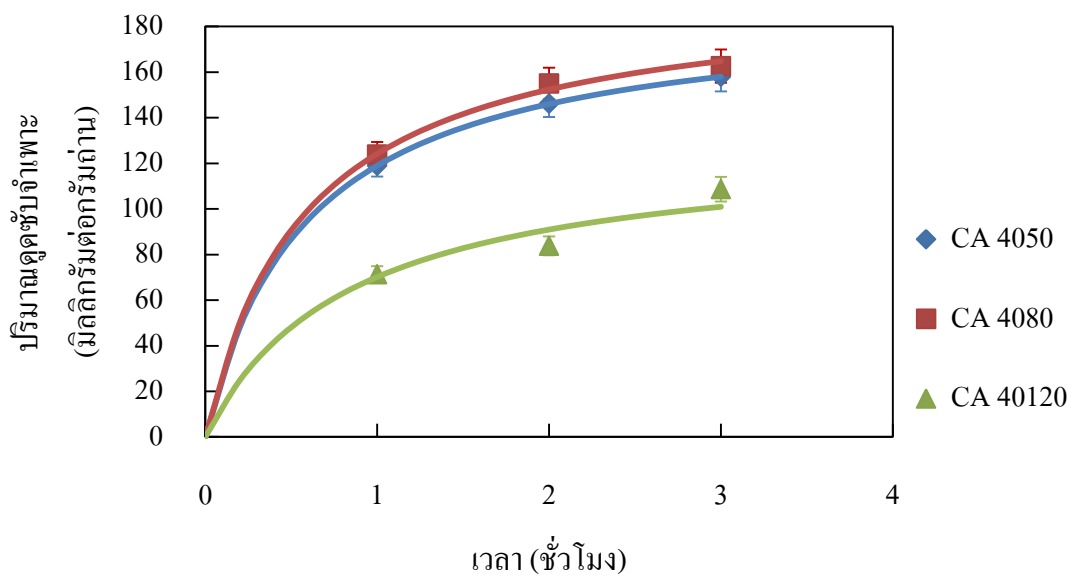


ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในถ่านดูดซับ ณ อุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในการอบถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังขั้นตอนการล้าง

จากการทดลองดูดซับเมทานอลในไบโอโอดีเซล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล ด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านดูดซับต่อไบโอโอดีเซลเป็น 1 ต่อ 3 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.8 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไป โอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120

CA 4050 และ CA 4080 ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าต่ำใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลลดลงเหลือประมาณร้อยละ 15 - 16 โดยมวล ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมทานอลเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีแนวโน้มคงที่ ส่วน CA 40120 ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าสูงสุด

CA 4050 และ CA 4080 มีปริมาณคุดซ์บจำเพาะของถ่านคุดซ์บสูงใกล้เคียงกัน และ มีค่าสูงกว่า CA 40120 ซึ่งการคำนวณปริมาณสมมูลคุดซ์บจำเพาะของถ่านคุดซ์บชนิดต่างๆจากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 สรุปในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณสมมูลคุดซ์บจำเพาะและค่าคงที่อัตราการคุดซ์บของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ชนิดถ่านคุดซ์บ	ปริมาณคุดซ์บจำเพาะ (3 ชั่วโมง) q_{exp} (มิลลิกรัมต่อกรัม)	จลนพลศาสตร์อันดับ 1		
		q_c	k	R^2
CA 4050	157.890	188.987	1.699	1.000
CA 4080	162.608	197.058	1.704	0.991
CA 40120	108.651	129.314	1.186	0.878

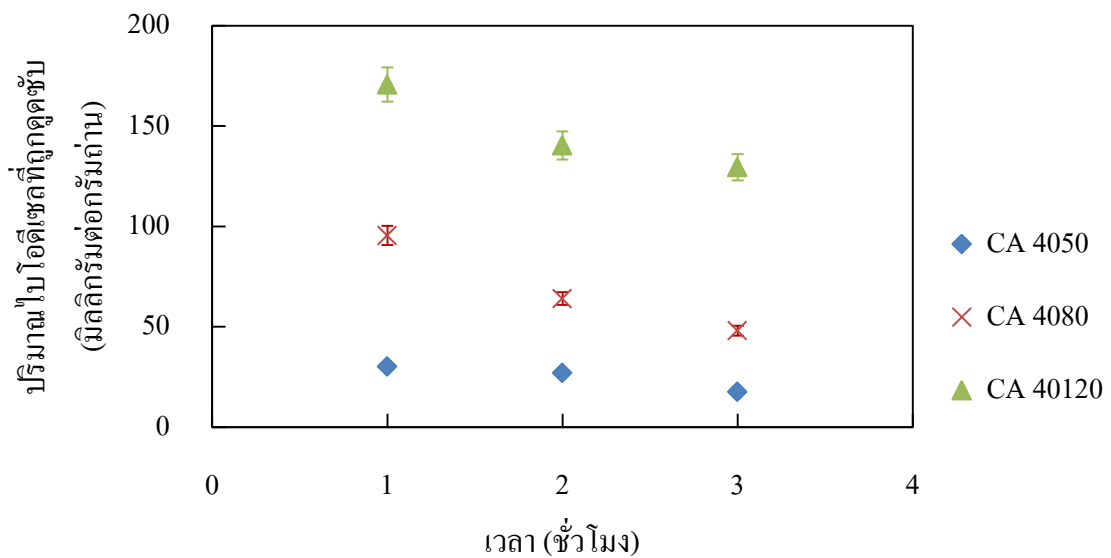
ค่าคงที่อัตราการคุดซ์บของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ปริมาณคุดซ์บจำเพาะของถ่านคุดซ์บทั้ง 3 ชนิดนี้ มีค่าประมาณร้อยละ 80 - 85 ของปริมาณสมมูลคุดซ์บจำเพาะ

ผลการทดลองสรุปได้ว่าถ่านคุดซ์บที่อบ ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 50 และ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณคุดซ์บจำเพาะของถ่านคุดซ์บสูงกว่า และทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าถ่านคุดซ์บที่อบ ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย คือ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากปริมาณน้ำในถ่านคุดซ์บโดย CA 4050 และ CA 4080 มีปริมาณน้ำในถ่านคุดซ์บใกล้เคียงกันและสูงกว่า CA 40120 สรุปในตารางที่ 4.11 ซึ่งแม้จะอบ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำแต่การอบภายในระยะเวลา 5 ชั่วโมง อาจไม่เพียงพอที่ทำให้

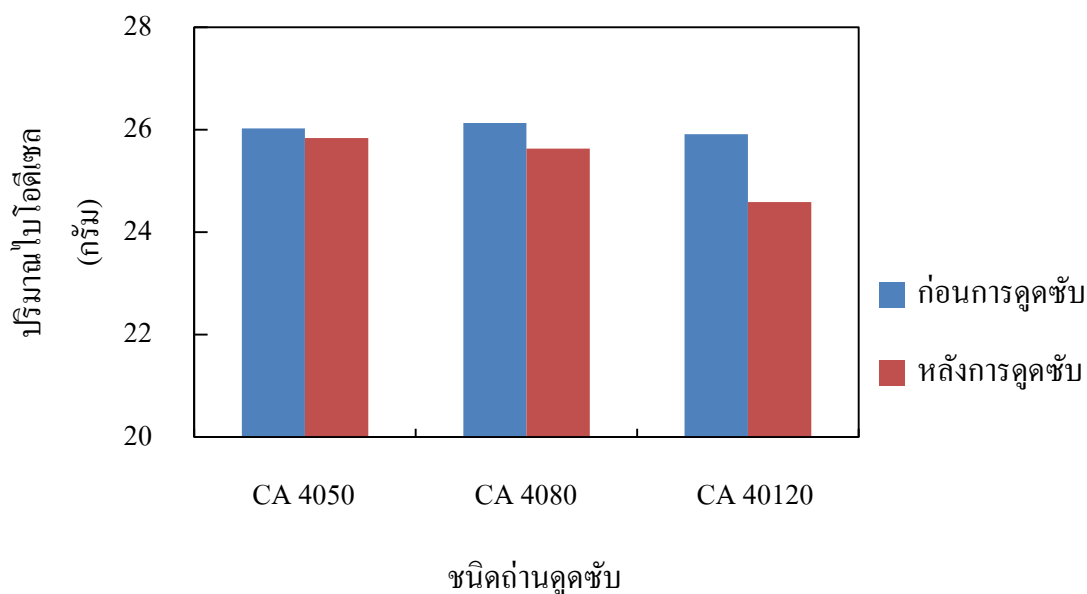
ปริมาณน้ำที่อยู่ภายใน โครงสร้างรูปทรงระเหยออกมาหมด ซึ่งปริมาณน้ำในถ่านดูดซับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทานอล และดึงเมทานอลให้มาเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำได้ [27] ในทางตรงกันข้ามน้ำจะไม่สามารถดึงไบโอดีเซลให้มาเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำได้ ซึ่งผลของปริมาณน้ำในถ่านดูดซับต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ถูกดูดซับและปริมาณไบโอดีเซลหลังการดูดซับ แสดงดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120

ชนิดถ่านดูดซับ	ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 4050	55.50
CA 4080	46.30
CA 40120	22.80



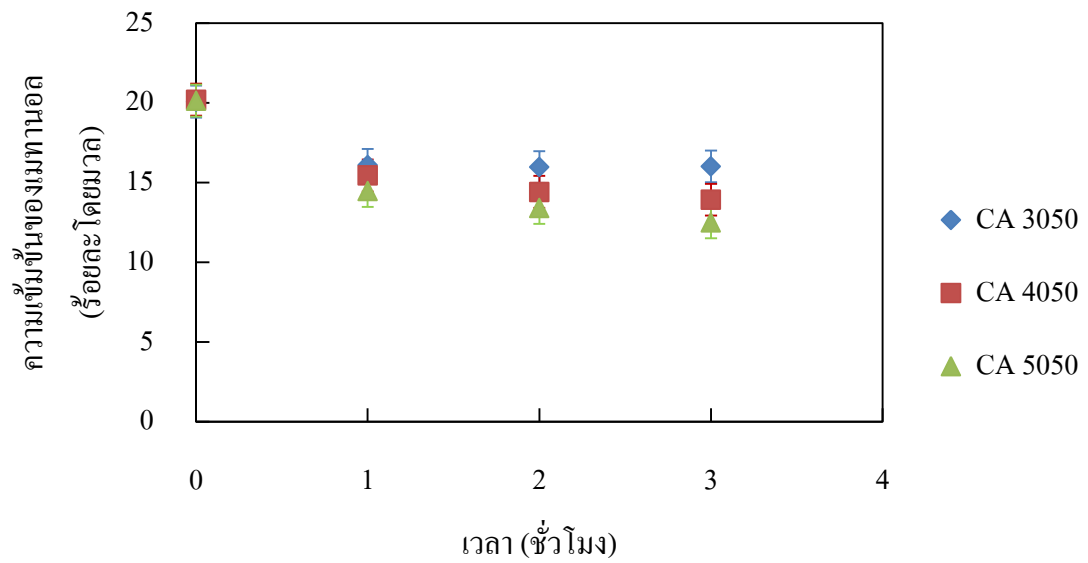
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไบโอดีเซลที่ถูกดูดซับกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120



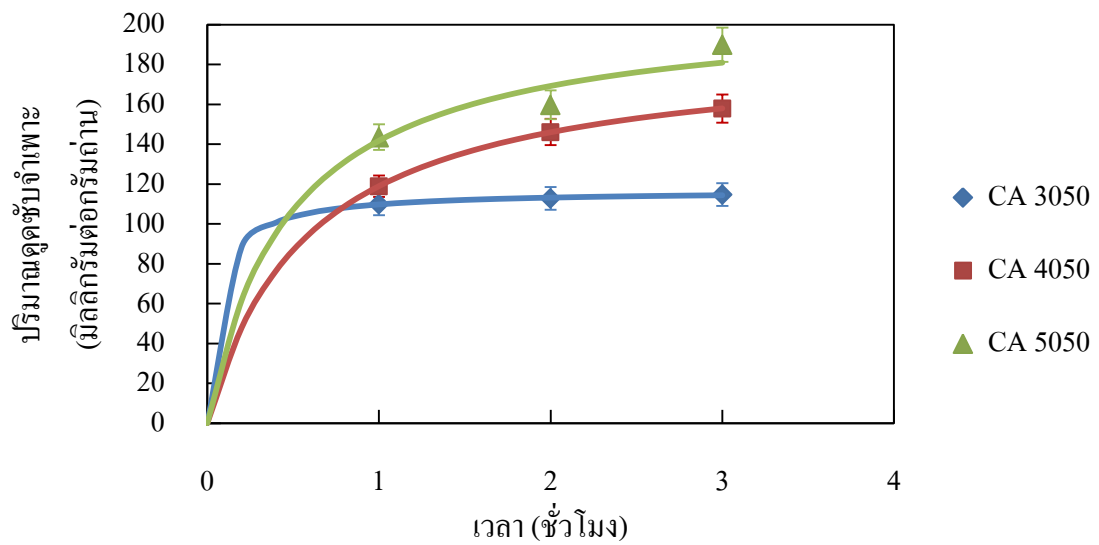
ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณไอน้ำก่อนและหลังการคูดซ้บกับชนิดของถ่านคูดซ้บ

CA 4050 ซึ่งมีปริมาณน้ำในถ่านคูดซ้บสูงสุด มีการคูดซ้บไอน้ำระหว่างการคูดซ้บเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ CA 4080 และ CA 40120 ซึ่งมีปริมาณน้ำในถ่านคูดซ้บน้อยลงตามลำดับ มีการคูดซ้บไอน้ำระหว่างการคูดซ้บในปริมาณที่มากขึ้นตามลำดับเช่นกัน ดังนั้นถ่านที่อบ ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจึงมีการสูญเสียไอน้ำระหว่างการคูดซ้บในปริมาณที่น้อยกว่า

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการอบถ่านคูดซ้บ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ปริมาณคูดซ้บจำเพาะของถ่านคูดซ้บมีค่าสูง และลดการสูญเสียไอน้ำระหว่างการคูดซ้บ และใช้พลังงานความร้อนต่ำ จึงได้ทดลองคูดซ้บเมทานอลในไอน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล แต่เปลี่ยนเป็น CA 3050, CA 4050 และ CA 5050 โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านคูดซ้บต่อไอน้ำเป็น 1 ต่อ 3 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไอน้ำกับระยะเวลาในการคูดซ้บได้ดังภาพที่ 4.12 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคูดซ้บจำเพาะกับระยะเวลาในการคูดซ้บได้ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050

การใช้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างกัน และที่อบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังขั้นตอนการล้าง ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 – 16 โดยมวล ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมทานอลเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีแนวโน้มคงที่

การลดหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ ถ่านดูดซับเป็นร้อยละ 30 และ 50 โดยมวล แต่อบ ณ อุณหภูมิเดิม คือ 50 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมากนัก กล่าวคือ มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณน้ำในถ่านดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน สรุปในตารางที่ 4.12 แต่ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับยังคงมีค่ามากกว่าการใช้ CA 40120 ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับได้จากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 สรุปในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050

ชนิดถ่านดูดซับ	ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 3050	50.20
CA 4050	55.50
CA 5050	60.30

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 3050, CA 4050 และ CA 5050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

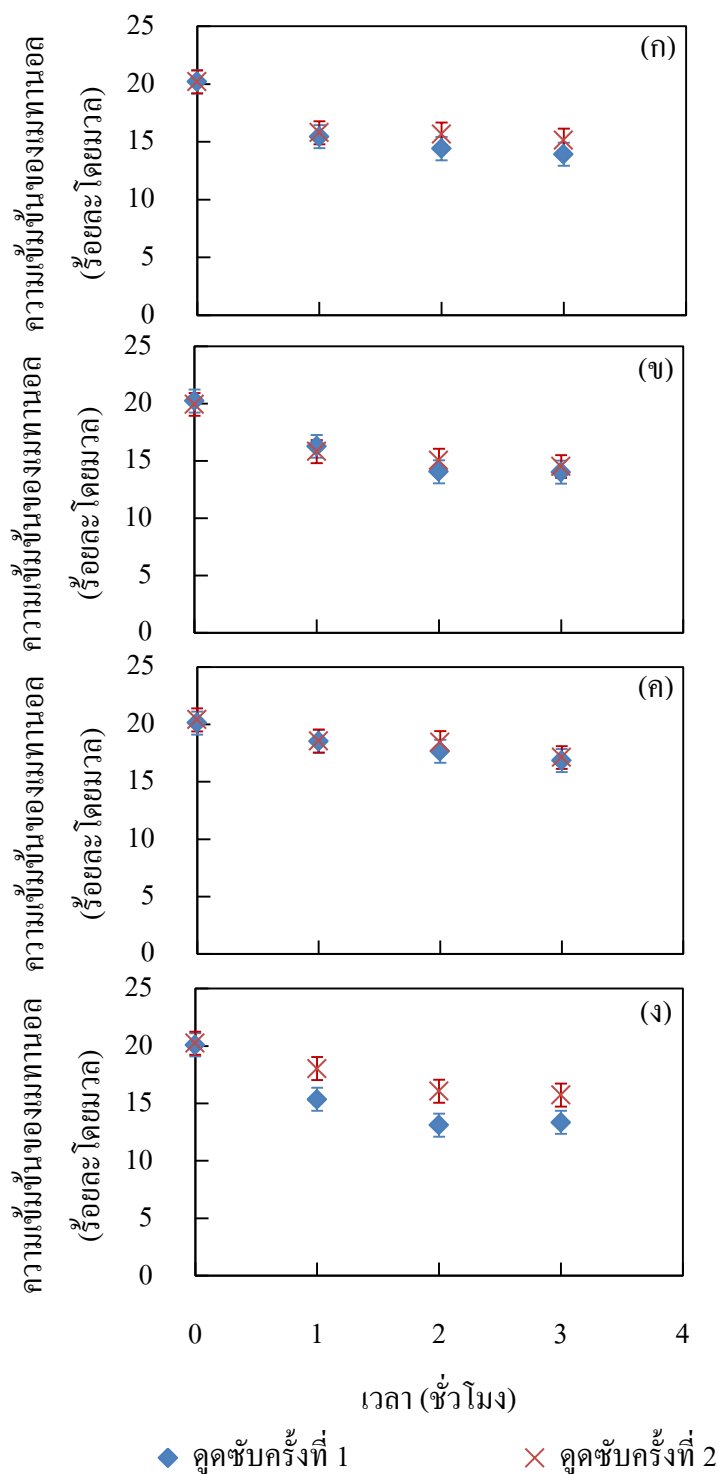
ชนิดถ่านดูดซับ	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (3 ชั่วโมง) q_{exp} (มิลลิกรัมต่อกรัม)	จลนพลศาสตร์อันดับ 1		
		q_e	k	R^2
CA 3050	114.707	116.860	15.548	0.980
CA 4050	157.890	188.987	1.699	1.000
CA 5050	189.951	209.909	2.081	0.864

CA 3050 มีค่าคงที่อัตราการดูดซับสูงสุด ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของ CA 30200 มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะมากที่สุดประมาณร้อยละ 98 มีผลทำให้เข้าสู่สมดุลการดูดซับเร็วกว่า CA 4050 และ CA 5050 ซึ่งมีค่าคงที่อัตราการดูดซับใกล้เคียงกัน มีปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับประมาณร้อยละ 84 และ 90 ตามลำดับ ของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ

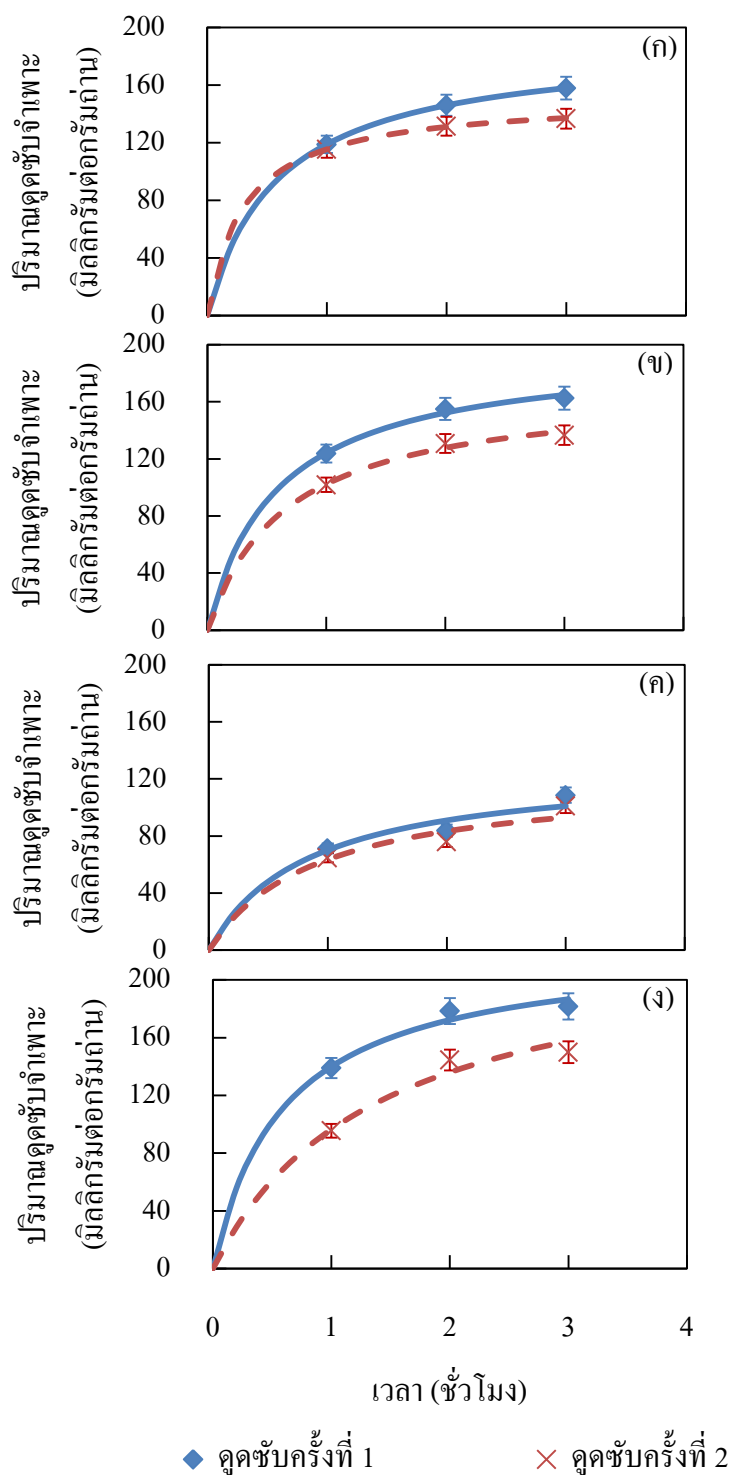
เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับ CA 30200, CA 40200 และ CA 50200 ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1 พบว่าถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่อบ ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำมาก คือ 200 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับสูงกว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะไม่มีปริมาณน้ำหลงเหลืออยู่ภายในถ่านดูดซับ แต่ถ่านดูดซับทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีการดูดซับทั้งเมทานอลและไบโอดีเซลไปพร้อมๆกัน จึงทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับสูง แต่ส่งผลต่อความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลน้อยมาก ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.3.3 ผลของการฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับและนำกลับมาดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้ง

จากการทดลองดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล ด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลแล้ว 1 ครั้ง และนำมาฟื้นฟูสภาพด้วยวิธีการล้างน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปอบ ณ อุณหภูมิเดิม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้ง โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1 ต่อ 3 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.14 และปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของถ่านดูดซับที่ดูดซับครั้งที่ 1 และถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพด้วยการล้างที่ดูดซับครั้งที่ 2 (ก) CA 4050 (ข) CA 4080 (ค) CA 40120 และ (ง) CA 40200



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของถ่านดูดซับที่ดูดซับครั้งที่ 1 และถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพด้วยการล้างที่ดูดซับครั้งที่ 2
(ก) CA 4050 (ข) CA 4080 (ค) CA 40120 และ (ง) CA 40200

CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 1 ของการดูดซับครั้งที่ 1 เปรียบเทียบกับ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ ซึ่งความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่าประมาณร้อยละ 2 - 3 ของการดูดซับครั้งที่ 1 และทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลของการดูดซับครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่าการใช้ CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ

ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับลดลงเพียงเล็กน้อยจากการดูดซับครั้งที่ 1 เปรียบเทียบกับ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ ซึ่งมีปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับลดลงมากจากการดูดซับครั้งที่ 1 การคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพจากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 สรุปในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพด้วยวิธีการล้างน้ำ และนำไปอบ ณ อุณหภูมิเดิม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ชนิดถ่านดูดซับ	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (3 ชั่วโมง) q_{exp} (มิลลิกรัมต่อกรัม)	จลนพลศาสตร์อันดับ 1		
		q_e	k	R^2
CA 4050	136.788	151.459	3.213	0.998
CA 4080	136.731	170.030	1.512	0.986
CA 40120	101.155	121.068	1.105	0.861
CA 40200	149.895	230.705	0.718	0.966

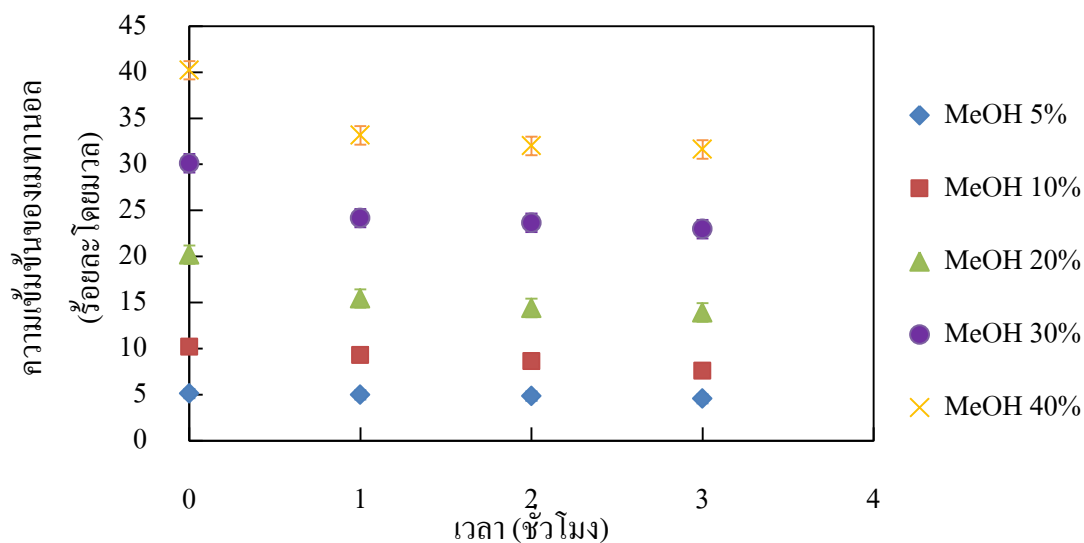
เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลครั้งที่ 1 จะพบว่า CA 4050, CA 4080 และ CA 40120 มีปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับลดลงเช่นเดียวกับปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง และมีค่าคงที่อัตราการดูดซับต่ำกว่าการดูดซับครั้งที่ 1 เพียงเล็กน้อย ยกเว้น CA 4050 ที่มีค่าคงที่อัตราการดูดซับสูงขึ้นทำให้เข้าสู่สมดุลการ

ดูดซับเร็วขึ้น ส่วน CA 40200 มีปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับใกล้เคียงกับครั้งที่ 1 แต่ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงลดลงมาก อีกทั้งค่าคงที่อัตราการดูดซับมีค่าต่ำกว่าการดูดซับครั้งที่ 1 แสดงว่าการดูดซับครั้งที่ 2 ของ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการดูดซับมากขึ้นกว่าจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

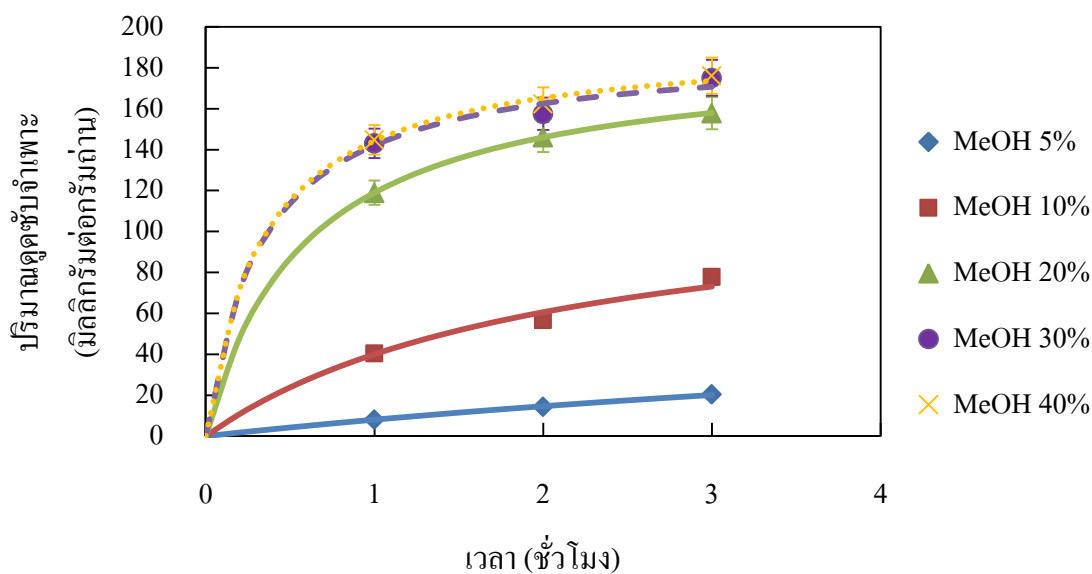
ผลการทดลองสรุปได้ว่าการนำถ่านดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพด้วยวิธีการล้างและนำไปอบ ณ อุณหภูมิเดิม แล้วนำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้ง ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับลดลง และทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของถ่านดูดซับที่สามารถนำมาใช้ดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้งภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง กล่าวคือ CA 4050 และ CA 4080 แม้ความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลในครั้งแรกจะน้อยกว่า CA 40200 แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลซ้ำหลังการฟื้นฟูสภาพมากกว่า และการที่ CA 40200 มีบางส่วนแตกหักระหว่างการดูดซับก็เป็นอีกปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อการดูดซับซ้ำของถ่านดูดซับ ซึ่งถ้าในกระบวนการมีการนำถ่านดูดซับไปใช้ดูดซับซ้ำหลายๆครั้ง อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของถ่านดูดซับไปกับไบโอดีเซลได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของไบโอดีเซลได้

4.3.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลในไบโอดีเซล

จากการทดลองดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยมีมวลด้วย CA 4050 โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลถ่านดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1 ต่อ 3 ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.16 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับได้ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอลในไบโอดีเซล



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอลในไบโอดีเซล

ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 – 40 โดยมวล ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลลดลงเหลือประมาณร้อยละ 15, 24 และ 33 โดยมวล ตามลำดับ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจาก 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเมทานอลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 5 – 10 โดยมวล ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลเปลี่ยนแปลงน้อยมากตั้งแต่ระยะเวลาที่เริ่มดูดซับ

การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลในไบโอดีเซลจากร้อยละ 5 – 40 โดยมวล ส่งผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลเป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่อยู่ในไบโอดีเซลกับบริเวณผิวของถ่านดูดซับเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving Force) เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังทำให้ความหนืดของไบโอดีเซลลดลง ความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลของถ่านดูดซับจึงสูงขึ้น โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 – 40 โดยมวล ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มคงที่ภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 5 – 10 โดยมวล ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าต่ำ และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการดูดซับมากกว่า การคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับจากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 สรุปในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะและค่าคงที่อัตราการดูดซับของแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 ของ CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล

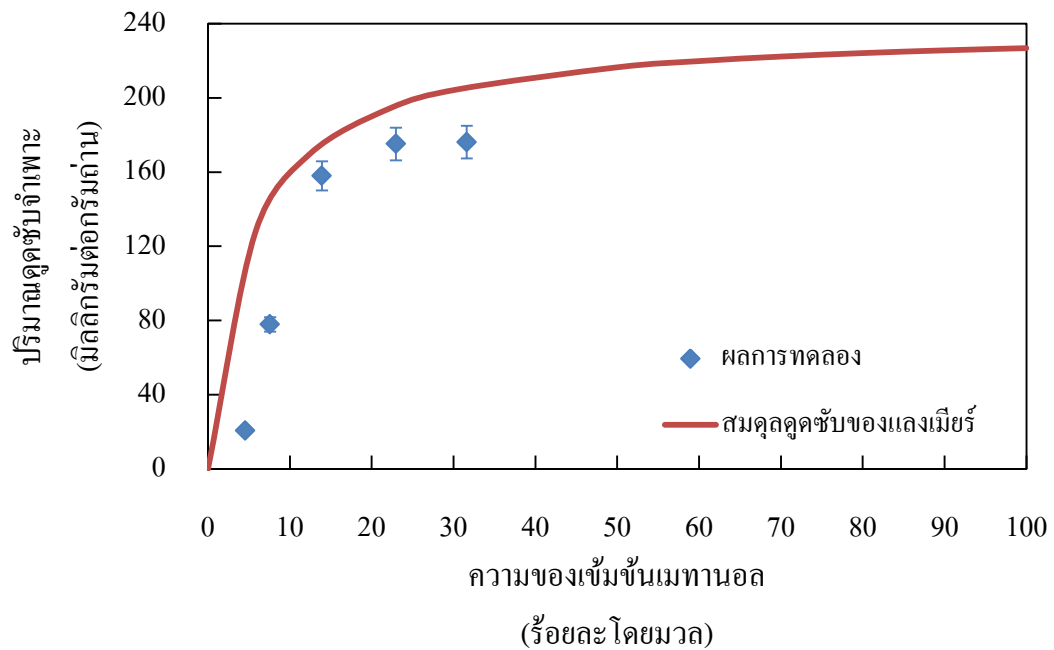
ความเข้มข้นเริ่มต้น (ร้อยละโดยมวล)	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (3 ชั่วโมง) q_{exp} (มิลลิกรัมต่อกรัม)	จลนพลศาสตร์อันดับ 1		
		q_c	k	R^2
5	20.540	80.460	0.111	0.999
10	77.895	124.752	0.472	0.972
20	157.890	188.987	1.699	1.000
30	175.100	189.868	2.976	0.925
40	176.129	193.348	2.938	0.975

ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล มีค่าคงที่อัตราการดูดซับต่ำมาก ส่งผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าเป็นร้อยละ 26 และ 62 ตามลำดับของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ซึ่งแตกต่างจากที่สมดุลมาก ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 – 40 โดยมวล มีค่าคงที่อัตราการดูดซับสูงขึ้น ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าประมาณร้อยละ 84 - 92 ของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ แสดงว่าที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะต้องใช้ระยะเวลาในการดูดซับมากกว่าเพื่อจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

4.3.5 แบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล

ความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งข้อมูลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลของถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลต่างๆ ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมงซึ่งเป็นผลการทดลองที่ยังไม่เข้าสู่สมดุลดูดซับ จะถูกนำมาทดสอบสมดุลดูดซับด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมนำมาใช้อธิบายการดูดซับโดยใช้ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับที่คำนวณจากแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับ 1 และความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลที่ได้จากการคำนวณ ได้ค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ K_L และ q_{\max} เท่ากับ 0.200 และ 238.152 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ ตามลำดับ สมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์เขียนได้ ดังสมการที่ 4.2 และสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูล ดูดซับจากผลการทดลองกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์ได้ดังภาพที่ 4.18

$$q_e = \frac{(238.152)(0.200)C_e}{1 + (0.200)C_e} \quad 4.2$$



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบข้อมูลการดูดซับจากผลการทดลองที่ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง กับแบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงเมียร์

ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับจากผลการทดลองในระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง ซึ่งยังไม่เข้าสู่สมมูลดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเมทานอลในไป โอดิเซลเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 15 โดยมวล ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงเมียร์ซึ่งคำนวณโดยใช้ผลที่เข้าสู่สมมูลดูดซับแล้ว คือ ที่ช่วงความเข้มข้นของเมทานอลมากกว่าร้อยละ 15 โดยมวล ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับมีค่าเข้าใกล้แบบจำลองอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 86 – 93 มากกว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลร้อยละ 5 – 10 ซึ่งเข้าใกล้แบบจำลองไม่เกินร้อยละ 60 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอลทำให้มีแนวโน้มการเข้าสู่สมมูลดูดซับเร็วขึ้น และที่ความเข้มข้นของเมทานอลต่ำอาจต้องใช้เวลาในการดูดซับมากขึ้น หรือเพิ่มปริมาณถ่านดูดซับที่ใช้ในการดูดซับเพื่อจะเข้าสู่สมมูลดูดซับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกถั่วแมคคาเดเมียด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่ใช้ดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล มีปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับสูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าวแบบแห้ง

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบถ่านดูดซับหลังขั้นตอนการล้างของถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่สภาวะเดียวกัน ทำให้ปริมาณน้ำในถ่านดูดซับแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับ ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซล ปริมาณไบโอดีเซลที่ถูกดูดซับ และปริมาณไบโอดีเซลที่เหลือหลังการดูดซับ โดยมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันแล้วแต่การเลือกไปใช้งาน ดังนี้

2.1 ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีปริมาณดูดซับจำเพาะของเมทานอลต่ำสุด และทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลมีค่าสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำในถ่านดูดซับต่ำ

2.2 ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณดูดซับจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลพบว่าตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้งมีการสูญเสียน้ำมันบางส่วนในระหว่างการดูดซับ

2.3 ถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับน้อยกว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 50, 80 และ 120 องศาเซลเซียส

3. ภายหลังจากฟื้นฟูสภาพถ่านดูดซับ และนำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลอีกครั้ง พบว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 50 และ 80 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ดีกว่าถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับ

และความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง แตกต่างจากการดูดซับครั้งที่ 1 น้อยกว่า และการนำถ่านดูดซับที่อบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส กลับมาใช้ใหม่ โดยการนำไปใช้ดูดซับซ้ำ ทำให้ถ่านดูดซับเกิดการแตกหักและปนเปื้อนไปกับไบโอดีเซลมากกว่า ถ่านดูดซับชนิดอื่น

4. การเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอลเริ่มต้นในไบโอดีเซล ทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น และสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับในระบบแบบต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม
2. เพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ เพื่อให้การทดลองเข้าสู่สมดุลการดูดซับ
3. ควรมีการหาปริมาณเมทานอลในถ่านดูดซับที่สามารถดูดซับได้หลังกระบวนการดูดซับ เปรียบเทียบกับปริมาณเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซล

รายการอ้างอิง

- [1] พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล และลลิตา อัดนโถ. รอบรู้...เรื่องราว ไบโอดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมุทรปราการ : พิมพ์พินิจ การพิมพ์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.), 2549.
- [2] พินิจ จันทร และคณะ. ไบโอดีเซล : พลังงานทดแทนแห่งอนาคต. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : สำนักพิมพ์ บู้คส์เอ็กเพรส, 2552.
- [3] Boog, J.H.F, Silveira, E.L.C, Caland, L.B.D., and Tubino, M. Determining the residual alcohol in biodiesel through its flash point. Fuel 90 (2011) : 905 – 907.
- [4] Berrios, M., and Skelton, R.L. Comparison of purification methods for biodiesel. Chemical Engineering Journal 144 (2008) : 459 – 465.
- [5] Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Aziz, A.R., and Sulaiman, N.M.N. Refining technologies for the purification of crude biodiesel. Applied Energy (2011).
- [6] Atadashi, I.M., Aroua, M.K., and Aziz, A. Biodiesel separation and purification: A review. Renewable Energy 36 (2011) : 437 – 443.
- [7] Girgis, B.S., Yunis, S.S., and Soliman, A.M. Characteristics of activated carbon from peanut hulls in relation to conditions of preparation. Materials Letters 57 (November 2002) : 164 – 172.
- [8] Benaddi, H., and Others. Surface functionality and porosity of activated carbons obtained from chemical activation of wood. Carbon 38 (2000) : 669 – 674.
- [9] Guo, J., and Lua, A.C. Surface functional groups on oil-palm-shell adsorbents prepared by H₃PO₄ and KOH activation and their effects on adsorptive capacity. Trans IChemE 81 (May 2003) : 585 – 590.
- [10] ธารพงษ์ วิทิตสานต์. ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้ พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553
- [11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. ถ่านกัมมันต์. มอก.900 – 2547., 2547.
- [12] Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., zhang, L., Xia, H., and Duan, X. Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. Bioresource Technology 101 (2010) : 6163 – 6169.

- [13] ชีรวิมล ศักดิ์สุภา. การดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลโดยก้านกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [14] Wang, S., and Zhu, Z.H. Effect of acidic treatment of activated carbons on dye adsorption. Dyes and Pigments 75 (2007) : 306 – 314.
- [15] Chang, C.Y., Lee, S.L., and Tsai, W.T. Preparation and characterization of activated carbons from corn cob.
- [16] อังคณา ถัทธิกุล และ จิตติพร เสาวชาคริต การดูดซับน้ำในสารละลายเอทานอลด้วยโมเลกุลาร์ซีฟชนิด 3A และ 4A. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [17] Rodrigues, A.E., Levan M.D., and Tondeur, D. Adsorption : Science and Technology. Vol 158. The Netherland : Kluwer Academic, 1988.
- [18] การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมแก๊ส. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www2.diw.go.th/KM/pdf%5Cknow%5Cgas.pdf> [9 กันยายน 2554]
- [19] ชวริน โภษะรัตน์. การแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล-น้ำโดยใช้ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [20] วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. การดูดซับสารละลายคองโกเรดด้วยซิลิกาจากถ้ำเกลือที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์ไนเตรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [21] Rousseau, R.W. Handbook of Separation Process Technology. New York, 1987.
- [22] Crittenden, B., and Thomas, W.J. Adsorption Technology & Design. Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1988.
- [23] Yousef, R.I., El – Eswed, B., and Al – Muhtaseb, A.H. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: Kinetics, mechanism, and thermodynamics studies. Chemical Engineering Journal 171 (2011) : 1143 – 1149.

- [24] Dogan, M., Özdemir, Y., and Alkan, M. Adsorption kinetics and mechanism of cationic methyl violet and methylene blue dyes onto sepiolite. Dyes and Pigments 75 (2007) : 701 – 713.
- [25] เดชา ฉัตรศิริเวช. กระบวนการดูดซับ. 1,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [26] Akpa, O.M., and Unuabonah, E.I. Small-Sample Corrected Akaike Information Criterion : An appropriate statistical tool for ranking of adsorption isotherm models. Desalination 272 (2011) : 20 – 26.
- [27] อ้อยทิพย์ ลิมป์ปัญญาเลิศ. ผลกระทบของกรดฟอสฟอริกในถ่านกัมมันต์พาณิชย์จากกะลามะพร้าวต่อการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [28] Toles, C.A., Marshall, W.E., and Johns, M.M. Activated nutshell carbons from agricultural waste. United States Patent (March 2000).
- [29] Girgis, B.S., and El – Hendawy, A.N.A. Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid. Microporous and Mesoporous Materials 52 (2002) : 105 – 117.
- [30] Budinova, T., and Others. Characterization and application of activated carbon produced by H_3PO_4 and water vapor activation. Fuel Processing Technology 87 (2006) : 899 – 905.
- [31] Carrott, P.J.M., Carrott, M.M.L, and Cansado, I.P.P. Reference data for the adsorption of methanol on carbon materials. Carbon 39 (2001) : 193 – 200.
- [32] Jagtoyen, M., and Derbyshire, F. Activated carbons from yellow poplar and white oak by H_3PO_4 activation. Carbon 36 (1998) : 1085 – 1097.
- [33] ณัฐยา พูนสุวรรณ. การเตรียมและวัดสมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านลิกไนต์และชานอ้อยโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545.
- [34] พงศรีชฎ์ ชูทัย และ สุเชษฐ วิบูลย์สถิตธารา การศึกษาการดูดซับเมทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลด้วยถ่านดูดซับจากเปลือกแมคคาดีเมีย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

- [35] เกษรา คำภาพักตร์. เคมีเบื้องต้น. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา:
<http://student.nu.ac.th/46410551/lesson4.htm> [8 พฤษภาคม 2555]
- [36] วิสรุต โลจนานนท์. ผลของการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริกต่อการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [37] Tat, M. E., and Gerpen, J. H. The kinematic viscosity of biodiesel and its blends with diesel fuel. J. American Oil Chem Soc 76 (1999) : 1511 - 1513.
- [38] Allen, C. W., Watts, K. C., and Ackman, R. G. Predicting the surface tension of biodiesel fuels from their fatty acid composition. J. American Oil Chem Soc 76 (1999) : 317 - 323.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : ผลการทดลองหาความหนาแน่นของของผสมเมทานอล

ตาราง ก.1 ความหนาแน่นของของผสมเมทานอลกับน้ำ

ความเข้มข้นของเมทานอล (ร้อยละ โดยมวล)	น้ำหนักของผสมที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	10.3140	10.3473	10.6735	1.0324
5	10.2037	10.2650	10.5908	1.0233
10	10.1400	10.1675	10.5056	1.0152
15	10.0787	10.1232	10.4336	1.0093
20	9.9562	9.9998	10.3129	0.9972
25	9.8515	9.8888	10.2074	0.9867
30	9.7621	9.8183	10.1315	0.9789
35	9.7166	9.7728	10.0748	0.9740
40	9.5958	9.6174	9.9362	0.9604

ก.1 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

ตารางที่ ก.2 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

ความเข้มข้นของเมทานอล (ร้อยละ โดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
5	10.1842	10.2193	10.5408	1.0195
10	10.2507	10.2887	10.6098	1.0262
20	10.0972	10.1351	10.4514	1.0109
30	10.0331	10.0691	10.3879	1.0045
40	9.9734	10.0188	10.3309	0.9990

ก.2 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วยถ่านดูดซับชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ตารางที่ ก.3 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง

ชนิดถ่านดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
CA 30200	1	10.1403	10.2017	10.5096	1.0165
	2	10.1527	10.1893	10.5075	1.0164
	3	10.1549	10.1905	10.5104	1.0166
CA 40200	1	10.1435	10.1988	10.5017	1.0162
	2	10.1691	10.2088	10.5298	1.0182
	3	10.1721	10.2098	10.5298	1.0184
CA 50200	1	10.1650	10.1988	10.5017	1.0169
	2	10.1698	10.2098	10.5168	1.0179
	3	10.1685	10.2130	10.5216	1.0181
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง	1	10.1704	10.2074	10.5283	1.0182
	2	10.1752	10.2101	10.5310	1.0186
	3	10.1675	10.2016	10.5280	1.0179

ตารางที่ ก.4 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050

ชนิดถ่านดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
CA 3050	1	10.1349	10.1890	10.5032	10.0156
	2	10.1387	10.1793	10.5046	10.0155
	3	10.1397	10.1804	10.5050	1.0156
CA 4050	1	10.1484	10.1833	10.5012	1.0158
	2	10.1521	10.2022	10.5132	1.0170
	3	10.1600	10.2121	10.5195	1.0178
CA 5050	1	10.1526	10.1926	10.5155	1.0167
	2	10.1642	10.2023	10.5301	1.0179
	3	10.1767	10.2129	10.5368	1.0189

ตารางที่ ก.5 ความหนาแน่นของน้ำล้างไปโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120

ชนิดถ่านดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
CA 4050	1	10.1484	10.1833	10.5012	1.0158
	2	10.1521	10.2022	10.5132	1.0170
	3	10.1600	10.2121	10.5195	1.0178
CA 4080	1	10.1391	10.1814	10.5001	1.0154
	2	10.1523	10.2036	10.5091	1.0169
	3	10.1609	10.2063	10.5176	1.0175
CA 40120	1	10.1217	10.1583	10.4765	1.0133
	2	10.1347	10.1622	10.4802	1.0140
	3	10.1324	10.1785	10.4963	1.0150

ตารางที่ ก.6 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ

ชนิดถ่านดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
CA 4050	1	10.1452	10.1782	10.4922	1.0152
	2	10.1455	10.1880	10.4982	1.0158
	3	10.1507	10.1902	10.5029	1.0162
CA 4080	1	10.1266	10.1750	10.4952	1.0146
	2	10.1376	10.1876	10.5088	1.0159
	3	10.1392	10.1902	10.5113	1.0161
CA 40120	1	10.1191	10.1580	10.4746	1.0131
	2	10.1115	10.1571	10.4698	1.0127
	3	10.1244	10.1702	10.4812	1.0139
CA 40200	1	10.1250	10.1623	10.4827	1.0138
	2	10.1266	10.1844	10.5042	1.0153
	3	10.1335	10.1911	10.5053	1.0157

ก.3 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล

ตารางที่ ก.7 ความหนาแน่นของน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล

ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำล้างที่วัดโดย Pycnometer			ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
5	1	10.2488	10.2822	10.6045	1.0258
	2	10.2503	10.2872	10.6107	1.0262
	3	10.2513	10.2894	10.6117	1.0263
10	1	10.1957	10.2374	10.5586	1.0211
	2	10.2007	10.2489	10.5680	1.0219
	3	10.2109	10.2492	10.5854	1.0228
20	1	10.1484	10.1833	10.5012	1.0158
	2	10.1521	10.2022	10.5132	1.0170
	3	10.1600	10.2121	10.5195	1.0178
30	1	10.0872	10.1235	10.4425	1.0099
	2	10.0829	10.1333	10.4494	1.0103
	3	10.0896	10.1372	10.4551	1.0109
40	1	10.0261	10.0621	10.3798	1.0038
	2	10.0275	10.0677	10.3930	1.0045
	3	10.0283	10.0686	10.3981	1.0047

ภาคผนวก ข : ผลการคำนวณความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล

ข.1 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

ตารางที่ ข.1 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซลหลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)	ความเข้มข้น เมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในไบโอดีเซล (กรัม)
5	3.980	32.8723	1.3084	0.0005
10	7.667	34.5533	2.6493	0.0034
20	12.355	40.8833	5.0510	0.1680
30	15.837	46.7799	7.4086	0.4204
40	18.839	52.6398	9.9166	0.6433

ตารางที่ ข.2 ปริมาณสมมูลเมทานอลที่อยู่ในน้ำล้างและไบโอดีเซล (ร้อยละโดยมวล) หลังการล้างครั้งที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล ก่อนการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)	ร้อยละของเมทานอล	
	น้ำล้าง	ไบโอดีเซล
5	99.964	0.036
10	99.870	0.130
20	96.780	3.220
30	94.631	5.369
40	93.908	6.092

ข.2 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วยถ่านดูดซับชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ตารางที่ ข.3 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอลในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซล (กรัม)
CA 30200	1	9.326	39.4708	3.6811	0.1225
	2	9.372	39.5064	3.7027	0.1232
	3	9.259	38.7948	3.5921	0.1195
CA 40200	1	9.467	38.8269	3.6756	0.1223
	2	8.376	38.1726	3.1975	0.1064
	3	8.253	38.3417	3.1642	0.1053
CA 50200	1	9.089	38.9486	3.5401	0.1178
	2	8.530	39.3169	3.3536	0.1116
	3	8.407	37.9359	3.1893	0.1061
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์แบบแห้ง	1	8.354	37.1718	3.1052	0.1033
	2	8.171	39.1221	3.1967	0.1064
	3	8.516	38.9921	3.3204	0.1105

ตารางที่ ข.4 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น เมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในไบโอดีเซล (กรัม)
CA 3050	1	9.769	40.2518	3.9321	0.1308
	2	9.853	40.1134	3.9524	0.1315
	3	9.795	40.1306	3.9310	0.1308
CA 4050	1	9.672	40.0565	3.8742	0.1289
	2	9.044	40.1350	3.6300	0.1208
	3	8.611	40.4427	3.4824	0.1159
CA 5050	1	9.168	39.407	3.6130	0.1202
	2	8.523	40.1847	3.4247	0.1139
	3	7.988	39.6829	3.1699	0.1055

ตารางที่ ข.5 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมดุลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น เมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในไบโอดีเซล (กรัม)
CA 4050	1	9.672	40.0565	3.8742	0.1289
	2	9.044	40.1350	3.6300	0.1208
	3	8.611	40.4427	3.4824	0.1159
CA 4080	1	9.890	39.9065	3.9466	0.1313
	2	9.090	38.7862	3.5257	0.1173
	3	8.735	39.8119	3.4776	0.1157
CA 40120	1	11.045	39.4374	4.3560	0.1449
	2	10.679	39.4855	4.2165	0.1403
	3	10.129	39.5763	4.0088	0.1334

ตารางที่ ข.6 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น เมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในไบโอดีเซล (กรัม)
CA 4050	1	9.985	39.8004	3.9739	0.1322
	2	9.692	39.7383	3.8513	0.1281
	3	9.475	39.3886	3.7320	0.1242
CA 4080	1	10.315	39.1445	4.0377	0.1343
	2	9.645	39.3298	3.7933	0.1262
	3	9.524	38.6760	3.6835	0.1226
CA 40120	1	11.131	39.5416	4.4014	0.1464
	2	11.368	39.4691	4.4869	0.1493
	3	10.696	39.1578	4.1882	0.1393
CA 40200	1	10.802	39.1386	4.2276	0.8923
	2	9.980	38.2467	3.8170	1.3047
	3	9.717	38.9450	3.7842	1.3785

ข.3 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วยถ่าน CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของ
เมทานอล

ตารางที่ ข.7 ความเข้มข้นเมทานอลในน้ำล้าง และปริมาณสมมูลเมทานอลในน้ำล้างและไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ
ของเมทานอล

ความเข้มข้นเริ่มต้น ของเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)	ระยะเวลา ในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น เมทานอลในน้ำล้าง (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในน้ำล้าง (กรัม)	ปริมาณเมทานอล ในไบโอดีเซล (กรัม)
5	1	4.228	30.2201	1.2779	0.0005
	2	3.998	30.2247	1.2085	0.0004
	3	3.922	30.7802	1.2074	0.0004
10	1	6.812	33.1474	2.2579	0.0008
	2	6.344	33.4733	2.1234	0.0008
	3	5.842	32.6431	1.9071	0.0007
20	1	9.672	40.0564	3.8742	0.1289
	2	9.044	40.1350	3.6300	0.1208
	3	8.611	40.4427	3.4824	0.1159
30	1	12.903	45.4818	5.8816	0.3337
	2	12.675	45.8554	5.8121	0.3298
	3	12.382	45.4869	5.6324	0.3196
40	1	16.235	50.2851	8.1638	0.5296
	2	15.868	50.1084	7.9513	0.5158
	3	15.745	50.0083	7.8738	0.5108

ภาคผนวก ก : ผลการคำนวณหาปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ

ก.1 ผลของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับหลังการดูดซับด้วยถ่านดูดซับชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณดูดซับจำเพาะหลังการดูดซับด้วย CA 30200, CA 40200, CA 50200 และถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรที่เวลาใดๆ (มิลลิลิตร)	น้ำหนักถ่านดูดซับ (กรัม)	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 30200	1	142.925	36.6	116.867	32.5	10.7557	133.370
	2	143.018	36.8	114.162	33.5	10.6133	135.472
	3	143.235	36.5	112.972	32.9	10.6085	143.481
CA 40200	1	143.583	36.7	114.681	33.1	10.6880	138.241
	2	143.348	36.4	100.026	33.0	10.5652	181.409
	3	143.951	36.4	101.591	32.2	10.7833	183.456
CA 50200	1	143.942	36.7	109.639	33.4	10.6880	151.342
	2	144.174	36.7	104.736	33.1	10.6037	172.674
	3	143.583	36.6	102.952	32.0	10.7444	181.763
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์	1	142.353	36.6	108.511	29.6	11.0388	180.927
	2	143.488	36.5	106.404	31.0	10.5975	182.626
	3	145.422	37.1	105.788	32.4	10.5717	186.029

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับหลังการดูดซับด้วย CA 3050, CA 4050 และ CA 5050

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรที่เวลาใดๆ (มิลลิลิตร)	น้ำหนักถ่านดูดซับ (กรัม)	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 3050	1	143.503	36.2	119.345	34.0	10.4250	109.199
	2	142.739	36.6	118.537	34.5	10.2592	110.828
	3	144.149	36.1	118.809	34.2	10.1842	112.787
CA 4050	1	142.795	36.7	115.199	34.7	10.3778	118.745
	2	144.653	36.5	108.575	34.5	10.4810	145.745
	3	145.135	36.7	105.388	34.4	10.7752	157.778
CA 5050	1	145.005	36.2	108.976	34.3	10.5920	143.728
	2	144.078	36.6	101.980	34.7	10.8526	159.373
	3	142.370	36.8	95.933	34.1	10.3380	190.299

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณดูดซับจำเพาะของถ่านดูดซับหลังการดูดซับด้วย CA 4050, CA 4080 และ CA 40120

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรที่เวลาใดๆ (มิลลิลิตร)	น้ำหนักถ่านดูดซับ (กรัม)	ปริมาณดูดซับจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 4050	1	142.795	36.7	115.199	34.7	10.3778	118.745
	2	144.653	36.5	108.575	34.5	10.4810	145.745
	3	145.135	36.7	105.388	34.4	10.7752	157.778
CA 4080	1	146.348	36.8	120.481	33.8	10.7296	121.650
	2	142.441	36.9	106.231	34.3	10.4155	154.301
	3	144.514	36.6	106.008	33.9	10.4914	161.919
CA 40120	1	143.630	36.4	134.232	33.5	10.2300	71.956
	2	142.808	36.5	128.994	33.8	10.3273	83.129
	3	144.780	36.3	124.037	33.4	10.2327	109.123

ตารางที่ ค.4 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณดิวคซ์จำเพาะของถ่านดิวคซ์หลังการดิวคซ์ด้วย CA 4050, CA 4080, CA 40120 และ CA 40200 ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ

ชนิดตัวดิวคซ์	ระยะเวลาในการดิวคซ์ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรที่เวลาใดๆ (มิลลิลิตร)	น้ำหนักถ่านดิวคซ์ (กรัม)	ปริมาณดิวคซ์จำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
CA 4050	1	142.013	36.9	117.387	35.0	9.6867	116.857
	2	145.291	36.3	116.590	34.1	9.7403	133.005
	3	145.265	36.4	113.225	34.0	10.4138	137.780
CA 4080	1	141.845	37.1	117.584	35.5	10.8287	101.199
	2	143.203	37.0	112.717	34.8	10.4310	132.068
	3	142.958	36.8	109.244	34.8	10.7032	135.789
CA 40120	1	144.067	36.4	134.392	33.8	10.7336	64.276
	2	146.519	36.7	133.687	34.7	9.6984	77.117
	3	145.468	36.7	125.699	34.4	9.8979	102.048
CA 40200	1	145.200	36.2	131.281	33.3	9.3671	95.262
	2	144.015	36.4	119.135	33.1	8.9749	145.372
	3	144.169	36.7	117.056	33.4	9.1679	150.359

ค.2 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซั้บจำเพาะของถ่านคูดซั้บหลังการคูดซั้บ ด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล

ตารางที่ ค.5 ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ปริมาตรไบโอดีเซล และปริมาณคูดซั้บจำเพาะ หลังการคูดซั้บด้วย CA 4050 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆของเมทานอล

ความเข้มข้นเริ่มต้นเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)	ระยะเวลาในการคูดซั้บ (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตรที่เวลาใดๆ (มิลลิลิตร)	น้ำหนักถ่านคูดซั้บ (กรัม)	ปริมาณคูดซั้บจำเพาะ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
5	1	42.252	32.0	41.232	31.0	9.0100	8.089
	2	42.125	31.7	40.095	30.2	9.0190	14.003
	3	42.849	32.6	37.842	32.0	9.1864	20.554
10	1	79.909	33.1	73.581	30.7	9.5263	40.904
	2	80.508	33.2	68.704	31.0	9.6263	56.754
	3	79.645	33.3	61.084	31.2	9.5565	77.916
20	1	142.795	36.7	115.199	34.7	10.3778	118.745
	2	144.653	36.5	108.575	34.5	10.4810	145.745
	3	145.135	36.7	105.388	34.4	10.7752	157.778
30	1	196.701	40.0	166.539	37.3	11.4474	142.534
	2	197.562	40.0	163.783	37.5	11.0488	157.840
	3	197.828	39.9	159.985	37.2	11.0131	175.104
40	1	242.655	43.2	211.919	41.0	12.2989	144.819
	2	243.180	43.3	206.504	41.0	12.7472	162.332
	3	243.846	43.0	204.685	41.0	12.043	176.129

ภาคผนวก ง : ตัวอย่างการคำนวณ

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นเมทานอลของของผสมเมทานอลกับน้ำจากความหนาแน่น ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมเมทานอลกับน้ำหาได้จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเมทานอลกับน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์ คือ

$$y = -546.05x + 564.36$$

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)

x คือ ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)

สำหรับน้ำล้างไบโอดีเซล หลังการดูดซับด้วย CA 4050 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเมทานอลร้อยละ 20 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.0178 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นจึงคำนวณค่าความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำล้าง ได้เท่ากับ

$$y = -546.05(1.0178) + 564.36$$

$$y = 8.59$$

ง.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาใดๆ

ปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาใดๆคำนวณได้จากสมการ

$$q_t = \frac{C_o V_o - C_t V_t}{W}$$

เมื่อ q_t คือ ปริมาณดูดซับจำเพาะที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ)

C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทานอลในไบโอดีเซล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

C_t คือ ความเข้มข้นที่เวลาใดๆของเมทานอลในไบโอดีเซล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

V_o คือ ปริมาตรเริ่มต้นของไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)

V_t คือ ปริมาตรที่เวลาใดๆของไบโอดีเซล (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักถ่านดูดซับ (กรัม)

สำหรับการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล ด้วย CA 4050 น้ำหนัก 10.7752 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 145.135 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 36.7 มิลลิลิตร หลังการดูดซับ 3 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นได้ 105.388 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาตร 34.4 มิลลิลิตร สามารถคำนวณปริมาณดูดซับจำเพาะได้เท่ากับ

$$q_t = \frac{(145.135)(36.7) - (105.388)(34.4)}{10.7752}$$

$$q_t = 157.870 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรรณธิดา บรรจง เกิดเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2531 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554