

การดูดซับเมทานอลในกลีเซอรอลด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว

นางสาวชูไฮณี บินเยาะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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 GLYCEROL WITH COMMERCIAL
COCONUT SHELL ACTIVATED CARBON

Miss Suhainee Binyoh

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

การดูดซับเมทานอลในกลีเซอรอลด้วยถ่านกัมมันต์

เชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว

โดย

นางสาวชูไฮณี บินเยาะ

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบารุงรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา นัทรศิริเวช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร รับคำอินทร์)

ชูไฮณี บินเยาะ : การดูดซับเมทานอลในกลีเซอรอลด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์จาก
 กะลามะพร้าว. (ADSORPTION OF METHANOL IN GLYCEROL WITH
 COMMERCIAL COCONUT SHELL ACTIVATED CARBON) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : รศ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช, 76 หน้า.

การดำเนินการดูดซับเมทานอลและกลีเซอรอลในของผสม ด้วยถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์ที่
 สังกะระห์จากกะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิห้อง การดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 60 นาที
 แบบจำลองสมดุลดูดซับสำหรับเมทานอลและกลีเซอรอลมีความเหมาะสมกับแบบจำลองสมดุลดูด
 ซับของฟรุนดลิช ซึ่งมีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 2.1145 และ 0.9313 ตามลำดับ และค่าดัชนีกำลัง
 เท่ากับ 0.5642 และ 1.2173 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถทำการคืนสภาพตัวดูดซับ โดยการ
 นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นและอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120 องศา
 เซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับที่ผ่านการคืน
 สภาพนี้ มีประสิทธิภาพลดลงประมาณ 30 – 70 เปอร์เซ็นต์ของตัวดูดซับเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความ
 เข้มข้นของของผสม

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

5270275321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADSORPTION / METHANOL / GLYCEROL / COCONUT SHELL

SUHAINEE BINYOH : ADSORPTION OF METHANOL IN GLYCEROL WITH
 COMMERCIAL COCONUT SHELL ACTIVATED CARBON. ADVISOR :
 ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 76 pp.

Adsorptions of methanol and glycerol in their binary mixtures were carried out batch wisely on commercial coconut shell activated carbon at ambient temperature. Adsorption equilibria, as well as adsorption isotherms, were investigated. For recovery of adsorbed methanol and glycerol, a regeneration process had been proposed. The adsorption reached the equilibrium within 60 min. The adsorption isotherms of both methanol and glycerol were agreed very well with Freundlich's model, where the equilibrium constants were 2.1145 and 0.9313, respectively, and the indexes became 0.5642 and 1.2173, respectively. In addition, the adsorbent could be regenerated by drying at 80C, washing with distilled water and drying at 120C for 3 hours. However, the adsorption performance of the regenerated adsorbents was reduced by 30 - 70 % of the original adsorbent depending on the concentration of the binary mixture.

Department : Chemical Engineering Student's Signature

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา นัทรศิริเวช อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา ตลอดจนขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพร รับคำอินทร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับความช่วยเหลือ ตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆในงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 มूलเหตุจูงใจ และที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 ไบโอดีเซล.....	4
2.1.2 ก्लीเซอรอล.....	6
2.1.3 การดูดซับ.....	7
2.1.4 สมดุลการดูดซับ.....	14
2.1.5 การคืนสภาพตัวดูดซับ.....	19
2.1.6 ถ่านกัมมันต์.....	20
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3 การดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	28

3.2	การทดลองหาสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของ เมทานอลในของผสมกับความหนาแน่นของของผสม.....	28
3.3	การทดลองหาการระเหยของของผสม.....	29
3.4	การทดลองหาสมมูลการดูดซับ.....	30
3.5	การทดลองคืนสภาพตัวดูดซับ.....	31
4	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
4.1	การทดสอบความหนาแน่นของของผสมเมทานอลและกลีเซอรอล.....	33
4.2	การทดสอบหาสมมูลการดูดซับ.....	36
4.2.1	การทดสอบการระเหยของของผสม.....	37
4.2.2	การทดสอบหาเวลาที่เข้าสู่สมมูลของการดูดซับของผสม.....	38
4.2.3	ผลการดูดซับเมทานอล และกลีเซอรอลบริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์เชิง พาณิชย์.....	40
4.2.4	ผลการดูดซับของผสมด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์.....	41
4.2.5	แบบจำลองสมมูลการดูดซับ.....	42
4.3	ผลการทดสอบคืนสภาพตัวดูดซับที่ใช้แล้ว.....	51
5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	58
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	58
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	59
	รายการอ้างอิง.....	60
	ภาคผนวก.....	63
	ภาคผนวก ก.....	64
	ภาคผนวก ข.....	65
	ภาคผนวก ค.....	70
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล.....	6
2.2	ข้อดีข้อเสียสำหรับกระบวนการคายกลับวิธีต่าง ๆ.....	19
3.1	แสดงสมบัติพื้นฐานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2	แสดงปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองหาการระเหยของของผสม.....	29
3.3	แสดงปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับของผสม.....	30
3.4	แสดงปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองการดูดซับของผสม...	31
4.1	แสดงค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงกับสัดส่วนมวลของเมทานอลในของผสม และผลรวมของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง.....	35
4.2	เปรียบเทียบความหนาแน่นของของผสมที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่เวลา 60 90 และ 120 นาที ที่การทดสอบต่าง ๆ.....	40
4.3	แสดงค่าความหนืดของของผสมที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส.....	45
4.4	แสดงค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับ (Unadsorbed fraction).....	46
4.5	แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับ ของปริมาณสมดุลดูดซับเมทานอล...	47
4.6	แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับ ของปริมาณสมดุลดูดซับกลีเซอรอล.	49
4.7	แสดงมวลถ่านที่ลดลงหลังการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที ที่ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่านของเมทานอลและกลีเซอรอล.....	51
ค.1	ข้อมูลการทดลองสำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับความหนาแน่นของของผสม.....	70
ค.2	ข้อมูลการทดลองการระเหยของของผสม.....	71
ค.3	ข้อมูลการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับของผสม.....	71

ตารางที่		หน้า
ค.4	ข้อมูลการทดลองหาสมดุลการดูดซับของผสมที่เวลา 60 นาที.....	72
ค.5	ข้อมูลการดูดซับของผสมที่เวลา 60 นาที.....	73
ค.6	ปริมาณการดูดซับเมทานอล กลีเซอรอล และสารผสม.....	74
ค.7	ข้อมูลมวลถ่านที่นำมาคืนสภาพตัวดูดซับ.....	75
ค.8	ข้อมูลการดูดซับของผสมด้วยถ่านใช้แล้ว.....	75
ค.9	ข้อมูลการอบถ่านดูดซับที่ผ่านการดูดซับน้ำ.....	75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงหลักการผลิตไบโอดีเซล.....	4
2.2	แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	5
2.3	แสดงกระบวนการดูดซับและการคายกลับ.....	8
2.4	แสดงกลไกการดูดซับ.....	9
2.5	ความสัมพันธ์ของเวลาสัมผัส กับประสิทธิภาพการดูดซับ.....	12
2.6	แสดงรูปแบบไอโซเทอม.....	15
2.7	surface oxide group.....	25
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสมกับสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม.....	33
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสม กับสัดส่วน โดยโมลของเมทานอลในของผสม.....	34
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงกับค่าสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม.....	36
4.4	มวลของผสมที่กลายเป็นไอ ที่มีเมทานอลและกลีเซอรอลผสมในปริมาตรต่างๆ	38
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสมกับระยะเวลาในการดูดซับ.....	39
4.6	แสดงความหนาแน่นของของผสมหลังการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ ที่มีสัดส่วนโดยมวลเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.0 – 1.0.....	42
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับ ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน.....	43
4.8	เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลทดสอบสมดุลดูดซับเมทานอล.....	48
4.9	เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลทดสอบสมดุลดูดซับกลีเซอรอล.....	50
4.10	แสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ยังคงเหลือภายในรูพรุนหลังการอบครั้งที่ 1	

ภาพที่	หน้า
	ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที..... 52
4.11	แสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ยังคงเหลือภายในรูพรุนหลังการอบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส..... 53
4.12	แสดงปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน ที่เวลาต่างๆ หลังการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส..... 54
4.13	เปรียบเทียบปริมาณการดูดของผสมต่อมวลถ่านที่สัดส่วนโดยมวลเมทานอล ต่างๆ..... 55
4.14	เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับเมทานอลต่อมวลถ่านที่สัดส่วนโดยมวลเมทา นอลต่างๆ..... 56
4.15	เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลต่อมวลถ่านที่สัดส่วนโดยมวลเมทา นอลต่างๆ..... 57
ข.1	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรีของเมทานอล..... 66
ข.2	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของเมทานอล..... 66
ข.3	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนคลิชของเมทานอล..... 67
ข.4	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรีของกลีเซอรอล..... 68
ข.5	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของกลีเซอรอล..... 68
ข.6	แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนคลิชของกลีเซอรอล.... 69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มลเหตุจูงใจ และที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันการใช้พลังงานของโลกต้องพึ่งพาพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Fossil energy) เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นหลักประมาณ 80-90% ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ประเมินว่า พลังงานเหล่านี้ จะมีการค้นพบและผลิตในอัตราที่เริ่มคงที่และลดลงในอีก 30 – 50 ปีข้างหน้า (ช่วงปี 2030-2100) ในขณะที่ความต้องการพลังงานของมนุษยชาติมีอัตราเพิ่มขึ้นทุกวันจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จำเป็นต้องหาพลังงานในภาพแบบอื่น ๆ มาทดแทนพลังงานฟอสซิล ซึ่งประเมินว่า ในปี ค.ศ. 2050 จะต้องมีการผลิตพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม น้ำ แสงอาทิตย์ ชีวมวล ฯลฯ เป็นปริมาณ 50% ของความต้องการพลังงานทั้งหมด (ใน 50% จะเป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ 25%) และในปี ค.ศ. 2100 การใช้พลังงานจากฟอสซิลจะเหลือเพียง 10% ส่วนที่เหลือ 90% จะเป็นพลังงานที่ได้จากพลังงานหมุนเวียนทั้งสิ้น [1]

ประเทศที่ผลิต “ไบโอดีเซล” ในแบบอุตสาหกรรมและใช้กันมากที่สุดได้แก่ เยอรมันนี ออสเตรีย ฝรั่งเศส อิตาลี สวีเดน และสหรัฐอเมริกา วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือน้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed oil) นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมัน เมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันลินซีด ไขมันสัตว์และน้ำมันใช้แล้ว (Used fried oil) เป็นวัตถุดิบได้อีกด้วย [2] ไบโอดีเซล ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน โดยทั่วไปนิยมใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ สารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กับเมทานอลหรือเอทานอล จะทำให้ได้สารเมทิลเอสเตอร์ (Methylester) หรือไบโอดีเซล และกลีเซอรอลดิบ ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างเมทานอลกับสารละลายกลีเซอรอล เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ประมาณร้อยละ 10 – 20 [3] ซึ่งเกิดการสะสมในปริมาณสูง

กลีเซอรอล ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น เป็นองค์ประกอบในยา อาหารและเครื่องสำอางเพื่อเสริมความชุ่มชื้น อุตสาหกรรมผลิตระเบิดไดนาไมต์ อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมสบู่ เป็นต้น [4] โดยกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรอล นักวิจัยส่วนใหญ่นำกลีเซอรอลมาผ่านกระบวนการกลั่นแยกสารต่างๆ ออกจากกัน ซึ่ง

เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานมาก หากมีวิธีการที่สามารถแยกสารออกจากกันโดยใช้พลังงานต่ำ ก็จะเป็นการดีต่อการลดค่าใช้จ่ายได้

ถ่านดูดซับ โดยทั่วไปมักเรียกว่า “ถ่านกัมมันต์” (activated carbon) สามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี โดยเฉพาะไอสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ เป็นตัวดูดซับที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ธาตุอื่น ๆ ที่ตรวจพบในถ่านดูดซับ ได้แก่ ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน และธาตุกำมะถัน ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์ [5]

ถ่านกัมมันต์ ถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการแยกก๊าซผสมด้วยการดูดซับขึ้นกับสมดุลการดูดซับ หรือใช้กำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากก๊าซหรือของเหลวเป็นต้น โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวประมาณ 800-1500 ตารางเมตรต่อกรัม ปัจจุบันวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือใช้ ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตตัวดูดซับ และถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น กะลามะพร้าว เปลือกถั่วลิสง เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ข้าวฟ่าง เป็นต้น [6]

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาการกำจัดเมทานอลในกลีเซอรอลโดยวิธีการดูดซับ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่อันตราย ใช้ระยะเวลาสั้น ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพสูง โดยเลือกตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาทำถ่านกัมมันต์ ทั้งยังเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถผลิตได้ภายในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) หาสมดุลการดูดซับของของเมทานอลในกลีเซอรอล โดยใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ในงานวิจัยนี้ใช้ถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ขนาด 4x8 เมช ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ของของผสมเมทานอลในกลีเซอรอล

2) หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความหนาแน่น ของของผสมเมทานอลในกลีเซอรอล โดยมีเมทานอลผสมในสัดส่วนโดยมวล 0.1 – 0.9 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

3) หาเวลาในการเข้าสู่สมดุลของของผสมเมทานอลในกลีเซอรอล โดยมีเมทานอลผสมในสัดส่วนโดยมวล 0.1 – 0.9 ทำการวัดค่าสมดุลทุกๆ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

4) หาแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่เหมาะสมของของผสมเมทานอลในกลีเซอรอล โดยมีเมทานอลผสมในสัดส่วนโดยมวล 0.1 – 0.9

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบสมดุลการดูดซับของเมทานอลในกลีเซอรอล
- 2) ทราบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีความสามารถที่จะทำให้อัตราการดูดซับของกลีเซอรอลบริสุทธิ์ได้มากขึ้นเพียงใด

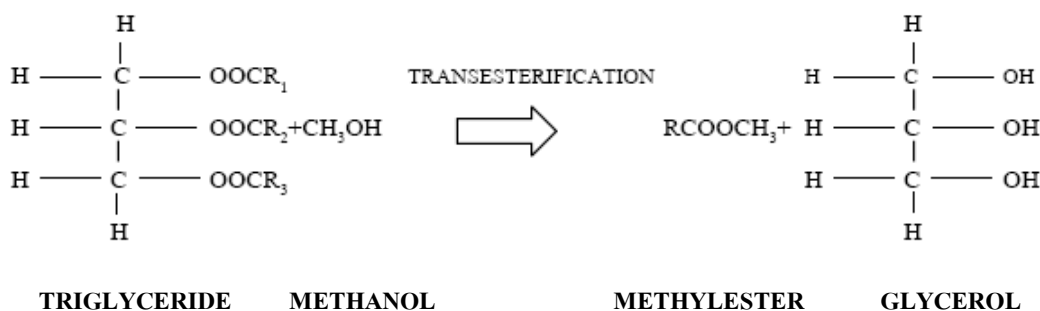
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ไบโอดีเซล [2]

“ไบโอดีเซล” เป็นชื่อเรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเตอร์ (Ester) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว เรียกว่า “Transesterification” และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ไบโอดีเซลถูกค้นพบและนำมาทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Rudolf Deisel เมื่อปี ค.ศ.1893 แต่ไม่แพร่หลายเนื่องจากเชื้อเพลิง Fossil Fuel มีราคาถูกกว่ามาก น้ำมันพืชเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_3H_5 ที่เชื่อมต่อกับกรดไขมัน เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอล (Methanol) จะทำให้ได้สารเมทิลเอสเตอร์ (Methyl ester) หรือไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ แสดงดังภาพที่ 2.1



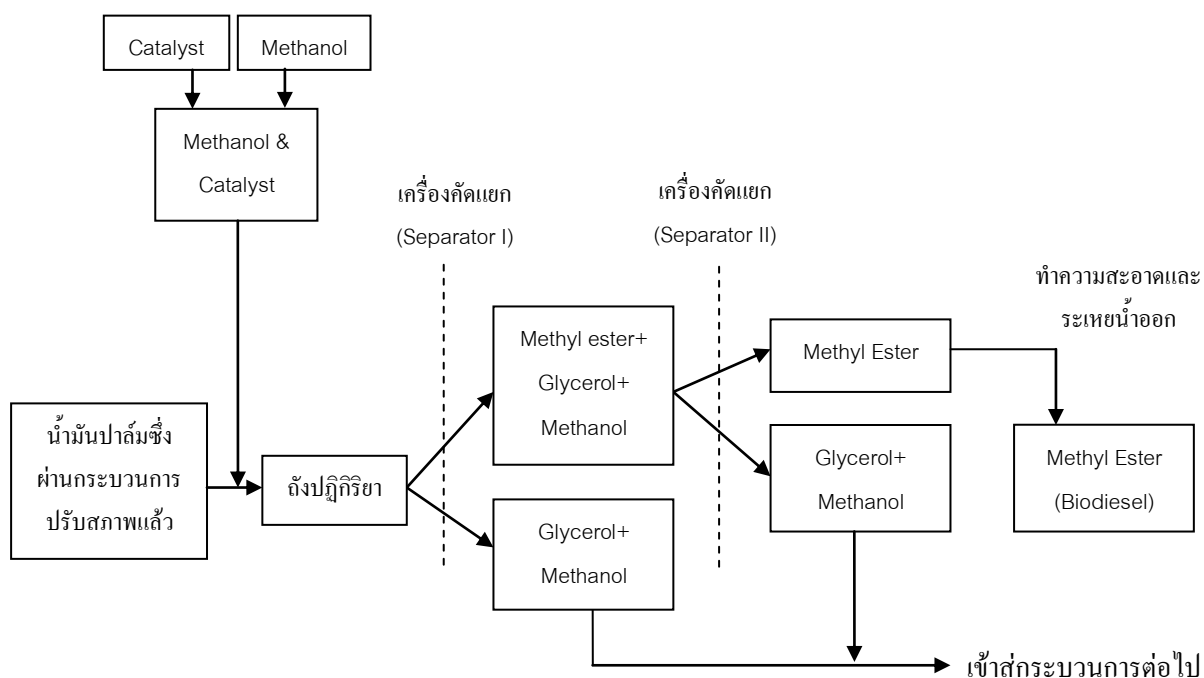
ภาพที่ 2.1 แสดงหลักการผลิตไบโอดีเซล

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มดิบที่ได้มาจากโรงงานสกัดประกอบด้วยสารไม่พึงประสงค์ต่อการผลิตไบโอดีเซล เช่น Phospholipids, Lecithin, กรดไขมันอิสระ ฯลฯ อีกทั้งคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ความชื้น ยางเหนียว ไข กลิ่น สี เป็นต้น จะเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดออกและปรับสภาพก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิต

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วจะถูกบีบผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลและสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะถูกนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการออกแบบ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้ว น้ำมันปาล์มจะถูกทำให้โมเลกุลเล็กลง และผสมอยู่กับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลผลิตที่ได้จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกสารต่างๆ ออกจากสารเมทิลเอสเทอร์ โดยการผ่านเครื่องคัดแยก (Separator)

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านขั้นตอนของการทำความสะอาดและกำจัดปริมาณน้ำออก และจะกลายเป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากและสามารถที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

จากกระบวนการดังกล่าว จะมีสารผสมระหว่างเมทานอลกับสารละลายกลีเซอรอลออกจากขั้นตอนการผลิตซึ่งจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกต่อไป แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.1.2 ก्लीเซอรอล [4]

กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ.1866 โดย อัลเฟรด โนเบล (Alfred Noble) ได้นำกลีเซอรอลมาใช้ในการผลิตระเบิดไดนาไมต์ กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ เป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น มีการใช้กลีเซอรอลในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้กลีเซอรอลเป็นสารรักษาความชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่มและความเหนียว เป็นสารอิมัลชันและสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภท มาการีน น้ำสลัด และลูกกวาด ใช้กลีเซอรอลรักษาความชื้นให้กับยาสูบและเป็นส่วนผสมในไส้กรอง ทำให้บุหรี่ติดไฟช้า ใช้เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอรอลฟีนอล (glycerolphenol) ใช้ในการล้างหู ใช้ผสมในเครื่องสำอางประเภทครีมและโลชั่นเพื่อทำให้ผิวชุ่มชื้น ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งตัวในหลอด ใช้ห่อเนื้อและทำกระดาษชนิดพิเศษ ใช้เป็นสารหล่อลื่น เนื่องจากมีความเหนียวสูง และไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำ ใช้กลีเซอรอลเป็นสารประกอบซีเมนต์ สาร อิมัลซิไฟเออร์ในยาง ราวถนน เซรามิกและกาว เป็นต้น

2.1.2.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล

กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวใสเหนียว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย ละลายได้ดีในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้ง ฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก ไดเอทิล อีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาวและตัวทำละลาย จำพวกเฮโลเจน สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอลดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล

คุณสมบัติ	ค่า
น้ำหนักโมเลกุล	92.06
จุดหลอมเหลว	18.17°C
จุดเดือด	
ที่ 13.33 kPa	222.4°C

ที่ 101.3 kPa	290°C
การระเหย	
ที่ 100°C	26 Pa
ที่ 200°C	6100 Pa
แรงตึงผิว ที่ 20°C	63.4 mN/m
ความหนืด ที่ 20°C	1499 mPa.s
อุณหภูมิกลายเป็นไอ	
ที่ 55°C	88.12 kJ/mol
ที่ 195°C	76.02 kJ/mol
การนำความร้อน	0.28 W/(m.K)
จุดวาบไฟ	
ระบบเปิด	177°C
ระบบปิด	199°C
จุดติดไฟ	204°C

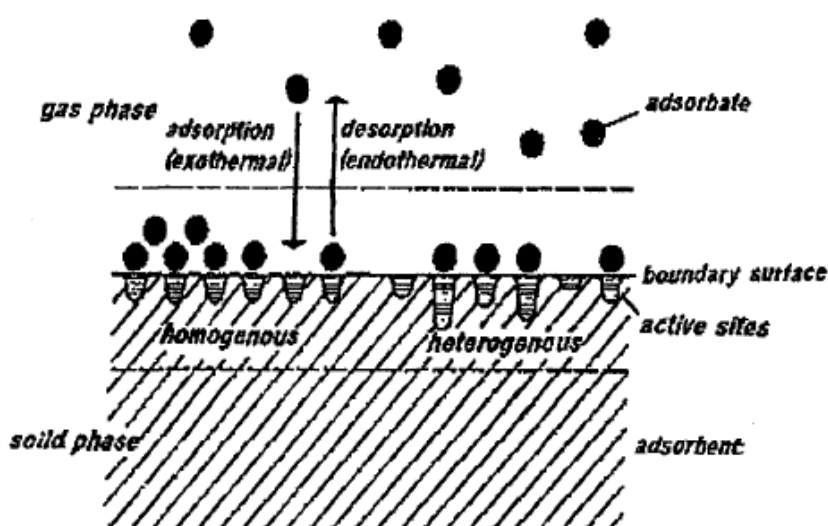
2.1.3 การดูดซับ [7, 8, 9]

การดูดซับเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซ เกิดจากการที่สารสองชนิดมาสัมผัสกันทำให้โมเลกุลหรืออะตอมมีความเข้มข้นเฉพาะบริเวณระหว่างผิวสัมผัสนั้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) การดูดซับเกิดขึ้นเมื่อของแข็งหรือของเหลวที่สามารถดูดซับโมเลกุลของของเหลวหรือโมเลกุลของก๊าซไว้เป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ส่วนของเหลวหรือก๊าซเป็น สารถูกดูดซับ (Adsorbate) สารดูดซับชนิดหนึ่ง ๆ มีความสามารถดูดซับองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารละลายได้แตกต่างกัน จึงสามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ออกจากกันได้ การจะแยกองค์ประกอบใดออกจากสารละลาย ต้องเลือกชนิดตัวดูดซับให้เหมาะสม

เมื่อพิจารณาถึงสถานะของสารละลายและสถานะของตัวดูดซับที่สัมผัสกันแล้ว สามารถจำแนกการดูดซับได้เป็น

- การดูดซับของเหลวโดยของเหลว (liquid-liquid adsorption)
- การดูดซับก๊าซโดยของเหลว (gas-liquid adsorption)
- การดูดซับของเหลวโดยของแข็ง (liquid-solid adsorption)
- การดูดซับก๊าซโดยของแข็ง (gas-solid adsorption)

ถ้าเกิดโมเลกุลของของเหลวหรือโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้หลุดออกจากผิวของสารดูดซับเข้าสู่วัฏภาคของก๊าซหรือของเหลว เรียกว่า การคายกลับ (Desorption) การนำสารที่ถูกดูดซับออกมาจากตัวดูดซับ เพื่อให้สามารถนำเอาสารดูดซับมาใช้ใหม่ เรียกว่า กระบวนการรีเจนเนอเรชัน (Regeneration processing) อาจกระทำได้โดยการใช้ความร้อน (Thermal Swing Regeneration) หรือ ลดความดัน (Pressure Swing Regeneration) กระบวนการดูดซับและการคายกลับ แสดงดังภาพที่ 2.3

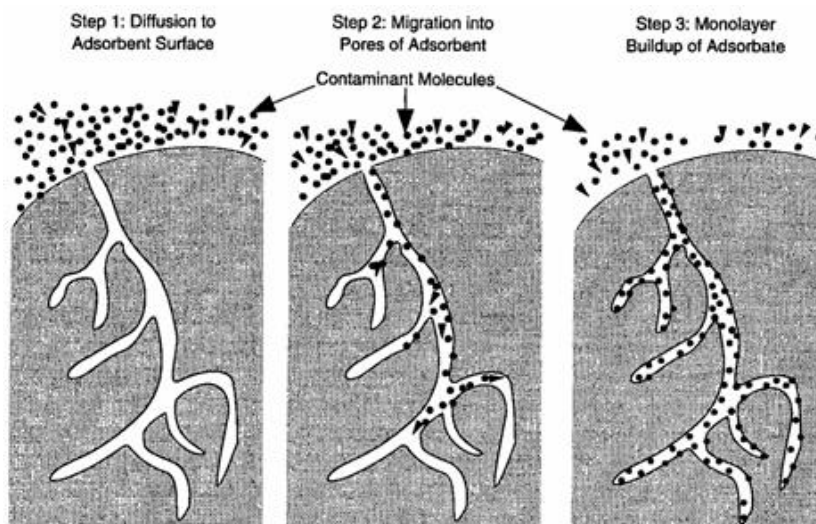


ภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการดูดซับและการคายกลับ

2.1.3.1 กลไกการดูดซับ

ขั้นตอนการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกโมเลกุลก๊าซจะแพร่ไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับ แล้วจึงเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวภายในรูพรุนซึ่งเป็นกระบวนการแพร่ อาจโดยวิธีแพร่เข้าทางรูพรุนหรือทางผิว หรือโดยแรงแคปิลลารี และขั้นตอนที่ 3 คือการเกาะติด

กับพื้นผิว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่แท้จริงของการดูดซับขั้นตอนนี้จะเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับสองขั้นแรก แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการดูดซับ

สำหรับการดูดซับของเหลวนั้นมีเพียงขั้นตอนการแพร่ไปยังผิวภายนอกตัวดูดซับ และการเคลื่อนที่เข้าสู่พรุนตัวดูดซับโดยแรงแคปิลลารี ไม่เกิดขั้นตอนการเกาะติดพื้นผิว

2.1.3.2 การดูดซับด้วยแรงแคปิลลารีในการดูดซับของเหลว

การดูดซับด้วยแรงแคปิลลารีนั้นขึ้นกับแรงตึงผิวของสาร แรงตึงผิวสารเกิดจากโมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่ตลอดเวลา ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลรอบด้านเกือบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างและด้านล่าง ทำให้ดูเหมือนว่าโมเลกุลนั้นถูกแรงดึงเข้าภายในของเหลวมากกว่า แรงนี้จะพยายามลดพื้นที่ผิวของของเหลวให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ เพื่อลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวให้น้อยลง จึงเกิดความตึงผิวขึ้น การวัดความตึงผิวของของเหลววิธีหนึ่งที่ใช้คือ จุ่มหลอดแคปิลลารีรัศมี r ลงในของเหลวที่ต้องการวัดความตึงผิว ค่าแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$y = \frac{hgr}{2\cos\theta} \quad (2.1)$$

ของเหลวส่วนมากพบว่าสามารถไหลสูงขึ้นไปในหลอดแคปิลลารีได้ แต่มีของเหลวบางอย่างไม่เกิดปรากฏการณ์แบบนี้ เช่น ปรอท ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล แรงดึงดูดโมเลกุลสารที่เหมือนกันเรียกว่า แรงโคฮีชัน (Cohesion) แรงดึงดูดโมเลกุลสารที่ต่างกันเรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion) ถ้าแรงแอดฮีชันแข็งแรงกว่าแรงโคฮีชันของเหลวจะถูกดึงขึ้นไปตามผนัง แต่ถ้าแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชันของเหลวในหลอดแคปิลลารีจะต่ำลง ความแตกต่างระหว่างแรงโคฮีชันและแอดฮีชันนี้เราจะเห็นได้เมื่อหยดน้ำเล็กๆ ลงบนพื้นที่สะอาดน้ำมีแนวโน้มแผ่กระจายออกทำมุม Θ น้อยกว่า 90 องศา ส่วนการหยดปรอทลงบนพื้นผิว ลักษณะของมันจะกลายเป็นทรงกลมและทำมุมอยู่ระหว่าง 90 – 180 องศา ปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่หลอดแคปิลลารีด้วยความตึงผิวสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กได้เช่นกัน

2.1.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [10, 11]

1 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วการดูดซับนั้นจะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ เมื่อความปั่นป่วนต่ำ ชั้นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคของสารดูดซับจะหนา เป็นเหตุให้การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำเกิดขึ้นได้ช้า ดังนั้นในกรณีนี้ชั้น Film Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ฟิล์มของน้ำที่ห่อหุ้มสารตัวกลางจะบาง การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในช่องว่างของสารดูดซับ ในกรณีเช่นนี้ Pore Diffusion จะเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ด้วยเหตุนี้เองอัตราเร็วของการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบผงจะเกิดขึ้นกับ Pore Diffusion เนื่องจากระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงมีความปั่นป่วนที่สูง ในขณะที่อัตราเร็วการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดจะขึ้นอยู่กับ Film Diffusion ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนั้นมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งมีระดับความปั่นป่วนของน้ำที่ต่ำ

2 ขนาดและพื้นที่ของถ่านกัมมันต์

โดยปกติถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนความสามารถในการดูดซับนั้นจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว เพราะฉะนั้นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว

สูงจะดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวที่ต่ำ แต่เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในช่องว่างของสารดูดซับ ดังนั้นขนาดของถ่านกัมมันต์จึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ความสามารถในการดูดซับจึงใกล้เคียงกันด้วย

3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ

โดยปกติแล้วสารที่ละลายน้ำได้น้อยมักดูดซับที่ผิวถ่านกัมมันต์ได้ดีกว่าสารที่ละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากน้ำไปดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารที่ละลายได้ดี แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารดังกล่าวกับน้ำก็จะมีมาก จึงทำให้ตัวทำละลายถูกดูดซับได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างต้นก็ไม่เป็นจริงเสมอไปในบางสถานการณ์ และอาจเป็นไปได้ในทางตรงกันข้ามได้

4 ขนาดของสารดูดซับ

ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ต้องการกำจัดมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดซับ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์ จากการวิจัยพบว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย กล่าวคือ พอดีที่จะเข้าไปในโพรงได้ เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและถ่านกัมมันต์จะมีค่ามากที่สุด

5 พิเอชของสารละลาย

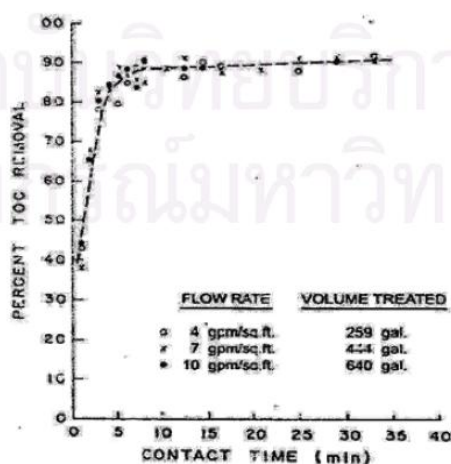
เนื่องจากพิเอชของสารละลายมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นพิเอชของสารละลายจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย ตัวอย่างเช่น กรดอินทรีย์จะถูกดูดซับได้ดีที่พิเอชต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากกรดอินทรีย์จะแตกตัวได้น้อยที่พิเอชดังกล่าว สำหรับพิเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นหาได้จากการทดลองเท่านั้น

6 อุณหภูมิของสารละลาย

อุณหภูมิของสารละลายมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับ คือเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับลดลง เพราะปฏิกิริยาของการดูดซับเป็นปฏิกิริยาการคายความร้อน

7 เวลาสัมผัส

ในกรณีของถังดูดซับแบบคอลัมน์ เวลาสัมผัสจะเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับและอายุการใช้งานของถัง โดยถ้าเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของตัวถูกลดลงแล้วอายุการใช้งานของถังดูดซับแบบคอลัมน์จะนานขึ้น แต่อย่างไรก็ดี เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ถ้าหากช่วงเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นจนเลยช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมแล้ว แทบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย ความสัมพันธ์ของเวลาสัมผัส กับประสิทธิภาพการดูดซับ แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของเวลาสัมผัส กับประสิทธิภาพการดูดซับ

2.1.3.4 ประเภทของการดูดซับ [5, 7]

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยจำแนกแรงดังกล่าวออกเป็น 2 ชนิด คือ แรงกายภาพและแรงเคมี การดูดซับจึงจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของแรงที่ดูดจับโมเลกุลของสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับ ดังนี้

1 การดูดซับแบบกายภาพ (physisorption)

คือ การดูดหรือดึงสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงกายภาพชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การจัดเรียงตัว (Orientation) การกระจายตัว (Dispersion) และการเหนี่ยวนำ (Induction) ของโมเลกุลสารถูกดูดซับ สำหรับ

โมเลกุลที่มีขั้วกระบวนการดูดซับจะเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลสารถูกดูดซับ ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากแรงระหว่างขั้วของสองโมเลกุล คือ ขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์และการกระจายของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสนั้น เมื่อขั้วของโมเลกุลทั้งสองที่เกิดการสันตะเทือนมาอยู่ใกล้กันจะทำให้พลังงานทั้งหมดลดลง ทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น ส่วนแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะเกิดจากการเหนี่ยวนำ โดยโมเลกุลที่มีขั้วจะเหนี่ยวนำโมเลกุลที่ไม่มีขั้วมาอยู่ใกล้กัน

การดูดซับแบบกายภาพเกิดขึ้นอย่างไม่เจาะจง (Nonspecific) เกิดขึ้นได้ดี ณ อุณหภูมิต่ำ หรือ ณ อุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป และเกิดได้ดีมากยิ่งขึ้น ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าบรรยากาศสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวของตัวดูดซับโดยตรง และเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับแล้ว โดยไม่จำกัดจำนวนโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ซ้อนทับกัน จึงมักเรียกการดูดซับชนิดนี้ว่า “การดูดซับหลายชั้น (multilayer adsorption)” ปรากฏการณ์จะคล้ายกับการควบแน่นที่เกิดได้ทุกจุดบนผิวของแข็ง แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลที่ผิวของแข็งมีไม่มาก ส่วนมากเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ความร้อนเนื่องจากการดูดซับหรือพลังงานก่อกัมมันต์อยู่ในช่วงค่าประมาณ $4 - 40 \text{ kJ mol}^{-1}$ การดูดซับเข้าสู่สมดุลได้เร็วและผันกลับได้ ปริมาณการดูดซับของโมเลกุลก๊าซจะลดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการดูดซับแบบกายภาพจึงไม่สามารถใช้เป็นกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของโมเลกุลที่มีความเสถียรได้ อีกทั้งพลังงานก่อกัมมันต์ต่ำเกินไป แต่อาจใช้ในปฏิกิริยาของอะตอมหรืออนุโมลอิสรระ ที่ไม่ต้องการพลังงานก่อกัมมันต์มากก็ได้ โดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้การดูดซับแบบกายภาพในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแคตาลิสต์ เช่น ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิว เป็นต้น

2 การดูดซับแบบเคมี (chemisorption)

การดูดซับชนิดนี้เกิดจากแรงกระทำทางเคมีระหว่างสารถูกดูดซับ และสารดูดซับ กล่าวคือ สารถูกดูดซับจะถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของสารดูดซับโดยพันธะทางเคมี การดูดซับทั้งแบบกายภาพและแบบเคมีนั้น จะมีการคายความร้อนออกมา เนื่องจากระหว่างกระบวนการดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกส่งผ่านจาก bulk phase ไปยังผิวของสารดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารถูกดูดซับอย่างรวดเร็วจะทำให้โมเลกุลสูญเสียพลังงานจนน้ำให้แก่สารถูกดูดซับ ในภาพ

ของความร้อน สำหรับการดูดซับแบบเคมีความร้อนจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมี ส่วนความร้อนที่เกิดจากการดูดซับแบบกายภาพจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความร้อนที่เกิดจากการควบแน่น การดูดซับแบบเคมีนี้มักเกิดขึ้นได้ดีหรือเกิดขึ้นได้เร็ว ณ อุณหภูมิสูงๆ และการดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น นั่นคือ การดูดซับแบบเคมีจะไม่เกิดบนชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับเช่นเดียวกับการดูดซับแบบกายภาพ การดูดซับแบบนี้จึงเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวเท่านั้นและมักเรียกการดูดซับประเภทนี้ว่า “การดูดซับชั้นเดียว (monolayer adsorption)” การดูดซับแบบเคมีเกิดขึ้นอย่างจำเพาะบนจุดกัมมันต์ของผิวแข็งโดยพันธะทางเคมี ความร้อนเนื่องจากการดูดซับอยู่ในช่วง $40 - 200 \text{ kJ mol}^{-1}$ ซึ่งมากกว่าการดูดซับแบบกายภาพ

3 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับแบบเคมีและแบบกายภาพ

1. การขจัดโมเลกุลที่ถูกดูดซับแบบเคมีออกจากสารดูดซับทำได้ยาก ในขณะที่โมเลกุลที่ถูกดูดซับแบบกายภาพสามารถขจัดออกได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน
2. สำหรับการดูดซับแบบเคมีโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจับด้วยพันธะทางเคมีที่ผิวของสารดูดซับ ส่วนการดูดซับแบบกายภาพจะเกิดจากผลของขั้วของโมเลกุลของสารทั้งสอง
3. การดูดซับแบบเคมีนั้นโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับจะยึดเกาะผิวของสารดูดซับแบบชั้นเดียว และการดูดซับแบบเคมีจะหยุดลงเมื่อ reactive site ที่ผิวของสารดูดซับหมดไป ในขณะที่การดูดซับแบบกายภาพด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ นั้น สารที่ถูกดูดซับสามารถยึดเกาะบนผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น
4. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอัตราการดูดซับแบบเคมีจะเพิ่มขึ้น แต่อัตราการดูดซับแบบกายภาพจะลดลง

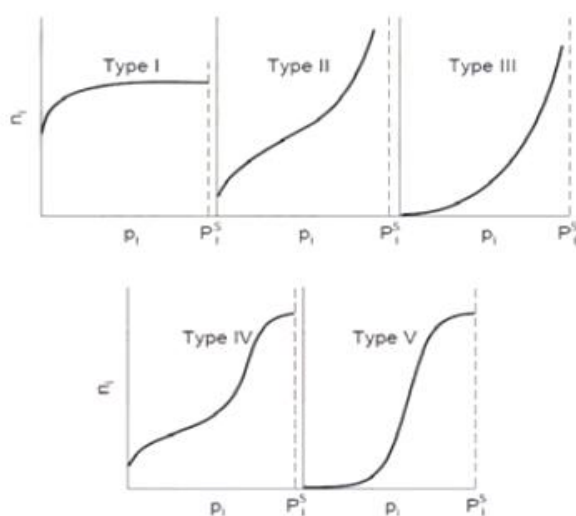
2.1.4 สมดุลการดูดซับ (Equilibrium Adsorption) [5, 12]

สมดุลการดูดซับแปรตามชนิดของตัวดูดซับ ชนิดของสารที่ถูกดูดซับ ความเข้มข้นหรือความดันของสารที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิของระบบดูดซับ สมดุลจำเพาะของสารที่ถูกดูดซับชนิดใด ๆ ด้วยตัวดูดซับชนิดหนึ่งที่กำหนดไว้ จึงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับสารจำเพาะ (q_s) ของตัวดูดซับที่เลือกไว้ ความเข้มข้นสมดุล (C_s) ของสารที่ถูกดูดซับชนิดนั้น ๆ หรือ

ความดันสมดุล (P_i) ของสารที่ถูกดูดซับชนิดนั้น และอุณหภูมิสมดุล (T) ของระบบดูดซับนั้น ในขณะเกิดการดูดซับ ตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลาย ทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งเพิ่มขึ้น เกิดสภาพสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง สมดุลการดูดซับ (Equilibrium Adsorption) แสดงในภาพร้อยละ โดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยน้ำหนัก อาจแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาณหรือปริมาตรของตัวดูดซับที่ถูกดูดซับไว้เทียบกับความดันย่อยในกรณีดูดซับก๊าซ หรือความเข้มข้นของตัวดูดซับในกรณีดูดซับของเหลว ที่อุณหภูมิคงที่ อธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกละลายระหว่างวัฏภาคของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุล และจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำละลาย คุณสมบัติของตัวถูกละลาย หรือความเข้มข้นและคุณสมบัติของตัวถูกละลาย โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ BDDT พบว่าเส้นสมดุลการดูดซับแบ่งออกเป็น 5 แบบ ตามภาพที่

2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงภาพแบบไอโซเทอม

- สมดุลการดูดซับแบบที่ I มักพบในการดูดซับที่มีสารดูดซับมีรูพรุนขนาดเล็ก เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เช่น การดูดซับออกซิเจนบน carbon black ที่อุณหภูมิ -182°C
- สมดุลการดูดซับแบบที่ II พบได้ในการดูดซับของแข็งพวก nonporous จุดที่เกิดหักเหของเส้นไอโซเทอม มักเกิดใกล้กับบริเวณการดูดซับแบบชั้นเดียวสมบูรณ์ และเมื่อเพิ่มความดันจะเกิดการดูดซับหลายชั้นจนเข้าใกล้ค่าอนันต์
- สมดุลการดูดซับแบบที่ III จากกราฟเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นไม่จำกัด เช่น การดูดซับโบรมีนบนซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 20°C
- สมดุลการดูดซับแบบ IV คล้ายกับแบบ II แต่มีการเกิดการดูดซับหลายชั้นอย่างจำกัด
- สมดุลการดูดซับแบบ V พบในการดูดซับไอน้ำด้วยถ่านกัมมันต์

ส่วนการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบนั้นส่วนใหญ่จะเกิดสมดุลการดูดซับแบบที่ I และ III ที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายต่ำจะเกิดไอโซเทอมการดูดซับแบบเชิงเส้น

2.1.4.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

แบบจำลองสมดุลการดูดซับจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ดังนี้

1 แบบจำลองสมดุลดูดซับอุณหภูมิคงที่ (adsorption isotherm) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_s) ของตัวดูดซับที่กำหนด กับความดันสมดุล (P_s) ของก๊าซหรือไอของสารถูกดูดซับนั้น หรือความเข้มข้นสมดุล (C_s) ของสารถูกดูดซับในของเหลวผสม ณ อุณหภูมิของระบบดูดซับ (T) ที่กำหนดไว้

2 แบบจำลองสมดุลดูดซับความดันคงที่ (adsorption isobar) หรือประเภทความเข้มข้นคงที่ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_s) ของตัวดูดซับที่กำหนด กับอุณหภูมิสมดุล (T) ของระบบดูดซับ ณ ความดันสมดุล (P_s) ของก๊าซหรือไอของสารถูกดูดซับที่กำหนด หรือความเข้มข้นสมดุล (C_s) ของสารถูกดูดซับในของเหลวผสมที่กำหนดไว้

3 แบบจำลองสมดุลดูดซับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะคงที่ (adsorption isostere) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสมดุล (P_s) ของก๊าซ

หรือไอของสารถูกดูดซับ หรือความเข้มข้นสมดุล (C_s) ของสารถูกดูดซับในของเหลว กับ อุณหภูมิสมดุล (T) ของระบบดูดซับ ณ ปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะ (q_s) ของตัวดูดซับที่กำหนดไว้

ในการวัดสมดุลดูดซับ นิยมวัดสมดุลดูดซับ ณ อุณหภูมิคงที่ นั่นคือ สมดุลดูดซับสารถูกดูดซับชนิดใดชนิดหนึ่งของตัวดูดซับที่เลือกไว้ควรวัด ณ อุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิดำเนินการปกติของหน่วยดูดซับนั้น ๆ

2.1.4.2 แบบจำลองสมดุลดูดซับของเหลว

มีหลายทฤษฎีและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้อธิบายถึงความแตกต่างของประเภทไอโซเทอมการดูดซับแต่ละแบบ และสามารถทำนายปริมาณการดูดซับสำหรับแบบจำลองสมดุลดูดซับของของเหลวสององค์ประกอบที่ได้รับความนิยมดังนี้

1 แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี (Henry's isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี คือ

- เหมาะกับปริมาณการดูดซับน้อย ๆ หรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเจือจาง ซึ่งมีผลให้แต่ละโมเลกุลถูกดูดซับไม่ส่งผลกระทบต่อโมเลกุลอื่น ๆ ที่ถูกดูดซับไว้แล้ว

- กราฟไอโซเทอมมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงดังสมการที่ (2.2)

$$q = K_H C \quad (2.2)$$

2 แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ (Langmuir's isotherm)

สมมติฐานของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ

- มีโมเลกุลชั้นเดียวในบริเวณถูกดูดซับ

- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน กำหนดโดยลักษณะของ

พื้นผิว

- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

- กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมแบบที่ I แสดงดังสมการที่ (2.3)

$$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C} \quad (2.3)$$

3 แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich's isotherm)

สมมติฐานของแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช คือ

- แบบจำลองนี้ นิยมใช้มาก เนื่องจากมีความถูกต้องสูง โดยเฉพาะในกรณีดูดซับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง
 - กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมที่ I กรณีค่า n มากกว่า 1
 - กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมแบบที่ III กรณีค่า n น้อยกว่า 1
- แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$q = K_F C^{1/n} \quad (2.4)$$

2.1.4.3 การวัดสมดุลการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบ

การหาปริมาณการดูดซับที่สมดุลของของเหลวสององค์ประกอบในระบบปิดทำได้โดยการวัดความเข้มข้นของสารดูดซับเริ่มต้นของระบบและความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลือหลังจากที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น จากข้อมูลทั้งสองส่วน สามารถคำนวณหาปริมาณที่ถูกดูดซับได้ พบว่ากรณีดูดซับของเหลวระบบจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับได้ช้ากว่ากรณีดูดซับก๊าซ เนื่องจากในกรณีของการดูดซับสถานะของเหลวการแพร่ระหว่างอนุภาคมักจะเป็นตัวกำหนดการดูดซับ ของเหลวมีค่าการแพร่ต่ำเมื่อเทียบกับการแพร่ของก๊าซ พบว่าการแพร่ของของเหลวมีค่าต่ำกว่าก๊าซมากกว่าพันเท่า ทำให้ในการวัดสมดุลการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบในระบบปิดต้องใช้เวลาานาน

2.1.5 การคืนสภาพตัวดูดซับ

การคืนสภาพของตัวดูดซับที่ใช้แล้ว (Regeneration) หรือการคายกลับ (Desorption) มีวัตถุประสงค์ เพื่อรักษาสมรรถภาพของการดูดซับของสารดูดซับที่เปลี่ยนไป และเพื่อให้สารถูกดูดซับในสารดูดซับกลับคืนมา การคายกลับนั้นต้องพิจารณาว่าเป็นการดูดซับแบบกายภาพหรือทางเคมี เพราะการดูดซับทางกายภาพสามารถย้อนกลับได้ ส่วนทางเคมีจะต้องมีกระบวนการต่าง ๆ ที่ยุ่งยากกว่า การคายกลับทำได้ไม่สมบูรณ์นัก การนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้นั้นต้องพิจารณาถึงค่าการดูดซับที่ผิวตัวดูดซับเดิมที่นำมาดูดซับตัวดูดซับใหม่ ตัวดูดซับที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่จะมีความจุในการดูดซับเท่ากับที่ตอนเริ่มต้นหรือไม่ กรณีตัวถูกดูดซับเป็นสารที่ต้องการต้องพิจารณาถึงว่าจะนำตัวถูกดูดซับกลับออกมาจากตัวดูดซับได้มากน้อยเพียงใด กระบวนการคายกลับมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือระยะเวลาในการคายกลับจะต้องสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ และถ้าจำเป็นต้องทำให้มีการดูดซับและนำสารดูดซับแยกกลับเพื่อเวียนใช้ใหม่อย่างต่อเนื่องแล้ว จะต้องติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทหลายระบบ

ทางเลือกการคืนสภาพของตัวดูดซับที่ใช้แล้ว มีหลายทางเลือก ดังนี้

1. การเพิ่มอุณหภูมิ
2. การลดความดันย่อย
3. การลดความเข้มข้น
4. การไล่ด้วยของไหลเฉื่อย
5. การแทนที่ด้วยสารที่ดูดซับในตัวดูดซับนั้นได้ดีกว่า
6. การเปลี่ยนเงื่อนไขทางเคมีเช่นความเป็นกรดด่าง

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียสำหรับกระบวนการคายกลับวิธีต่าง ๆ

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
อุณหภูมิสลับ (Thermal swing)	<ul style="list-style-type: none"> - ดีสำหรับสารที่ถูกดูดซับได้ดี - ได้สารคายกลับ (Desorbate) ที่ความเข้มข้นสูง - ใช้สำหรับก๊าซและของเหลว 	<ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิมีผลกระทบต่อสารถูกดูดซับ - อาจเกิดการสูญเสียความร้อน (Heat loss)

		- ใช้เวลาต่อหนึ่งรอบการดูดซับ และคายกลับนาน
ความดันสลับ (Pressure swing)	- ดีสำหรับสารที่ถูกดูดซับได้ไม่ดี ในตัวดูดซับที่ต้องการความ บริสุทธิ์สูง	- อาจต้องใช้ความดันต่ำมาก - พลังงานเชิงกลแพงกว่า พลังงานความร้อน
สุญญากาศ (Vacuum) กรณีพิเศษใช้ความดัน สลับ	- มีช่วงเวลาคายกลับรวดเร็ว	- ได้สารคายกลับมีความบริสุทธิ์ ต่ำ
การแทนที่ (Displacement)	- ดีกรณีมีสารที่ถูกดูดซับตัวดูด ซับได้ดีกว่าสารถูกดูดซับ - ไม่เกิดปฏิกิริยาการแตก เนื่องจากการคายกลับ - ไม่เกิดผลกระทบจากอุณหภูมิ กับตัวดูดซับ	- ต้องทำการแยกและการ นำกลับของผลิตภัณฑ์ - หาสารที่ใช้แทนที่ตัวดูดซับ ยาก
การไล่ด้วยก๊าซ (Purge gas stripping)	- จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและความ ดันคงที่	- เฉพาะสำหรับตัวถูกดูดซับดูด ซับในตัวดูดซับได้ด้วยแรง กระทำระหว่างกันอ่อน - โดยปกติจะไม่ใช้เมื่อ จำเป็นต้องนำสารคายกลับ กลับมา

2.1.6 ถ่านกัมมันต์ [5, 6, 9]

ถ่านดูดซับ โดยทั่วไปมักเรียกว่า “ถ่านกัมมันต์” (activated carbon) สามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี โดยเฉพาะไอสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ ปัจจุบันมีการใช้ถ่านดูดซับในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ในโรงงานน้ำตาล มีการใช้ถ่านดูดซับในการฟอกสีน้ำตาล ในโรงงานไขมันและน้ำมัน ใช้ถ่านดูดซับในการดูดสิ่งปลอมปนที่มีอยู่ในน้ำมันพืช ในโรงงาน

เครื่องคั้นที่มีแอลกอฮอล์ ใช้ถ่านดูดซับในการกำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากไวน์ หรือใช้ในการดูดซับไอของตัวทำละลายเพื่อลดมลภาวะทางอากาศและเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น ถ่านดูดซับ เป็นตัวดูดซับที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ธาตุอื่น ๆ ที่ตรวจพบในถ่านดูดซับ ได้แก่ ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน และธาตุกำมะถัน ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์

ถ่านดูดซับผลิตจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก วัตถุดิบเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบธรรมชาติ และส่วนน้อยเป็นวัตถุดิบสังเคราะห์ วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านดูดซับ จำแนกเป็นกลุ่มตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

1. วัตถุดิบจากซากสิ่งมีชีวิตโบราณ เป็นวัตถุดิบที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและซากสัตว์ต่าง ๆ ได้พื้นดินตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ วัตถุดิบเหล่านี้ประกอบด้วยถ่านลิกไนต์ ถ่านหิน ถ่านโค้ก กากน้ำมันปิโตรเลียม วัตถุดิบกลุ่มนี้มักมีลักษณะแข็ง
2. วัตถุดิบจากชีวมวล เป็นวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมในยุคปัจจุบัน ประกอบด้วยวัสดุเหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชเศรษฐกิจ เช่น ฟางข้าว ลำต้นมันสำปะหลัง และลำต้นข้าวโพด เป็นต้น วัสดุเหลือจากการแปรรูป เช่น ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว เปลือกถั่วลิสง เมล็ดผลไม้ต่าง ๆ เป็นต้น วัสดุจากปศุสัตว์ เช่น กระดูก เป็นต้น หรืออาจเป็นวัสดุจากวัชพืช เช่น ผักตบชวา เป็นต้น
3. วัตถุดิบจากวัสดุอินทรีย์อุตสาหกรรม เป็นวัตถุดิบสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเมอร์โมเลกุลสั้นชนิดต่าง ๆ และพอลิเมอร์ด้อยคุณภาพ เป็นต้น

2.1.6.1 ชนิดของคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ [6]

1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับฟิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และสังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นต้น
- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย
- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยา (Catalytic Reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี
- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่าง ๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

3 แบ่งตามลักษณะของภาพร่าง

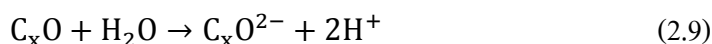
- ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว
- ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อทำให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์
- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

5 แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างเมื่อละลายน้ำ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นกรด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดังนี้



- ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นด่าง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดังนี้



6 แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรด ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นกรดเมื่ออยู่ในสารละลาย คือ ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟังก์ชันนี้พบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอล เตรียมจากการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 200 – 400 องศาเซลเซียสในอากาศ และเผากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้ หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ เช่น หมู่คาร์บอกซิล หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล หมู่วิโนนอย หมู่กรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น

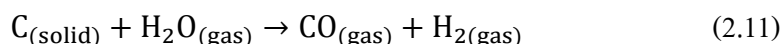
- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นด่าง ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นด่างเมื่ออยู่ในสารละลาย มักพบในถ่านกัมมันต์ชนิดเอช ซึ่งเตรียมจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงมากประมาณ 1,000 – 1,200 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวก กะลามะพร้าว ถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวล ที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนัก ได้แก่ หมู่ควินิน หมู่ฟีนอล และหมู่คาร์บอกซิเลท เป็นต้น

2.1.6.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ [9]

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) และการกระตุ้น (Activation) การทำให้เป็นถ่านนั้นจะนำวัตถุดิบไปเอาที่สถานะไม่มีอากาศหรือผ่านก๊าซเฉื่อยเข้าไป กระบวนการนี้เป็นการเผาไล่ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกจากวัตถุดิบจะได้ถ่านที่มีองค์ประกอบคาร์บอนสูง จากนั้นผ่านกระบวนการกระตุ้นเป็นการกระตุ้นให้ถ่านเกิดรูพรุนขึ้น โดยทั่วไปสามารถทำได้ด้วยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ (steam activation) และการกระตุ้นด้วยสารเคมี (chemical activation) ทั้งสองกระบวนการนี้จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะของรูพรุนแตกต่างกัน

2.1.6.2.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (steam activation)

ในกระบวนการนี้อุณหภูมิไอน้ำที่ใช้ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส อะตอมของคาร์บอนจะหลุดออกไปตามสมการ ดังนี้



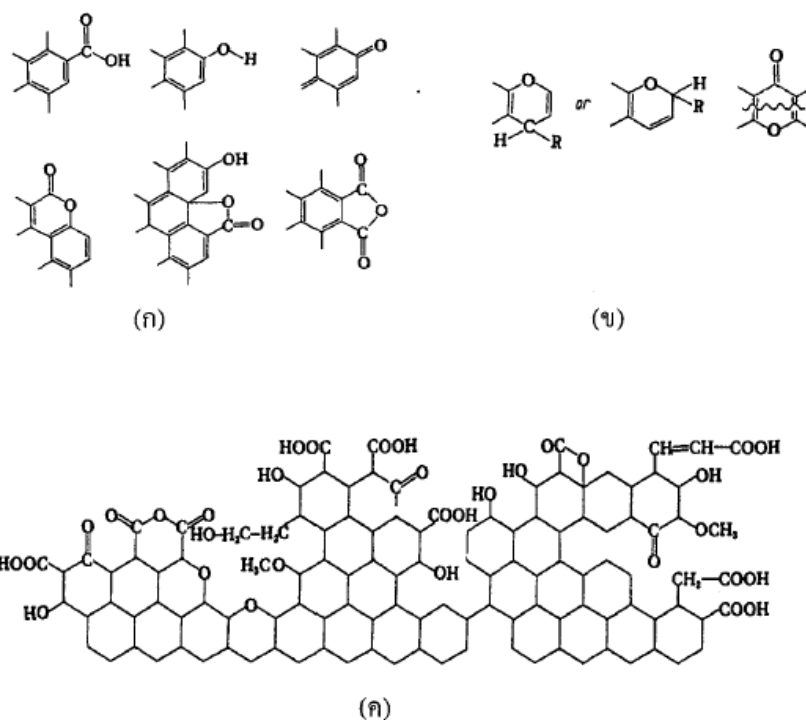
ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก ในระหว่างกระบวนการกระตุ้น รูพรุน micropore ที่เกิดขึ้นอาจจะขยายขนาดไปเป็นรูพรุนขนาด mesopore หรือ macropore ได้

2.1.6.2.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation)

การกระตุ้นถ่านด้วยสารเคมีแตกต่างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ การกระตุ้นโดยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิการเผากระตุ้นค่อนข้างต่ำประมาณ 500 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นนิยมใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกซึ่งไปช่วยสลายเซลลูโลส และองค์ประกอบอื่น ๆ ในวัตถุดิบ ข้อเสียของการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือจะมีสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นเหลืออยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ได้ จึงต้องทำการล้างออก และเนื่องจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีใช้อุณหภูมิต่ำ จึงไม่ค่อยพบการเกิดของ basal planes ขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีค่อนข้างที่จะแสดงความเป็น hydrophobic น้อยกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

2.1.6.3 surface oxide group

ถ่านกัมมันต์มีสารประกอบเชิงซ้อนของออกซิเจน (oxygen complex) อยู่ที่ผิวสัมผัสมากมาย ซึ่งเกิดขึ้นได้ เช่น มาจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ ในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การกระตุ้นถ่านหินโดยใช้ oxidizing gases เป็นไอน้ำ หรืออากาศ นอกจากนี้ยังเกิดจากการใช้สารเคมีด้วย oxidizing agent เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถแบ่ง oxygen surface compound ได้ 2 กลุ่ม คือ functional group of acid nature และ basic group ตามภาพที่ 2.7 (ก)(ข) จากลักษณะของกลุ่ม basic group พบว่าอะตอมของออกซิเจนไม่จำเป็นต้องอยู่บนตำแหน่งการดูดซับของผิวถ่านกัมมันต์ จากภาพที่ 2.7 (ค) เป็นแบบจำลองบนผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งการกำจัด surface oxide นี้สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนกับคาร์บอนภายใต้สภาวะสูญญากาศหรือใช้ก๊าซเฉื่อย



ภาพที่ 2.7 surface oxide group

(ก) acid oxygen surface function group

(ข) Functional group of basic character

(ค) Tarkovskya Model

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพวรรณและคณะ [3] ศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีลักษณะเป็นไขสีน้ำตาล มาวิเคราะห์พบว่า ประกอบด้วย กลีเซอรอลร้อยละ 55.02 สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (เมทานอลและสารอื่นๆ) ร้อยละ 22.29 น้ำร้อยละ 20.44 เถ้า (โซเดียมคลอไรด์) ร้อยละ 2.25 และมี pH ประมาณ 9.36 จากนั้นได้ทำการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลด้วยเทคนิคทางกายภาพ ได้แก่ การทำให้เป็นกรด การสกัดด้วยตัวทำละลาย การตกตะกอน และการกำจัดสี พบว่าได้กลีเซอรอลลักษณะใส มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 55 เป็นร้อยละ 82-85 และเมื่อใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง ลดเวลาการแยกชั้นขณะทำให้เป็นกรดและการตกตะกอน จะได้กลีเซอรอลบริสุทธิ์มากขึ้นเป็นร้อยละ 92

ณัฐมน [4] ศึกษาการนำกลีเซอรอลที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม มาทำให้บริสุทธิ์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การระเหยเมทานอล การแยกไขมันตกค้างออกด้วยเฮกเซน และการกำจัดสี กลิ่นด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านกัมมันต์และดินเบนทอไนต์ ได้กลีเซอรอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 96.04 ± 0.44 สำหรับถ่านคาร์บอนกัมมันต์ และ 95.37 ± 0.43 สำหรับดินเบนทอไนต์

ธีรวิภา [6] ศึกษาการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยตัวดูดซับก้านกล้วยสด ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 – 20 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่าสมมูลการดูดซับของเมทานอลสอดคล้องกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี และค่าคงที่สมมูลของเฮนรีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นมากขึ้น

สุรัชย์ [8] ทำการศึกษาถึง ทฤษฎีของการดูดซับ ซึ่งพบว่า ตัวดูดซับชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ลักษณะพื้นผิวขรุขระมีโพรงและรูพรุน การดูดซับจะเกิดขึ้นภายในโพรงหรือรูพรุน โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะเป็นโพรง ช่วยในการกักเก็บและอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ในการยึดเกาะกับโมเลกุลตัวถูกดูดซับ ภายในโพรงและพื้นผิว

พัชรี [9] ศึกษาผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงความสามารถในการดูดซับไอเบนซีนลดลง และในระดับความเข้มข้นของไอเบนซีนต่ำ ความชื้นจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง

ชวริน [10] ศึกษาการดูดซับเอทานอลในของผสมเอทานอล – น้ำ ด้วยถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์ก่อนการดูดซับแห้งกับก่อนดูดซับชุ่มน้ำ ที่อุณหภูมิ 26 – 30 องศาเซลเซียส พบว่าสมมูลการดูดซับของเอทานอลตรงกับแบบจำลองสมมูลการดูดซับของแลงมัวร์ และปริมาณเอทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดบนถ่านแห้งและถ่านชุ่มน้ำคือ 482.43 และ 603.31 มิลลิกรัม/กรัมถ่านดูดซับ

ชัยศรี [13] ศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบมาผ่านกระบวนการเคมี การกลั่นแบบลดความดัน ที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ควบคุมความดันที่ 20 – 25 มิลลิบาร์ กรองสีและกลั่นด้วยถ่านกัมมันต์ ได้กลีเซอรอลมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 90 – 95

Yong และคณะ [14] เสนอการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ โดยแยกสบู่ออกจากกลีเซอรอลด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่าแยกกลีเซอรอลได้เพียงร้อยละ 20.2 กรัม (ไซเดียมคลอไรด์) ร้อยละ

64.3 และมีสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลร้อยละ 12.4 จึงได้ทำการเปลี่ยนจากกรดไฮโดรคลอริก เป็นกรดกำมะถันเข้มข้นร้อยละ 6 [15] ที่ pH 1-2 แยกกลีเซอรอลได้ร้อยละ 54.6 (โซเดียม ซัลเฟต) ร้อยละ 7.4 และมีสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลร้อยละ 31.1 ต่อมาได้ทำการกลั่นที่ อุณหภูมิ 120-126 องศาเซลเซียส ภายใต้อัตราความดัน 4×10^{-1} - 4×10^{-2} มิลลิบาร์ [16] พบว่าแยกกลีเซอรอลได้ร้อยละ 96.6 เถ้าร้อยละ 0.03 และสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอลร้อยละ 2.4

อ้อยทิพย์ [17] ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลหลังจากการดูดซับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการดูดซับเมทานอลเข้าสู่สมดุคดูดซับภายในเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณดูดซับเมทานอลจำเพาะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเพิ่มขึ้น สมดุลการดูดซับเป็นไปตามแบบจำลองสมดุคดูดซับของฟรุนดลิช

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำสารผสมที่มีสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในสารผสม ตั้งแต่ 0 – 1 มาทำการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ชนิดเกล็ดของบริษัท Carbo Karn Co.,Ltd เป็นตัวดูดซับ ซึ่งสังเคราะห์จากกะลามะพร้าวภายในประเทศ มีคุณสมบัติพื้นฐานแสดงดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติพื้นฐานของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัย

การกระจายตัวของขนาดเม็ดถ่าน	
- น้อยกว่า 2.35 มิลลิเมตร	ร้อยละ 5
- 2.35 – 4.75 มิลลิเมตร	ร้อยละ 90
- มากกว่า 4.75 มิลลิเมตร	ร้อยละ 5
พื้นที่ผิวจำเพาะ	1154.6 ตารางเมตร/กรัม
ปริมาตรรูพรุนจำเพาะ	0.5196 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม
ขนาดรูพรุนเฉลี่ย	2.5763 นาโนเมตร
ความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

1. ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งไม่มีเศษเขม่าและฝุ่น
2. นำถ่านที่ล้างสะอาด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 นาที
3. นำถ่านที่อบเรียบร้อยแล้วเก็บไว้ใน โถดูดความชื้นจนอุณหภูมิคงที่ เพื่อเตรียมนำไปใช้งานในการทดลองต่อไป

3.2 การทดลองหาสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับความหนาแน่นของของผสม

1. เตรียมของผสมเมทานอล – กลีเซอรอล โดยนำเมทานอลผสมเข้ากับกลีเซอรอลที่สัดส่วนโดยมวลเมทานอลในของผสม ตั้งแต่ 0 - 1
2. นำของผสมไปเขย่าโดยใช้ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
3. นำของผสมที่สัดส่วนโดยมวลเมทานอลในของผสมต่าง ๆ ไปหาค่าความหนาแน่นด้วยขวดวัดความหนาแน่น (Pycnometer)
4. หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับความหนาแน่นของของผสม

3.3 การทดลองหาการระเหยของของผสม

1. เตรียมของผสมเมทานอล – กลีเซอรอล โดยนำเมทานอลผสมเข้ากับกลีเซอรอลที่ปริมาตรต่างๆ แดงดังตารางที่ 3.2
2. นำของผสมไปเขย่าโดยใช้ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
3. ทำการวัดมวลและความหนาแน่นของของผสม ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 60 นาที
4. หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับเวลา

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาตรของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองหาการระเหยของของผสม

ของผสม	ปริมาตร (mL)	
	กลีเซอรอล	เมทานอล
G00	0	50
G10	10	40
G20	20	30
G30	30	20
G40	40	10
G50	50	0

3.4 การทดลองหาสมมูลการดูดซับ

3.4.1 การทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมมูลของการดูดซับของผสม

1. เตรียมของผสมเมทานอล – กลีเซอรอล โดยนำเมทานอลผสมเข้ากับกลีเซอรอล ที่ปริมาตรต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.3
2. นำของผสมไปเขย่าโดยใช้ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
3. ทำการวัดมวลและความหนาแน่นของของผสม ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 180 นาที

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาตรของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมมูลของการดูดซับของผสม

ของผสม	ปริมาตร (mL)	
	กลีเซอรอล	เมทานอล
G10	10	40
G20	20	30
G25	25	25
G30	30	20
G40	40	10

3.4.2 การทดลองหาสมมูลการดูดซับของผสม

1. เตรียมของผสมเมทานอล – กลีเซอรอล โดยนำเมทานอลผสมเข้ากับกลีเซอรอล ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมเป็น 0.1
2. ผสมตัวดูดซับเข้ากับของผสม ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักกลีเซอรอลผสมเมทานอล
3. นำของผสมไปเขย่าโดยใช้ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
4. ทำการวัดมวลของผสมและความหนาแน่นของของผสม ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 60 นาที

5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมก่อนดูดซับเป็น 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ
6. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพลอตกราฟไอโซเทอมการดูดซับว่าตรงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใด

3.5 การทดลองคืนสภาพตัวดูดซับ

ถ่านดูดซับนี้ทำการดูดซับของผสมเป็นเวลา 60 นาที โดยของผสมนี้มีปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณของเมทานอลและกลีเซอรอลในการทดลองการดูดซับของผสม

ของผสม	ปริมาณ (mL)	
	กลีเซอรอล	เมทานอล
G10	10	40
G20	20	30
G25	25	25
G30	30	20
G40	40	10

นำถ่านดูดซับนี้ทำการทดลองการคืนสภาพดังนี้

1. นำถ่านดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำการวัดมวลหลังการดูดซับ และนำมาอบครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที
2. ทำการวัดมวลถ่านดูดซับหลังการอบ
3. นำถ่านมาล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งที่ 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 30 นาที
4. ทำการวัดมวลถ่านดูดซับหลังการล้างถ่านดูดซับ
5. นำถ่านมาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
6. ทำการวัดมวลถ่านดูดซับหลังการอบ

7. นำถ่านมาล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งที่ 2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 30 นาที
8. ทำการวัดมวลถ่านดูดซับหลังการล้างถ่านดูดซับ
9. นำถ่านมาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
10. ทำการวัดมวลถ่านดูดซับหลังการอบ
11. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 8 – 10
12. นำถ่านที่ได้มาทำการทดลองการดูดซับที่ปริมาตรของเมทานอลและกลีเซอรอล

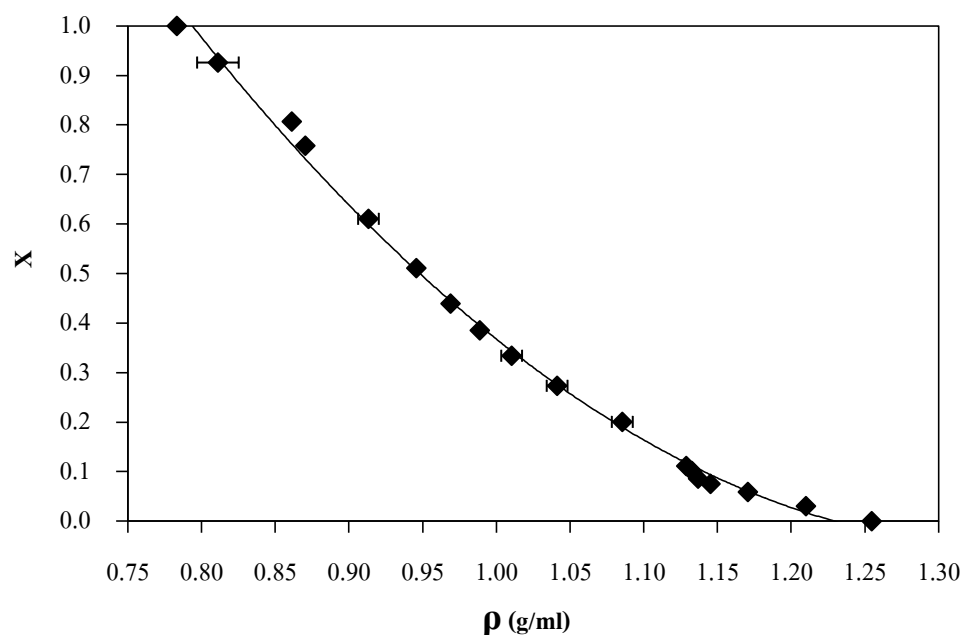
เดิม ดังตารางที่ 3.4

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดสอบความหนาแน่นของของผสมเมทานอลและกลีเซอรอล

ในการทดสอบความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของของผสมเมทานอลและกลีเซอรอลกับสัดส่วนโดยมวล ได้ทดสอบสองครั้ง โดยนำเมทานอลและกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ มาผสมกัน และนำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27 องศาเซลเซียส และวัดค่าความหนาแน่นของของผสม ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ทั้งสองครั้งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1% ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของของผสมกับสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลเป็นแบบโพลิโนเมียล โดยเมทานอลบริสุทธิ์มีค่าความหนาแน่น 0.7833 g/mL ซึ่งน้อยกว่ากลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่มีค่าความหนาแน่น 1.2547 g/mL ดังนั้นเมื่อสัดส่วนมวลของเมทานอลในของผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นของของผสมจึงมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงได้ดังภาพที่ 4.1



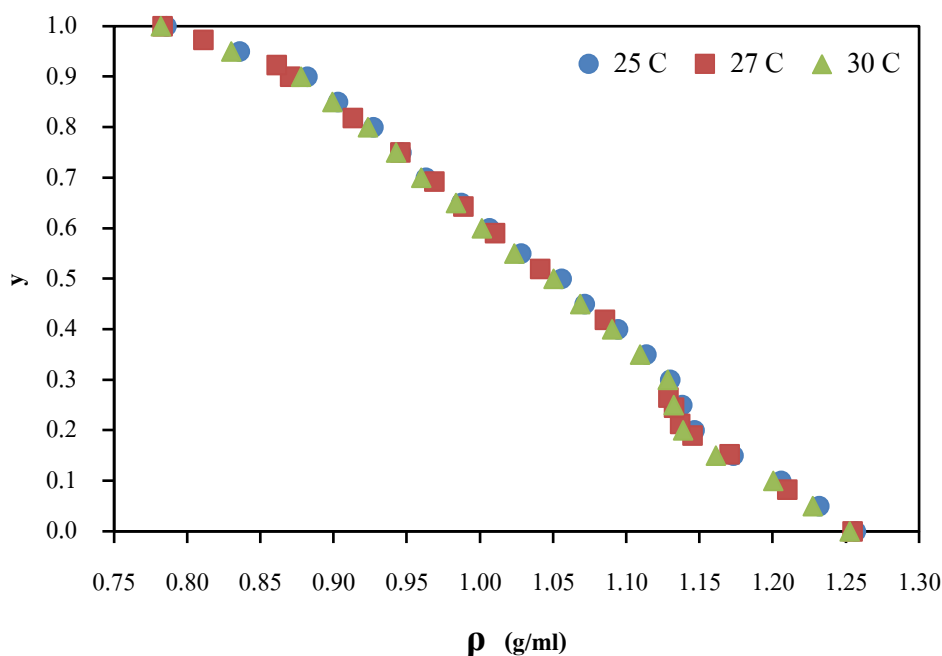
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสมกับสัดส่วนมวลของเมทานอลในของผสม ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

มีสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับสัดส่วนมวลของเมทานอลเป็น

$$x = 3.3579\rho^2 - 9.0883\rho + 6.0981 \quad R^2 = 0.9965$$

เมื่อ x คือ สัดส่วนมวล (mass fraction) ของเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0 – 1 และ ρ คือ ความหนาแน่นของของผสม (g/mL)

ผลการทดสอบ มีความสอดคล้องกับผลทดสอบของ Ufuk Sancar Vural, V. Muradoglu, Sedat Vural [18] ซึ่งได้นำเสนอค่าความหนาแน่นของของผสมเมทานอลและกลีเซอรอล สัดส่วนโมล (mole fraction, y) ของเมทานอลในสารผสม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสม กับสัดส่วนโมลของเมทานอลในของผสม

ความหนาแน่นของของผสมที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อค่าสัดส่วนโมลของเมทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นของของผสมมีค่าลดลง และมีค่าที่ใกล้เคียงกันที่ทุก

ๆ อุณหภูมิ ดังนั้น อาจจะสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของของผสมเมทานอลและกลีเซอรอล

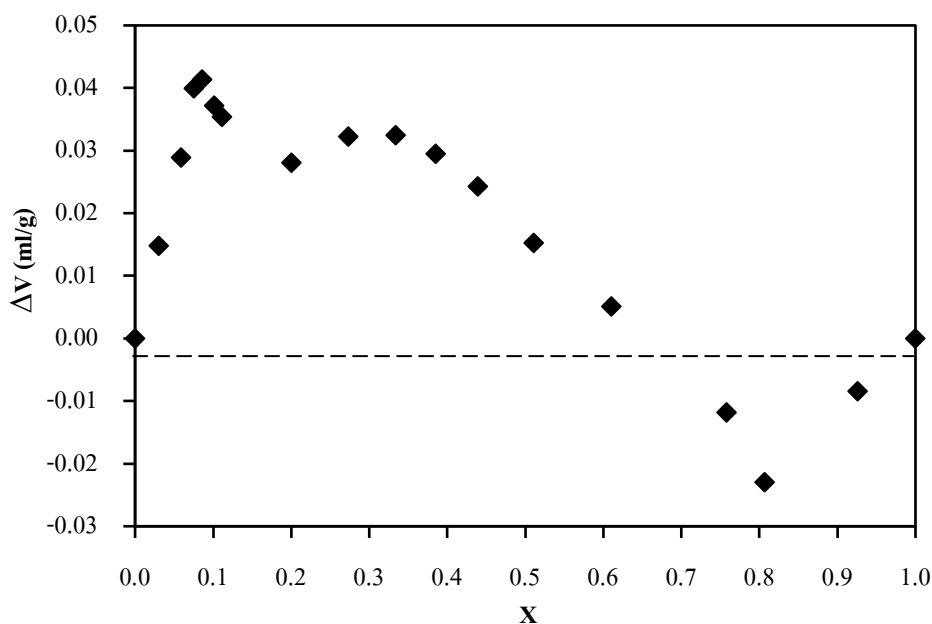
ผลการทดสอบค่าของความหนาแน่นของของผสมนี้ สามารถนำมาแปลงค่าเป็นปริมาตรจำเพาะ (ปริมาตรต่อหน่วยมวล) เพื่อคำนวณหาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง ($\Delta\hat{V}$) ได้จาก

$$\Delta\hat{V} = \hat{V}_{mix} - (x\hat{V}_M + (1-x)\hat{V}_G) \quad (4.1)$$

โดย $\hat{V}_{mix}, \hat{V}_M, \hat{V}_G$ คือ ปริมาตรจำเพาะของของผสม, ปริมาตรจำเพาะของเมทานอล และปริมาตรจำเพาะของกลีเซอรอล ตามลำดับ และ x คือ สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงกับค่าสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม แสดงได้ดังภาพที่ 4.3 ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในช่วง 0 – 0.65 ค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นบวก เนื่องจากปริมาตรจำเพาะของของผสมมีค่ามากกว่า และที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในช่วง 0.65 – 1 ค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงกับค่าสัดส่วนโดยมวลเป็นแบบโพลิโนเมียลกำลังหก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9665 แสดงค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ และผลรวมของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง สรุปไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงกับสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม และผลรวมของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	$\Sigma(\Delta\hat{V}_{eq} - \hat{V}_{exp})^2$
-10.178	32.422	-39.099	22.514	-6.5034	0.8447	-0.0009	0.0002212



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง
กับค่าสัดส่วน โดยมวลของเมทานอลในของผสม

4.2 การทดสอบหาสมดุลการดูดซับ

4.2.1 การทดสอบการระเหยของของผสม

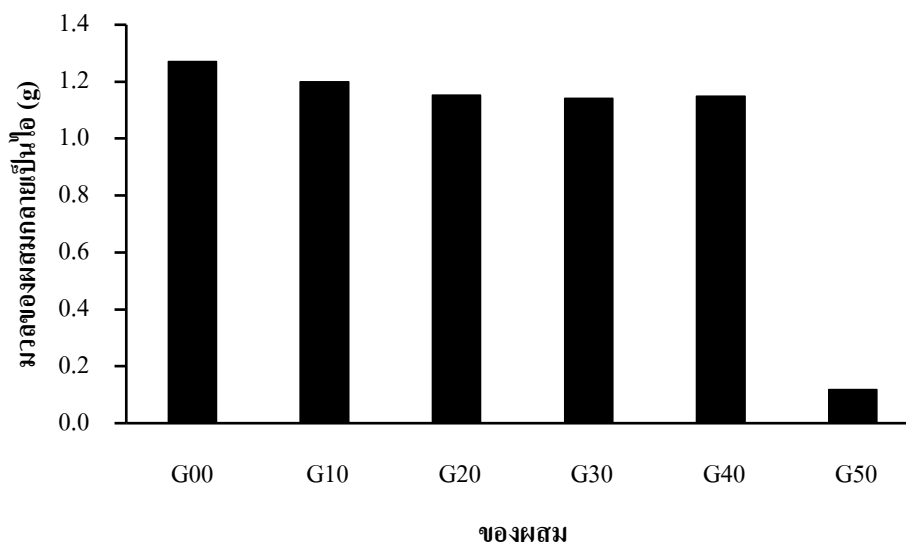
ในการทดสอบหาการระเหย เป็นการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบหาสมดุลการดูดซับแต่ไม่ได้ตัวดูดซับ ใช้เวลาในการทดสอบ 60 นาที เนื่องจากในการทดสอบหาสมดุลการดูดซับพบว่าเกิดสมดุลการดูดซับที่เวลาประมาณ 60 นาที ซึ่งผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่ 4.2.2

4.2.1.1 การระเหยของเมทานอล และกลีเซอรอลบริสุทธิ์

ผลจากการทดสอบของผสม G00 และ G50 โดยนำเมทานอล และกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ปริมาตร 50 mL มาทำการเขย่าโดยไม่ใส่ตัวดูดซับ และวัดมวลที่ลดลงทุก ๆ 15 นาที จะได้ว่ามวลของเมทานอลลดลงไป 1.2695 g หรือประมาณ 3.4% ของมวลเริ่มต้น และมวลของกลีเซอรอลลดลงไป 0.1181 g หรือประมาณ 0.2% ของมวลเริ่มต้น เมทานอลมีค่ามวลลดลงมากกว่า เนื่องจากความดันไอของเมทานอลมีค่าสูงกว่ากลีเซอรอล ทำให้เมทานอลเกิดการระเหยได้ง่ายกว่า แต่เมื่อพิจารณามวลที่ลดลงของมวลทั้งสอง จะเห็นได้ว่ามวลลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่เกิน 5% ดังนั้นการระเหยจึงไม่มีผลต่อการทดสอบ

4.2.1.2 การระเหยของของผสม

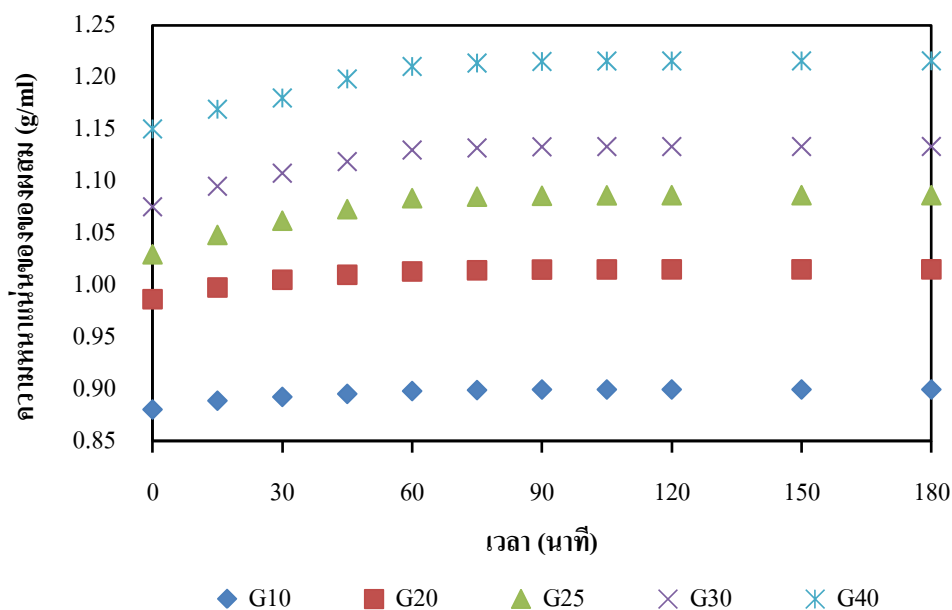
นำเมทานอลและกลีเซอรอลทำการผสมกันที่ปริมาณต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 นำของผสมมาทำการเขย่าโดยไม่ใส่ตัวดูดซับ และวัดมวลที่ลดลงทุกๆ 15 นาที ผลจากการทดสอบการระเหยของของผสมได้ว่า มวลของของผสมมีค่าลดลง แสดงได้ดังภาพที่ 4.4 ในการทดสอบของผสมทั้งหมด ของผสม G10 มีเมทานอลผสมอยู่มากที่สุด มีค่าสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลเท่ากับ 0.7141 มวลของของผสมลดลงไป 1.1990 g หรือประมาณ 2.8 % ของมวลเริ่มต้น และของผสม G40 มีเมทานอลผสมอยู่น้อยที่สุด มีค่าสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 0.1350 มวลของของผสมลดลงไป 1.1490 g หรือประมาณ 2.1 % ของมวลเริ่มต้น จะเห็นได้ว่าของผสมมีมวลลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่เกิน 5 % ของมวลเริ่มต้น ดังนั้นการระเหยจึงไม่มีผลต่อการทดสอบในครั้งนี้ และในส่วนของค่าความหนาแน่นของของผสม ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1% ของความหนาแน่นเริ่มต้น ซึ่งแสดงว่าเมทานอลเกิดการระเหยมากกว่ากลีเซอรอล เนื่องจากความหนาแน่นของของผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการระเหยนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่จากการเขย่า จึงเกิดการชนกันและถ่ายเทพลังงานจลน์ให้แก่กัน โมเลกุลที่พลังงานจลน์สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล และอยู่บริเวณผิวหน้าของของเหลวจะหลุดออกไปจากของเหลวกลายเป็นไอ จึงส่งผลให้มวลสุดท้ายของของผสมมีค่าลดลง แต่ค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจากการระเหยนี้ มีค่าการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของของผสมจากการทดสอบโดยใส่ตัวดูดซับ ซึ่งอธิบายเพิ่มเติมในเรื่องการทดสอบการดูดซับ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่น จึงมีผลมาจากการดูดซับมากกว่าการระเหยของของผสม



ภาพที่ 4.4 มวลของพสมที่กลายเป็นไอ ที่มีเมทานอลและกลีเซอรอล
พสมในปริมาณต่าง ๆ

4.2.2 การทดสอบหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับของพสม

เมื่อพสมเมทานอลและกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ ที่แสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นนำของพสมไปทำการเขย่าเพื่อให้ของพสมมีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ จากนั้นพสมตัวดูดซับด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักของพสม ในการทดสอบนี้ได้ทดสอบตั้งแต่ 0 – 180 นาที โดยถ่านดูดซับสามารถดูดซับของพสมเข้าสู่ภายในโพรงของถ่านดูดซับได้ดีในช่วง 60 นาทีแรก แสดงดังภาพที่ 4.5 ลักษณะกราฟจะมีความชันมากในช่วง 60 นาทีแรก ค่าความหนาแน่นของพสมที่สกัดส่วนโดยมวลต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเวลาการดูดซับเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของพสมที่เริ่มคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งลักษณะกราฟจะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเข้าใกล้ศูนย์ ของพสม G40 มีปริมาณเมทานอลพสมอยู่น้อย เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น ค่าความหนาแน่นของพสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน



ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของของผสม
กับระยะเวลาในการดูดซับ

จากลักษณะกราฟที่ได้ สามารถหาเวลาสมดุลการดูดซับได้จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลาที่ระบบเริ่มเข้าสู่สมดุลดูดซับ นั่นคือเวลา 60 นาที แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความหนาแน่นเฉลี่ยที่เวลาติดกัน ถ้าค่าความหนาแน่นเฉลี่ยทั้งสองใกล้เคียงกัน จะถือว่าเวลาที่มีค่าน้อยกว่าเป็นเวลาสมดุลดูดซับของระบบ แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น ดังตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของของผสมเฉลี่ยที่เวลา 90 นาที มีค่าความหนาแน่นของของเฉลี่ยใกล้เคียงกับที่เวลา 120 นาที หรือมีค่าความแตกต่างค่าน้อยประมาณ 0.02 % ต่อมาทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นของของผสมเฉลี่ยที่เวลา 60 นาที กับค่าความหนาแน่นของของเฉลี่ยที่เวลา 90 นาที จะได้ว่าค่าความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน หรือมีค่าความแตกต่างค่าน้อยประมาณ 0.09 % จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นของของผสมเฉลี่ยค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเวลาน้อยที่สุดจึงเป็นเวลาที่เข้าสู่สมดุล ซึ่งเวลาเข้าสู่สมดุลดูดซับของการดูดซับของผสมเมทานอล - กลีเซอรอล คือเวลา 60 นาที

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความหนาแน่นของของผสมที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่เวลา 60 90 และ 120 นาที ที่ การทดสอบต่าง ๆ

การทดสอบ	ความหนาแน่นของของผสมเฉลี่ยที่เวลา			$\left \frac{\bar{\rho}_{90} - \bar{\rho}_{60}}{\bar{\rho}_{90}} \right \times 100$	$\left \frac{\bar{\rho}_{120} - \bar{\rho}_{90}}{\bar{\rho}_{120}} \right \times 100$
	60-180	90-180	120-180		
G10	0.8992	0.8995	0.8995	0.0330	0.0022
G20	1.0147	1.0151	1.0152	0.0398	0.0059
G25	1.0858	1.0864	1.0866	0.0532	0.0139
G30	1.1327	1.1333	1.1334	0.0578	0.0054
G40	1.2147	1.2157	1.2158	0.0844	0.0118

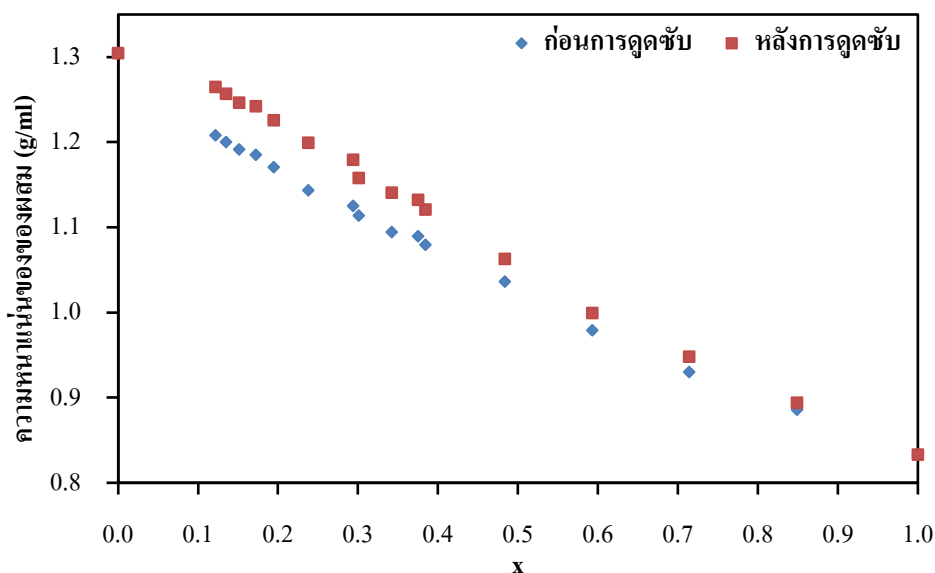
4.2.3 ผลการดูดซับเมทานอล และกลีเซอรอลบริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์

นำเมทานอลและกลีเซอรอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาผสมกับตัวดูดซับด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักของเมทานอลและกลีเซอรอล การทดสอบโดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ ดูดซับเมทานอลและกลีเซอรอล เป็นเวลา 60 นาที ค่าความหนาแน่นของเมทานอลและกลีเซอรอลยังคงมีค่าเท่าเดิมคือ 0.7833 g/mL และ 1.2547 g/mL ตามลำดับ มวลของเมทานอลหลังจากการดูดซับลดลงจากมวลเริ่มต้นเท่ากับ 9.2137 g หรือประมาณ 21 % ของมวลเมทานอลเริ่มต้น และมวลของถ่านดูดซับเพิ่มขึ้นจากมวลถ่านเริ่มต้นเท่ากับ 8.0227 g คิดเป็นปริมาณการดูดซับเมทานอลต่อมวลถ่านเท่ากับ 2.2195 กรัม/กรัมถ่าน แสดงว่าถ่านดูดซับสามารถดูดซับเมทานอลได้ดี หากพิจารณามวลของเมทานอลที่ลดลงและมวลของถ่านที่เพิ่มขึ้นจะมีส่วนที่ขาดหายไปประมาณ 1.1910 g หรือประมาณ 3% ของมวลเมทานอลเริ่มต้น ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเมทานอลระเหย ดังแสดงผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2.1 ในส่วนการดูดซับกลีเซอรอล มวลของกลีเซอรอลมีค่าลดลงไป 11.1468 g หรือประมาณ 11 % ของมวลกลีเซอรอลเริ่มต้น และมวลของถ่านดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 6.6325 g คิดเป็นปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลต่อมวลถ่านเท่ากับ 1.1610 กรัม/กรัมถ่าน ซึ่งแสดงว่าถ่านดูดซับสามารถดูดซับกลีเซอรอลได้เช่นกัน แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างเมทานอลกับกลีเซอรอล ปริมาณการดูดซับเมทานอลจะมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลมีความหนืดที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสประมาณ 0.8494 Pa.s และเมทานอลมีความหนืดที่

อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสประมาณ 5.322×10^{-04} Pa.s จะเห็นได้ว่ากลีเซอรอลมีความหนืดมากกว่า ทำให้การเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนทำได้ยากกว่าเมทานอลที่มีความหนืดน้อย ดังนั้นถ่านสามารถดูดซับ จึงสามารถดูดซับเมทานอลได้ดีกว่า ในส่วนของมวลกลีเซอรอลที่ลดลงและมวลของถ่านที่เพิ่มขึ้น จะมีส่วนที่ขาดหายไปประมาณ 4.5143 g หรือประมาณ 8% ของน้ำหนักเริ่มต้น ซึ่งมีความมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบโดยไม่ใส่ตัวดูดซับในหัวข้อที่ 4.2.1 เนื่องจากกลีเซอรอลมีความหนืดมาก เมื่อทำการทดสอบในขั้นตอนการแยกกลีเซอรอลกับถ่าน ในขั้นตอนสุดท้าย ต้องใช้เวลานานและมีส่วนที่กลีเซอรอลติดค้างภาชนะและอุปกรณ์ในการแยก ทำให้ปริมาณการหายไปของมวลกลีเซอรอลมีมากกว่า

4.2.4 ผลการดูดซับของผสมด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์

ทำการผสมเมทานอลและกลีเซอรอลที่ปริมาตรต่าง ๆ นำของผสมที่ได้ไปทำการเขย่า เพื่อให้ของผสมมีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการผสมตัวดูดซับด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักของผสม ทำการดูดซับเป็นเวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์นี้สามารถดูดซับของผสม เมทานอล – กลีเซอรอล เข้าสู่โพรงภายในของถ่านกัมมันต์ได้ด้วยแรงแคปิลลารี ผลจากการดูดซับนี้ทำให้ความหนาแน่นของของผสมมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆ กรณี แสดงได้ดังภาพที่ 4.6 เมื่อทำการพิจารณาจากกราฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือในช่วงที่มีสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.1 – 0.6 จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของของผสมหลังการดูดซับเพิ่มขึ้นมากกว่าในช่วงอื่นๆ แสดงว่าถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์นี้มีความสามารถในการดูดซับของผสมเมทานอล – กลีเซอรอลได้ดีในช่วงนี้ และความหนาแน่นในช่วงนี้มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ของค่าความหนาแน่นเริ่มต้น ในช่วงที่สองที่มีสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.6 – 0.9 จะได้ว่าค่าความหนาแน่นของของผสมเมทานอล – กลีเซอรอลหลังการดูดซับยังคงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าในช่วงแรก หรือมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 2 % ของความหนาแน่นเริ่มต้น เนื่องจากในช่วงนี้จะมีค่าเมทานอลผสมอยู่ในปริมาณมาก การที่ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นมากต้องอาศัยการดูดซับปริมาณเมทานอลที่มากขึ้นด้วย

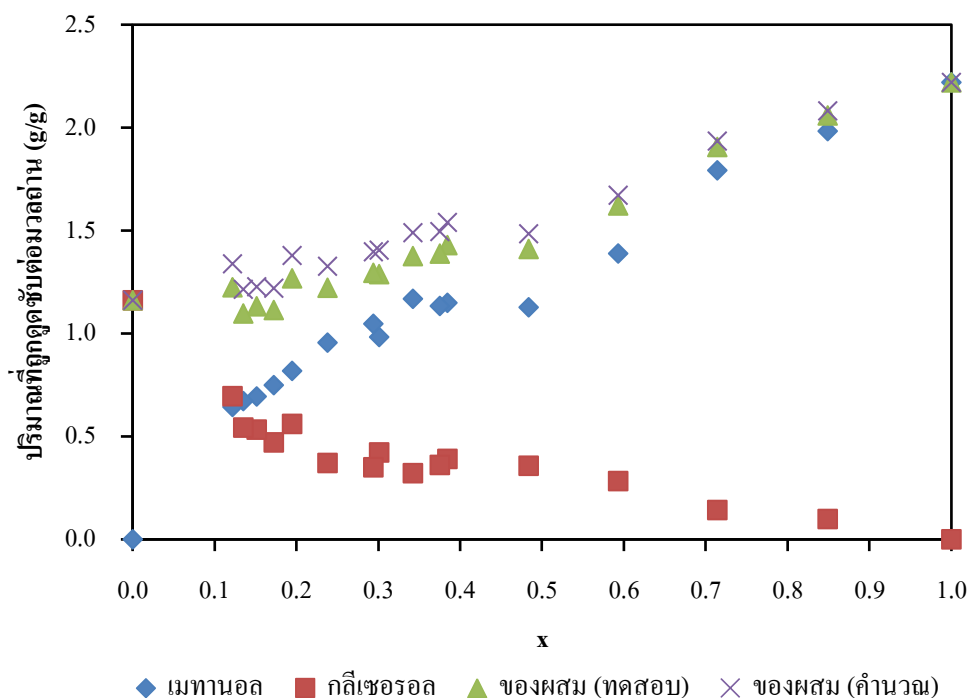


ภาพที่ 4.6 แสดงความหนาแน่นของของผสมหลังการดูดซับด้วยถ่านดูดซับ
ที่มีสัดส่วนโดยมวลเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.0 – 1.0

4.2.5 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการดูดซับนี้ มีความสามารถในการดูดซับเมทานอลและกลีเซอรอลได้เป็นอย่างดี ในช่วงการดูดซับภายใน 60 นาที ค่าความหนาแน่นของของผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเราสามารถนำมาคำนวณค่าปริมาณการดูดซับของสารแต่ละชนิดได้ โดยวิธีวัดความหนาแน่นของของผสมทั้งก่อนและหลังสมดุล และคำนวณปริมาณสารที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ได้แก่ปริมาณดูดซับเมทานอล ปริมาณดูดซับกลีเซอรอล และปริมาณดูดซับของของผสมที่ได้จากนำปริมาณเมทานอลและปริมาณกลีเซอรอลมารวมกัน และในส่วนค่าปริมาณการดูดซับของของผสมจากการทดสอบ จะทำการวัดโดยตรงจากมวลถ่านดูดซับเริ่มต้น และมวลถ่านที่เพิ่มขึ้นหลังสมดุลของถ่านดูดซับ ปริมาณการดูดซับของผสมในส่วนของการทดสอบและการคำนวณ ควรมีค่าที่เท่ากัน แต่จากกราฟที่แสดงดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณการดูดซับของผสมที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่า ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากการสูญเสียมวลของของผสมที่มีการระเหยออกไปบางส่วน และสูญเสียระหว่างการทำการทดสอบ ในช่วงการแยกของผสมและถ่านดูดซับ เนื่องจากของผสมมีความหนืด จึงต้องใช้เวลาในการแยกมาก และมีบางส่วนติดที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ จากกราฟในช่วงที่มีสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลตั้งแต่ 0.1 – 1.0

จะมีปริมาณการดูดซับเมทานอลมากกว่าปริมาณการดูดซับกลีเซอรอล ทำให้ค่าความหนาแน่นของของผสมมีค่าเพิ่มขึ้นมาก และในช่วงที่มีสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลตั้งแต่ 0.00 – 0.1 จะมีปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลมากกว่าปริมาณการดูดซับเมทานอล ทั้งนี้เนื่องจากในของผสมมีเมทานอลอยู่ในปริมาณที่น้อย แต่ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมทานอลที่มีปริมาณน้อยเมื่อถูกดูดซับไปในปริมาณที่เล็กน้อย ค่าความหนาแน่นก็เพิ่มขึ้นมาก ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่านนี้ จะแปรผกผันกับค่าความหนืดของของผสม นั่นคือที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลสูงๆ ค่าความหนืดของของผสมจะมีค่าน้อย ปริมาณการดูดซับจึงมีค่ามากกว่าที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่ำๆ ที่ค่าความหนืดของของผสมจะมีค่ามากขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนเกิดได้ยากกว่า ปริมาณการดูดซับของของผสมจึงมีค่าลดลง



ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน

ค่าความหนืด (ν) ของของผสมที่เป็นคนละชนิดกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป สามารถคำนวณจาก Refutas equation มีขั้นตอนการคำนวณ 3 ขั้นตอน [19] คือ

- 1) คำนวณค่า Viscosity Blending Number (VBN) ของสารแต่ละชนิดที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$VBN_i = 14.534x \ln[\ln(v_i + 0.8)] + 10.975 \quad (4.2)$$

- 2) คำนวณค่า Viscosity Blending Number (VBN) ของสารผสม

$$VBN_{blend} = [X_A x VBN_A] + [X_B x VBN_B] \quad (4.3)$$

- 3) คำนวณค่าความหนืดของสารผสม

$$v = \exp \left[\exp \left(\frac{VBN_{blend} - 10.975}{14.534} \right) \right] - 0.8 \quad (4.4)$$

เมื่อ	v_i	คือ	ค่าความหนืดของสาร i มีหน่วยเป็น cSt
	v	คือ	ค่าความหนืดของสารผสม มีหน่วยเป็น cSt
	X_A, X_B	คือ	ค่า mass fraction ของสาร A และ B ตามลำดับ

แสดงค่าความหนืดของของผสมที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนืดของของผสมที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

สัดส่วน โดยมวล		ความหนืด (Pa.s)
กลีเซอรอล	เมทานอล	
0.0000	1.0000	5.322×10^{-04}
0.1511	0.8489	8.415×10^{-04}
0.2859	0.7141	1.372×10^{-03}
0.4071	0.5929	2.336×10^{-03}
0.5164	0.4836	4.195×10^{-03}
0.6157	0.3843	7.841×10^{-03}
0.6249	0.3751	8.412×10^{-03}
0.6578	0.3422	1.059×10^{-02}
0.6990	0.3010	1.468×10^{-02}
0.7061	0.2939	1.569×10^{-02}
0.7621	0.2379	2.569×10^{-02}
0.8054	0.1946	3.990×10^{-02}
0.8277	0.1723	5.104×10^{-02}
0.8486	0.1514	6.462×10^{-02}
0.8650	0.1350	7.869×10^{-02}
0.8782	0.1218	9.283×10^{-02}
1.0000	0.0000	8.494×10^{-01}

หากพิจารณาค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับ (Unadsorbed fraction, UF) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ในของผสมที่เหลือจากการดูดซับ จะได้ว่าเมื่อสารที่มีค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับมาก สารนั้นจะมีปริมาณการดูดซับน้อย และสารที่มีค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับมีค่าน้อย สารนั้นจะมีปริมาณการดูดซับมาก สามารถคำนวณค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับจาก

$$UF = \frac{n^{(P)}}{n^{(F)}} \quad (4.5)$$

เมื่อ $n^{(P)}$ และ $n^{(F)}$ คือ อัตราการไหลของของผสมในผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นตามลำดับ สามารถคำนวณค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับได้ว่า เมทานอลมีค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับน้อยกว่ากลีเซอรอล แสดงว่าเมทานอลมีปริมาณการดูดซับที่มากกว่ากลีเซอรอล แสดงค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัดส่วนไม่ถูกดูดซับ (Unadsorbed fraction)

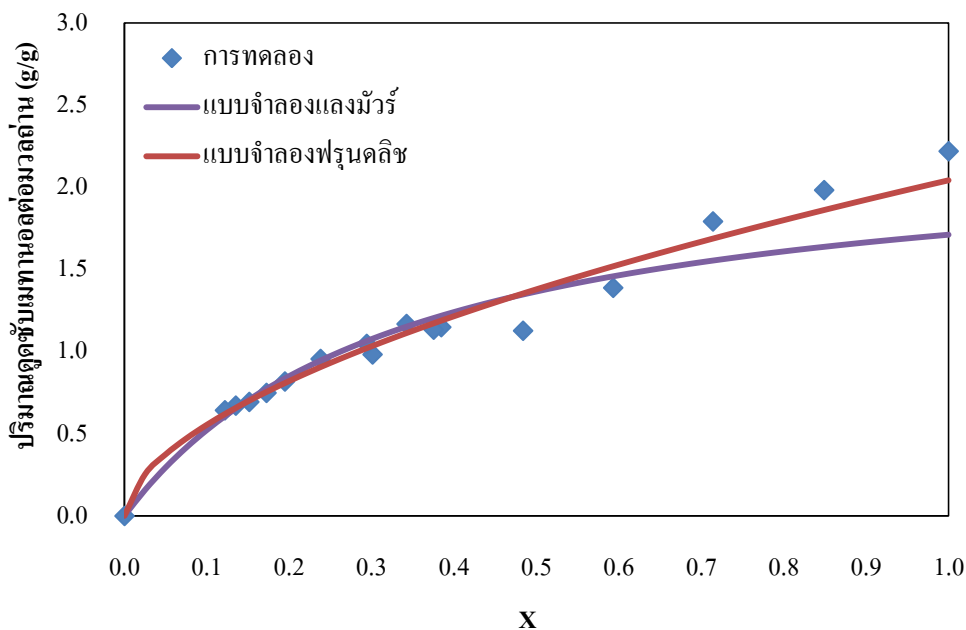
ปริมาณสารตั้งต้น		สัดส่วนไม่ถูกดูดซับ	
กลีเซอรอล	เมทานอล	กลีเซอรอล	เมทานอล
6.2511	35.1228	0.9188	0.7467
12.4535	31.0986	0.9323	0.7145
18.4805	26.9203	0.8986	0.7026
24.6099	23.0457	0.9325	0.6840
30.8134	19.2366	0.9428	0.5773
32.0870	19.2612	0.9642	0.5711
37.1336	19.3185	0.9394	0.5369
35.4810	15.2762	0.9266	0.5286
36.6577	15.2568	0.9695	0.4606
36.4987	11.3929	0.9269	0.4041
37.7020	9.1111	0.9110	0.3331
40.3304	8.3927	0.9288	0.2679
42.8771	7.6480	0.8922	0.2499
49.1558	7.6719	0.9073	0.1913
55.4040	7.6863	0.8833	0.1329

4.2.5.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับของเมทานอลในของผสม จากผลการทดลอง ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ มีลักษณะโค้งคว่ำ ลักษณะกราฟนี้ใกล้เคียงกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์และฟรุนดลิช แบบจำลองที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมดุลดูดซับ กับปริมาณสมดุลดูดซับต่อมวลถ่านที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง [Sum square error, $\Sigma((q_{eq}-q_{exp})^2)$] โดยค่า คงที่ของแบบจำลองแต่ละชนิด, Sum square error และ R^2 แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับ ของปริมาณสมดุลดูดซับเมทานอล

แบบจำลอง สมดุลดูดซับ	ค่าคงที่สมดุล ดูดซับ (K)	ปริมาณสมดุลดูดซับ จำเพาะสูงสุด (q_{mx})	ดัชนี กำลัง (n)	$\Sigma((q_{eq} - q_{exp})^2)$	R^2
แลงมัวร์	2.9513	2.2925	-	0.5084	0.9518
ฟรุนดลิช	2.0426	-	0.5668	0.1381	0.9679

การเปรียบเทียบผลของแบบจำลองสมดุลดูดซับแลงมัวร์และฟรุนดลิช กับผลการทดสอบการดูดซับแสดงดังภาพที่ 4.8 ที่สัดส่วนมวลตั้งแต่ 0–0.6 สามารถใช้แบบจำลองสมดุลดูดซับทั้งสองเป็นตัวแทนได้ เนื่องจากมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่สัดส่วนมวลมากกว่า 0.6 แบบจำลองสมดุลดูดซับที่เป็นตัวแทนเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับนั้นๆ จะทำการพิจารณาจากค่า Sum square error ที่มีค่าต่ำที่สุด พบว่าแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชให้ค่า Sum square error ที่น้อยกว่า



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลทดสอบสมดุลดูดซับเมทานอล

ดังนั้นค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์จึงเป็นเพียงค่าคงที่ที่ไม่มีนัยสำคัญ เพราะฉะนั้นแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนคลิชมีความเหมาะสมสำหรับสมดุลการดูดซับของเมทานอลในของผสม สามารถคำนวณค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) เท่ากับ 2.0426 และค่าดัชนีกำลัง (n) เท่ากับ 0.5668 สมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนคลิชแสดงได้ดังสมการที่ 4.6

$$q = 2.0426X^{0.5668} \quad (4.6)$$

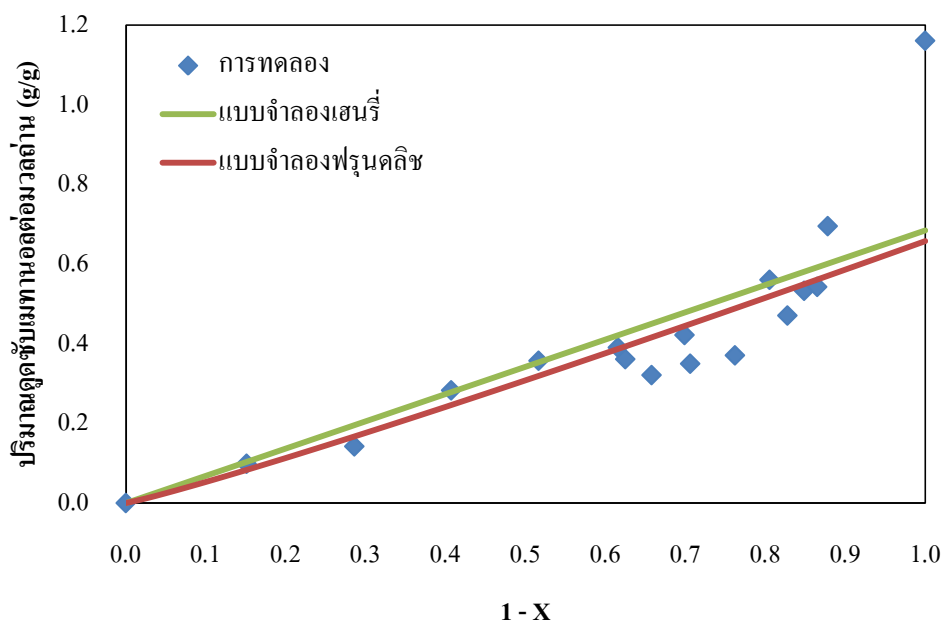
4.2.5.2 แบบจำลองสมดุลการดูดซับของกลีเซอรอลในของผสม จากผลการทดลอง ปริมาณกลีเซอรอลที่ถูกดูดซับ มีลักษณะโค้งหงาย ลักษณะกราฟนี้ใกล้เคียงกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีและฟรุนคลิช แบบจำลองที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมดุลดูดซับ กับปริมาณสมดุลดูดซับต่อมวลถ่านที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง [Sum square error, $\sum((q_{eq} - q_{exp})^2)$] โดยค่า คงที่ของแบบจำลองแต่ละชนิด, Sum square error และ R^2 แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับ ของปริมาณสมดุลดูดซับกลีเซอรอล

แบบจำลอง สมดุลดูดซับ	ค่าคงที่สมดุล ดูดซับ (K)	ดัชนีกำลัง (n)	$\Sigma((q_{eq} - q_{exp})^2)$	R ²
เฮนรี่	0.6842	-	0.3186	0.7038
ฟรุนลิช	0.6574	1.0932	0.3135	0.9679

การเปรียบเทียบผลของแบบจำลองสมดุลดูดซับเฮนรี่และฟรุนลิช กับผลการทดสอบการดูดซับแสดงดังภาพที่ 4.9 ลักษณะผลการทดลองแบบโค้งหยงมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบจำลองของฟรุนลิช และพบว่าค่าดัชนีกำลังมีค่าใกล้เคียง 1 จึงพิจารณาในส่วนของแบบจำลองสมดุลดูดซับเฮนรี่เพิ่มเติม ได้ค่า Sum square error ของแบบจำลองสมดุลดูดซับทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นแบบจำลองสมดุลดูดซับที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาค่าของ R² ที่มีค่าใกล้ 1 พบว่าแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนลิชมีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่า สามารถคำนวณค่าคงที่ของแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนลิช (K_f) เท่ากับ 0.6574 และค่าดัชนีกำลัง (n) เท่ากับ 1.0932 สมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนลิชแสดงได้ดังสมการที่ 4.7

$$q = 0.6574(1 - X)^{1.0932} \quad (4.7)$$



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลทดสอบสมดุลดูดซับกลีเซอรอล

ปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลต่อมวลถ่านมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนโดยมวลของ กลีเซอรอลในของผสมเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลต่อมวลถ่านมีค่าสูงสุดที่สัดส่วน โดยมวลของกลีเซอรอลเป็น 1 มีค่าเท่ากับ 1.1610 กรัม/กรัมถ่าน

4.2.5.3 แบบจำลองสมดุลการดูดซับของของผสม จากภาพที่ 4.7 ปริมาณการดูดซับของ ผสมที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการดูดซับของผสมที่ได้จากการคำนวณ ค่า ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ดังนั้นสามารถคำนวณสมดุลการดูดซับของของผสมได้จากสมการที่ 4.7

$$q_T = q_M + q_G \quad (4.8)$$

$$q_T = 2.0426X^{0.5668} + 0.6574(1 - X)^{1.0932} \quad (4.9)$$

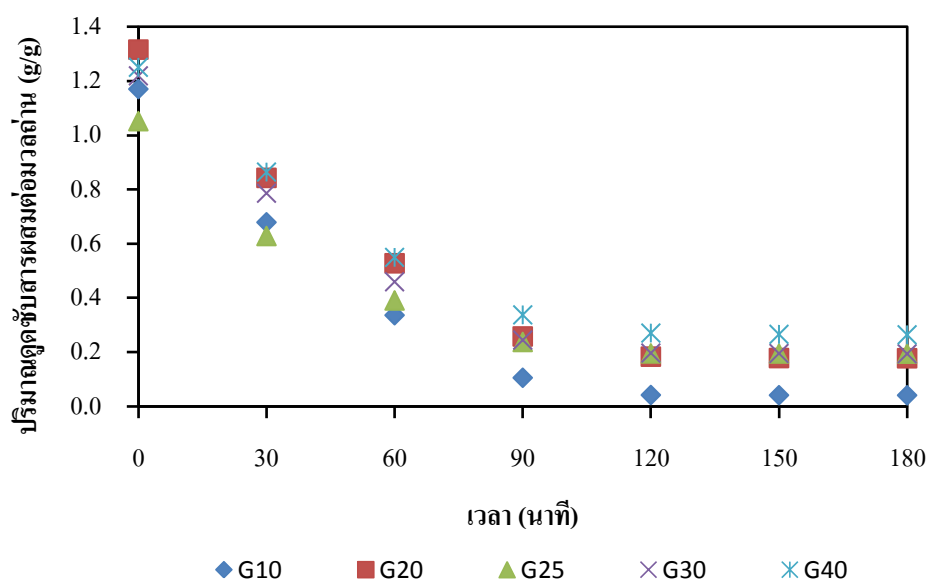
4.3 ผลการทดสอบคืนสภาพตัวดูดซับที่ใช้แล้ว

หลังจากการทดสอบการดูดซับของผสมที่เวลา 60 นาที จะได้ว่ามวลของถ่านดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งของผสมเมทานอล – กลีเซอรอล ถูกดูดซับไว้ในรูพรุนและบนผิวของถ่านดูดซับ และเนื่องจากเมทานอลถือว่าเป็นสารปนเปื้อนในกลีเซอรอล มีจุดเดือดเท่ากับ 64.7 องศาเซลเซียส และกลีเซอรอลมีจุดเดือดเท่ากับ 290 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการคืนสภาพตัวดูดซับ เริ่มต้นนำถ่านดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที เพื่อระเหยสารปนเปื้อนเมทานอลออกจากถ่านดูดซับและเหลือกลีเซอรอลเป็นส่วนใหญ่ที่ติดอยู่ในรูพรุน การเปลี่ยนแปลงปริมาณสมดุลดูดซับของถ่านแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 จากของผสม G10 มีมวลถ่านลดลงมากที่สุด ลดลงประมาณ 48% ของมวลถ่านก่อนอบ เนื่องจากในกรณีนี้มีปริมาณการดูดซับเมทานอลมากกว่ากลีเซอรอล ดังแสดงผลการทดสอบไว้ในหัวข้อที่ 4.3.3 ดังนั้นปริมาณเมทานอลที่ระเหยออกไปจึงมีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับของผสม G40 ซึ่งมีมวลถ่านลดลงน้อยที่สุด มีมวลถ่านลดลงเพียง 11% เท่านั้น ซึ่งกรณีนี้มีการดูดซับกลีเซอรอลมากกว่าเมทานอล และมีกลีเซอรอลที่เคลือบอยู่บนผิวของถ่านดูดซับอีกจำนวนหนึ่ง จึงทำให้เมทานอลมีการระเหยได้ยากกว่า อาจใช้ทดสอบปริมาณดูดซับของเมทานอลและกลีเซอรอลได้

ตารางที่ 4.7 แสดงมวลถ่านที่ลดลงหลังการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที ที่ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่านของเมทานอลและกลีเซอรอล

ของผสม	ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน (g/g)		ปริมาณรวมต่อมวลถ่าน (g/g)	
	เมทานอล	กลีเซอรอล	ก่อนอบ	หลังอบ (T=80 °C)
G10	1.7922	0.1422	1.9056	0.4848
G20	1.1270	0.3573	1.4103	0.5836
G25	1.1488	0.3906	1.4291	0.6025
G30	1.0469	0.3499	1.2945	0.8239
G40	0.6714	0.5428	1.0969	0.8466

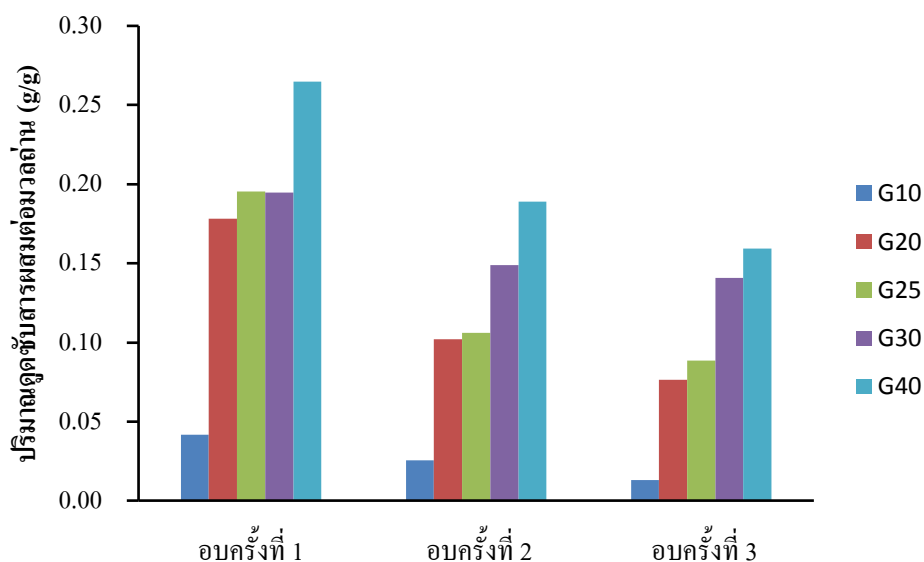
หลังการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ล้างถ่านดูดซับด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อดึงกลีเซอรอลที่ติดอยู่ภายในรูพรุนออกมา หลังจากนั้นอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 นาที เพื่อระเหยน้ำกลั่นที่เข้าไปแทนที่กลีเซอรอลภายในรูพรุน ผลจากการอบเพื่อระเหยน้ำนี้ มวลของถ่านยังคงมีค่ามากกว่ามวลของถ่านเริ่มต้น ของผสม G10 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 4% ของผสม G20 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 17% ของผสม G25 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 18% ของผสม G30 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 19% และของผสม G40 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 27% จะเห็นได้ว่าเมื่อกลีเซอรอลมีค่ามากขึ้น ปริมาณที่ติดภายในรูพรุนมีค่ามากขึ้นด้วย ในกรณีนี้มวลถ่านที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ยังคงมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นอยู่มาก แสดงได้ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ยังคงเหลือภายในรูพรุนหลังการอบครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

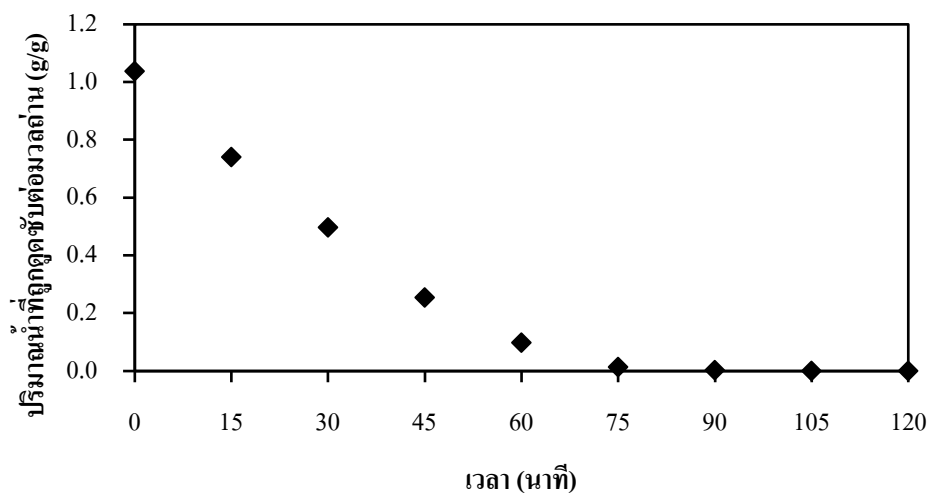
จากผลที่ได้ผู้วิจัยจึงได้ล้างถ่านเป็นครั้งที่ 2 ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที ผลจากการ

ล้างและอบครั้งที่ 2 นี้ ได้ว่ามวลถ่านมีค่าลดลงแต่ยังคงมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้น โดยในของผสม G10 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 2.5% และของผสม G40 มวลถ่านมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 19% จากนั้นได้ล้างด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสอีกครั้ง เป็นระยะเวลา 120 นาที ผลการทดสอบที่ได้มวลถ่านยังคงมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้น ในของผสม G10 มวลถ่านที่ได้มีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 1.3% และในกรณีของผสม G40 มวลถ่านมีค่าลดลงแต่ยังคงมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 16% จากการทดสอบด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 ครั้ง สามารถแสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ยังคงเหลืออยู่ในรูพรุน แสดงได้ดังภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลซึ่งหนืดมาก เมื่อถูกดูดซับไว้ในโพรงแล้ว การนำกลับออกมาจากโพรง ทำได้ยากมาก



ภาพที่ 4.11 แสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ยังคงเหลืออยู่ในรูพรุนหลังการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

การทดสอบระเหยน้ำที่ถูกดูดซับไว้ในโพรงของถ่าน สามารถระเหยน้ำที่ถูกดูดซับไว้ทั้งหมด ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ดังนั้น สารดูดซับที่เหลืออยู่ในโพรงของถ่าน ภายหลังจากอบ 3 ครั้ง จึงเป็นกลีเซอรอลส่วนใหญ่

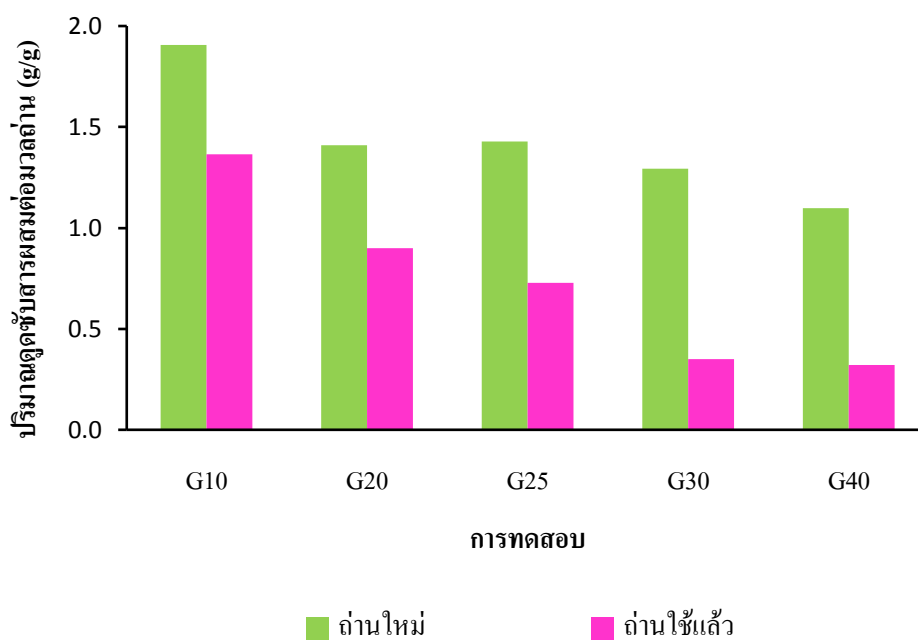


ภาพที่ 4.12 แสดงปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน ที่เวลาต่าง ๆ

หลังการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

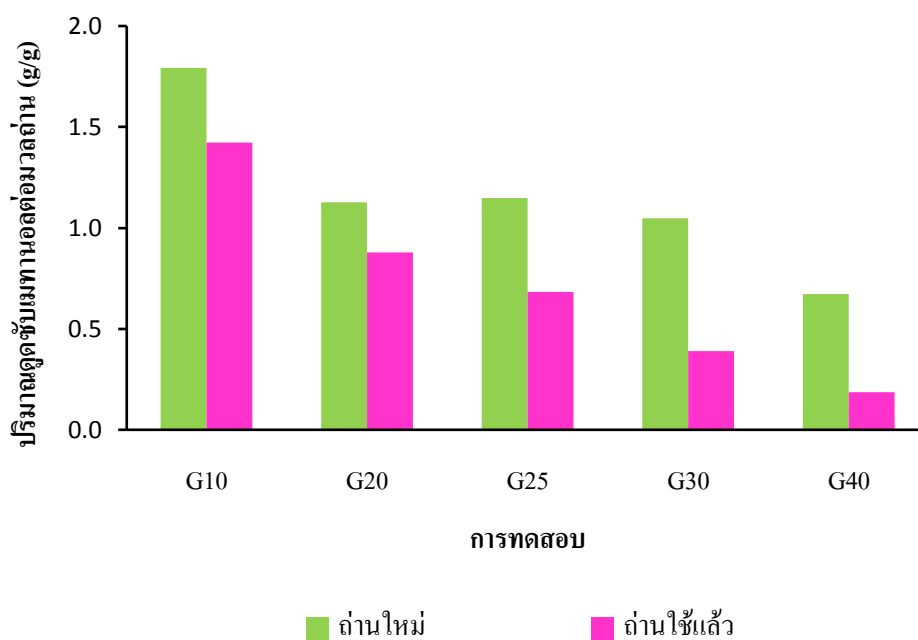
นำถ่านดูดซับทั้งหมดที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว มาทดสอบการดูดซับซ้ำที่ปริมาตรของเมทานอลและกลีเซอรอลเท่าเดิม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านใหม่กับถ่านที่ใช้แล้ว ค่าเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับของผสม ปริมาณการดูดซับเมทานอล และปริมาณการดูดซับกลีเซอรอล แสดงได้ดังภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.13 ปริมาณการดูดซับของของผสมที่ใช้ถ่านคืนสภาพแล้วมีประสิทธิภาพลดลงในทุกๆกรณี การทดสอบของผสม G10 มีปริมาณการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 28 % ของปริมาณการดูดซับครั้งแรก การทดสอบของผสม G20 มีปริมาณการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 36 % การทดสอบของผสม G25 มีปริมาณการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 49 % การทดสอบของผสม G30 มีปริมาณการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 72 % และการทดสอบของผสม G40 มีปริมาณการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 70 %



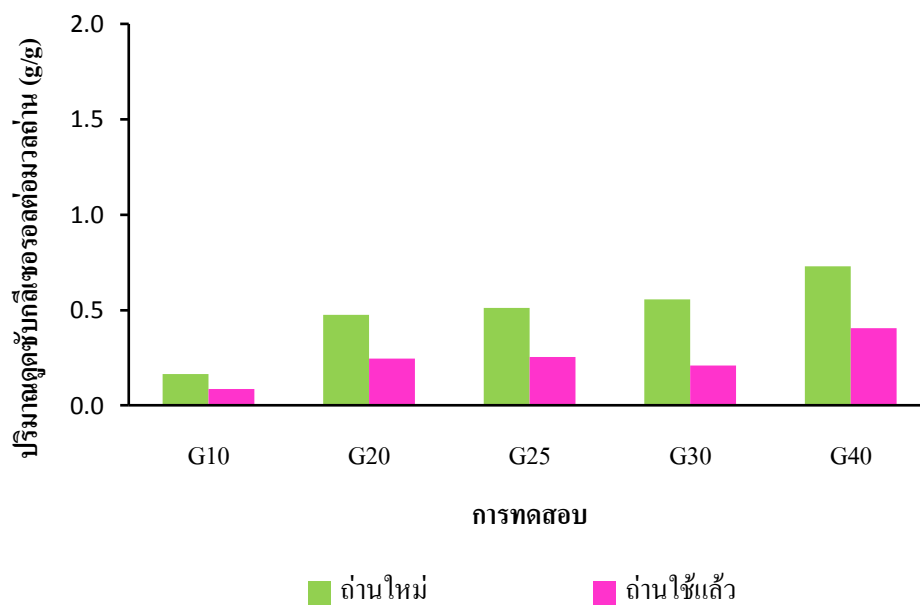
ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบปริมาณการดูดของผสมต่อมวลถ่าน
ที่สำคัญโดยมวลเมทานอลต่างๆ

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับเมทานอลด้วยถ่านกัมมันต์สภาพ
ประสิทธิภาพลดลงในทุกๆกรณี การทดสอบของผสม G10 มีปริมาณการดูดซับเมทานอลลดลง
ประมาณ 20 % ของปริมาณการดูดซับครั้งแรก การทดสอบของผสม G20 มีปริมาณการดูดซับเม
ทานอลลดลงประมาณ 22 % การทดสอบของผสม G25 มีปริมาณการดูดซับเมทานอลลดลง
ประมาณ 40 % การทดสอบของผสม G30 มีปริมาณการดูดซับเมทานอลลดลงประมาณ 62 %
และการทดสอบของผสม G40 มีปริมาณการดูดซับเมทานอลลดลงประมาณ 72 %



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับเมทานอลต่อมวลถ่าน
ที่สำคัญ โดยมวลเมทานอลต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลด้วยถ่านคั้นสภาพ
ประสิทธิภาพลดลงในทุกๆกรณี การทดสอบของผสม G10 มีปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลลดลง
ประมาณ 39 % ของปริมาณการดูดซับครั้งแรก การทดสอบของผสม G20 มีปริมาณการดูดซับกลี
เซอรอลลดลงประมาณ 31 % การทดสอบของผสม G25 มีปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลลดลง
ประมาณ 35 % การทดสอบของผสม G30 มีปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลลดลงประมาณ 40 %
และการทดสอบของผสม G40 มีปริมาณการดูดซับกลีเซอรอลลดลงประมาณ 26 %



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับคลอโรฟิลล์ต่อมวลถ่าน
ที่สัดส่วนโดยมวลเมทานอลต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการดูดซับเมทานอลที่ปนเปื้อนในกลีเซอรอลด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว สามารถดูดซับเมทานอลที่ปนเปื้อนได้ดี ใช้ระยะเวลาสั้น และสะดวกในการใช้งาน เป็นวิธีที่ไม่อันตราย ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ถ่านดูดซับนี้ มีความสามารถในการดูดซับได้ทั้งเมทานอลและกลีเซอรอล เกิดสมดุลการดูดซับที่เวลา 60 นาที
2. เมทานอล กลีเซอรอล และของผสม มีมวลระเหยกลายเป็นไอน้ำไม่เกิน 5% ของมวลเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส
3. ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.1 – 0.6 ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ของค่าความหนาแน่นเริ่มต้น และที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมตั้งแต่ 0.6 – 0.9 ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 2 % ของความหนาแน่นเริ่มต้น
4. ปริมาณการดูดซับจำเพาะเมทานอลต่อมวลถ่านเท่ากับ 2.2195 กรัม/กรัมถ่าน และปริมาณการดูดซับจำเพาะกลีเซอรอลต่อมวลถ่านเท่ากับ 1.1610 กรัม/กรัมถ่าน
5. แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชมีความเหมาะสมใช้เป็นตัวแทนสำหรับแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเมทานอลในของผสม และแบบจำลองสมดุลการดูดซับของกลีเซอรอลในของผสม
6. การก่ินสภาพตัวดูดซับด้วยความร้อนนี้ สามารถระเหยเมทานอลและดึงกลีเซอรอลที่ติดอยู่ภายในรูพรุนออกมาได้ไม่คืนก เนื่องจากมวลถ่านที่ได้ยังคงมีค่ามากกว่ามวลถ่านเริ่มต้นประมาณ 1.3 – 16%
7. ถ่านดูดซับที่ผ่านการก่ินสภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับของผสมลดลงประมาณ 30 – 70%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หาวิธีการตรวจหาปริมาณเมทานอลและกลีเซอรอลที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้จริง
2. ในส่วนการเตรียมตัวดูดซับ อาจทำการเติมสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ในตัวดูดซับ เนื่องจากสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งทำปฏิกิริยาได้ดีกับเมทานอล อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ
3. ควรมีการศึกษาในส่วนของราคาสภาพตัวดูดซับเพิ่มเติม ในส่วนของการดึงกลีเซอรอลที่ยังคงติดอยู่ในรูพรุน
4. ควรมีการกำหนดเงื่อนไขอื่นที่มีผลต่อการดูดซับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวดูดซับให้มากขึ้น
5. ควรมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีมาตรฐานที่ใช้กันในอุตสาหกรรมทั่วไป

รายการอ้างอิง

- [1] พลังงาน,กระทรวง. เอกสารโครงการ กรุงเทพ ไฟไฟ ด้วยไบโอดีเซล. 2551
- [2] พันัส งามกนการณ. เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม. [ออนไลน์]. 2549.
แหล่งที่มา: http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ไบโอดีเซล.pdf [2553, มิถุนายน 6]
- [3] นพวรรณ ชนัญพานิช, วัฒนา ปิ่นเสมอ, บุญมี บุญยะผลานันท์ และ Hongsik Byun. 2552. การทำกลีเซอรินจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 19 (ม.ค. – เม.ย. 2552)
- [4] ณัฐมน คีปะติ. 2551. การผลิตและการพัฒนากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้จากกากของเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [5] เดชา นัตรศิริเวช. 2552. กระบวนการดูดซับ. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอกสาร ประกอบการเรียนการสอนวิชากระบวนการดูดซับ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] ชีรวุฒิ ศักดิ์สุภา. 2552. การดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลโดยก้านกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] จิระเดช ฮายุกต์. 2546. การแยกสารผสมเอทานอล – น้ำ โดยกระบวนการดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] สุรัชย์ จอมสมุทรชัย. 2537. การศึกษาการดูดซับ. รายงานการศึกษาค้นคว้าพิเศษ. สาขาวิชา เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [9] พัชรี วีระพจนานันท์. 2543. ผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วย ถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.

- [10] ศรีนัย เลิศนาคม. 2550. การดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมข้อมผ้า โดย
ถ่านกัมมันต์บิโทมินัสและถ่านกัมมันต์กะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [11] พรชัยกร ใจประดับเพชร. 2549. การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย
ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] ชวริน โปยมรัตน์. 2550. การแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล – น้ำ โดยใช้ตัว
ดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขา
วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- [13] ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์. 2552. การผลิตกลีเซอรอลบริสุทธิ์จากของเหลือทิ้งใน
กระบวนการผลิตไบโอดีเซล. เอกสารการประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2552 “การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน” 29-30
มกราคม 2552.
- [14] K.C. Young, T.L. Ooi, K. Dzulkefly, W.M.Z. Wan Yunus and A.H. Hazimah,
Characterization of glycerol residue from a palm kernel oil methyl ester plant.
Journal of oil palm research, 13 (December 2001): 1-6.
- [15] T.L. Ooi, K.C. Young, K. Dzulkefly, W.M.Z. Wan Yunus and A.H. Hazimah, Crude
glycerine recovery from glycerol residue waste from a palm kernel oil methyl
ester plant. Journal of oil palm research, 13 (December 2001): 16-22.

- [16] K.C. Young, T.L. Ooi, K. Dzulkefly, W.M.Z. Wan Yunus and A.H. Hazimah, Refining of crude glycerine recoverd frome glycerol residue by simple vacuum distillation. Journal of oil palm research, 13 (December 2001): 39-44.
- [17] อ้อยทิพย์. 2552. ผลกระทบของกรดฟอสฟอริกในถ่านกัมมันต์พาณิชย์จากกะลามะพร้าวต่อการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] Ufuk Sancar Vural1, V. Muradoglu and Sedat Vural, Excess molar volumes, and refractive index of binary mixtures of glycerol + methanol and glycerol + water at 298.15 K and 303.15 K. Journal of Bull. Chem. Soc. Ethiop. 25(December 2010): 111-118.
- [19] ยวดี ไวยกุล และ วิไลพร การวิทย์. 2552. การศึกษาการผสมของเมทานอลกับน้ำมันพืชในเครื่องกวนแบบสถิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1 จำนวนปริมาณเมทานอลและกลีเซอรอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

คำนวณปริมาณการดูดซับของเมทานอลในของผสมเมทานอล-กลีเซอรอลในถ่านกัมมันต์ได้ดังนี้

$$q_{MeOH} = \frac{M_1 C_1 - M_2 C_2}{M} \quad (ก.1)$$

คำนวณปริมาณการดูดซับของเอทานอลในของผสมเอทานอล-น้ำในถ่านกัมมันต์ได้ดังนี้

$$q_{Glycerol} = \frac{M_1(1 - C_1) - M_2(1 - C_2)}{M} \quad (ก.2)$$

โดย	q_{MeOH}	คือ มวลเมทานอลที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน (กรัม/กรัมถ่านกัมมันต์)
	$q_{Glycerol}$	คือ มวลกลีเซอรอลที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน (กรัม/กรัมถ่านกัมมันต์)
	M_1	คือ มวลของผสมเมทานอล-กลีเซอรอลก่อนการดูดซับ (กรัม)
	M_2	คือ มวลของผสมเมทานอล-กลีเซอรอลหลังการดูดซับ (กรัม)
	C_1	คือ ความเข้มข้นของผสมเมทานอล-กลีเซอรอลก่อนการดูดซับ (สัดส่วนโดยมวล)
	C_2	คือ ความเข้มข้นของผสมเมทานอล-กลีเซอรอลหลังการดูดซับ (สัดส่วนโดยมวล)
	M	คือ มวลถ่านกัมมันต์ (กรัม)

ภาคผนวก ข
แบบจำลองสมมูลจุดจับ

ข.1 แสดงแบบจำลองสมมูลการจุดจับเมทานอล

แบบจำลองสมมูลการจุดจับของเฮนรีแสดงดังสมการ:

$$q = K_H C \quad (\text{ข.1})$$

แบบจำลองสมมูลการจุดจับของแลงมัวร์แสดงดังสมการ:

$$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C} \quad (\text{ข.2})$$

จัดรูปสมการ ข.2 เป็นสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

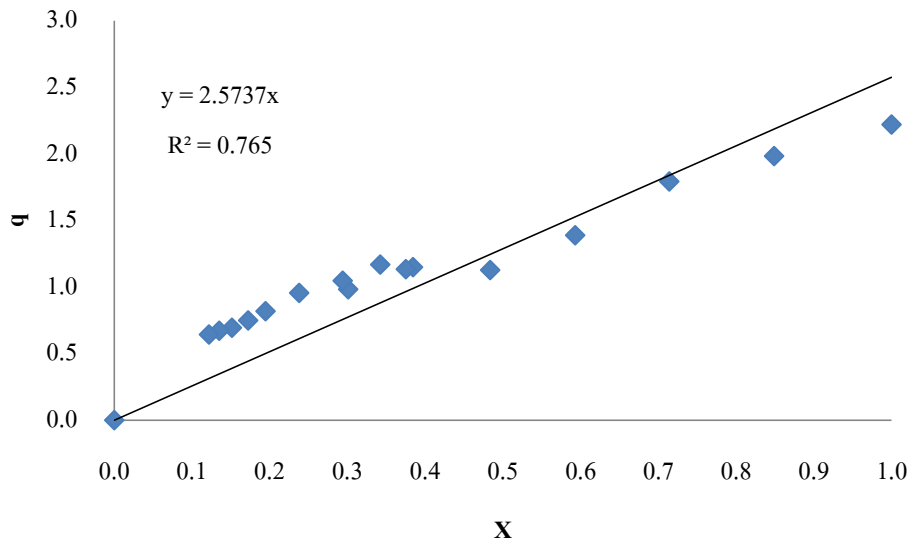
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{q_m K_L} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (\text{ข.3})$$

แบบจำลองสมมูลการจุดจับของฟรุนดริชแสดงดังสมการ:

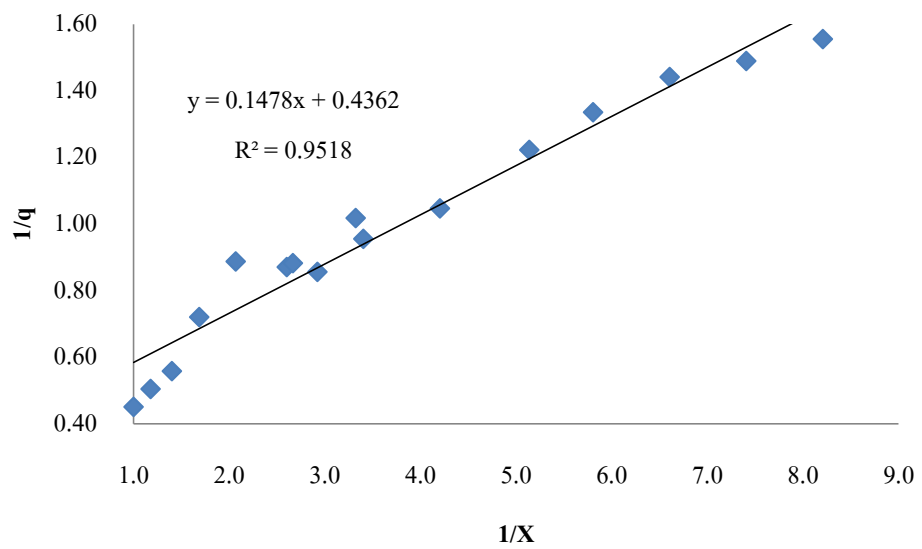
$$q = K_F C^n \quad (\text{ข.4})$$

จัดรูปสมการ ข.4 เป็นสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

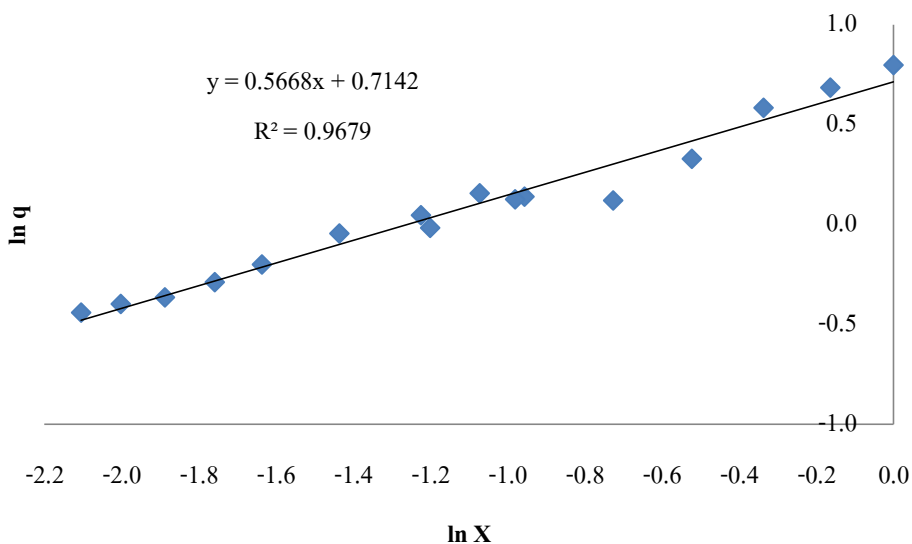
$$\ln q = n \ln C + \ln K_F \quad (\text{ข.5})$$



รูปที่ ข.1 แสดงการพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรี่



รูปที่ ข.2 แสดงการพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ข.3 แสดงการพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบฟรุนคลิช

แบบจำลองสมมูลของเฮนรี รูป ข.1 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 2.5737 แบบจำลองสมมูลของแลงมัวร์ รูป ข.2 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 2.9513 ค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 2.2925 และแบบจำลองสมมูลของฟรุนคลิช รูป ข.3 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของฟรุนคลิชเท่ากับ 2.0426 ค่าดัชนีกำลังเท่ากับ 0.5668 สำหรับแบบจำลองสมมูลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.1) จากสมการแบบจำลองสมมูลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมมูลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพหุคูณของเส้นโค้งสมมูลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมมูลการดูดซับของฟรุนคลิชเป็นสมการที่เหมาะสม

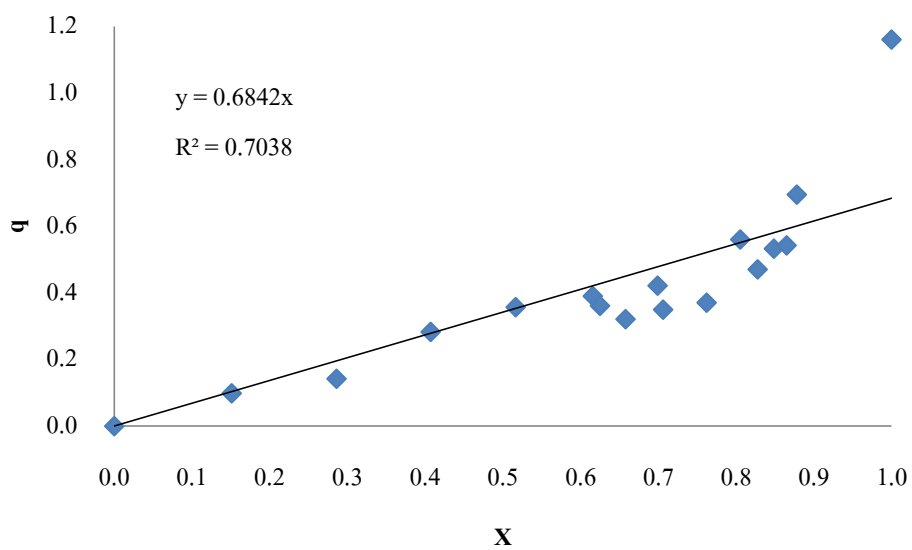
จากกราฟรูปที่ ข.1-ข.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลกับสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี :} \quad q = 2.5737 X \quad (\text{ข.6})$$

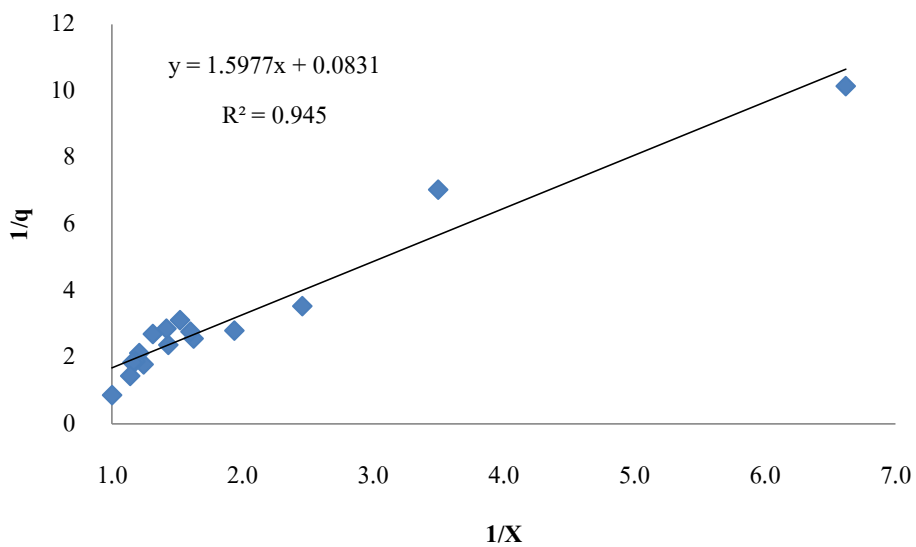
$$\text{แลงมัวร์ :} \quad q = \frac{6.7659 X}{1 + 2.9513 X} \quad (\text{ข.7})$$

$$\text{ฟรุนคลิช :} \quad q = 2.0426 X^{0.5668} \quad (\text{ข.8})$$

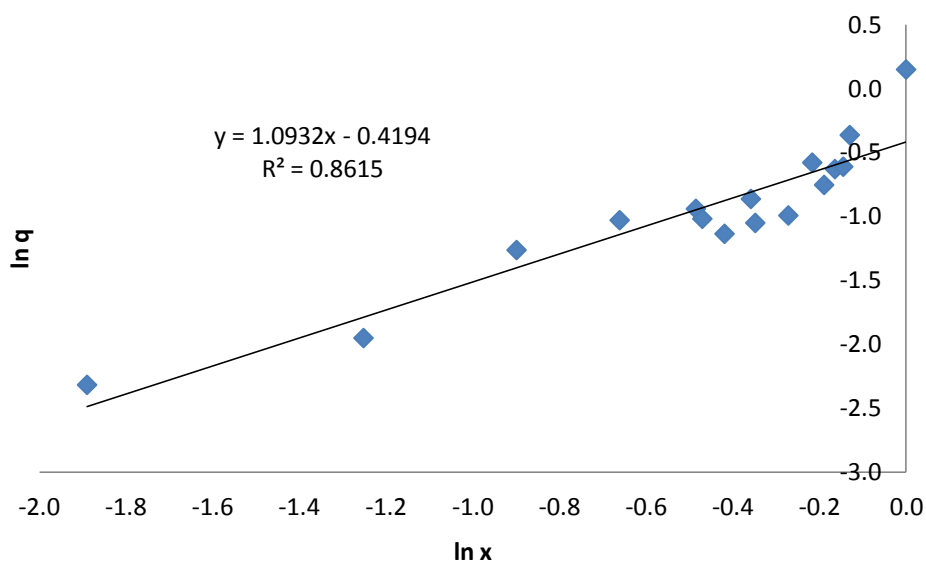
ข.2 แสดงแบบจำลองสมการการดูดซับกึ่งเฮอรอล



รูปที่ ข.4 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมการการดูดซับแบบเฮนรี่



รูปที่ ข.5 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมการการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ข.6 แสดงการพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบฟรุนคลิช

แบบจำลองสมมูลของเฮนรี รูป ข.1 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.6842 แบบจำลองสมมูลของแลงมัวร์ รูป ข.2 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.0520 ค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 12.0337 และแบบจำลองสมมูลของฟรุนคลิช รูป ข.3 สามารถหาค่าคงที่สมมูลการดูดซับของฟรุนคลิชเท่ากับ 0.6574 ค่าดัชนีกำลังเท่ากับ 1.0932 พบว่าแบบจำลองสมมูลการดูดซับของฟรุนคลิชเป็นสมการที่เหมาะสม

จากกราฟรูปที่ ข.1-ข.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลกับสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสม ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.6842 X \quad (\text{ข.9})$$

$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.6258 X}{1 - 0.0520 X} \quad (\text{ข.10})$$

$$\text{ฟรุนคลิช : } q = 0.6574 X^{1.0932} \quad (\text{ข.11})$$

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทดลองสำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโดยมวลของเมทานอลในของผสมกับความหนาแน่นของของผสม

ปริมาตร (ml)	
กลีเซอรอล	เมทานอล
10.0	0.0
20.0	1.0
20.0	2.0
20.0	2.6
20.0	3.0
20.0	3.6
10.0	2.0
10.0	4.0
10.0	6.0
10.0	8.0
10.0	10.0
8.0	10.0
6.0	10.0
4.0	10.0
2.0	10.0
3.0	20.0
1.0	20.0
0.0	10.0

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทดลองการระเหยของของผสม

ของผสม	แสดง มวลของสารที่เวลาต่างๆ (g)					
	Time (min)					
	0	15	30	45	60	ลดลง
G00	37.4522	37.1198	36.7298	36.4563	36.1827	1.2695
G10	42.4721	42.2721	41.9356	41.5976	41.2731	1.1990
G20	46.9564	46.5729	46.2571	46.0063	45.8032	1.1532
G30	51.6031	51.3984	50.9742	50.6501	50.4617	1.1414
G40	54.0771	53.7225	53.4005	53.1281	52.9281	1.1490
G50	58.6624	58.6305	58.6043	58.5786	58.5443	0.1181

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับของผสม

ของผสม	แสดง มวลของสารผสมที่เวลาต่างๆ (g)						
	Time (min)						
	0	15	30	45	60	75	90
G10	42.7986	40.6892	38.3208	36.2109	33.5723	32.2843	31.3307
G20	47.2291	44.8210	42.5317	40.4209	38.9901	37.5111	36.2599
G25	49.6727	47.1198	45.0495	42.8198	40.4325	38.8102	37.6982
G30	53.0084	50.3996	47.8922	45.3310	42.8492	41.0456	39.8753
G40	56.9233	53.9666	51.4297	48.2958	46.1125	44.2922	42.9567

ของผสม	แสดง มวลของสารผสมที่เวลาต่างๆ (g)			
	Time (min)			
	105	120	150	180
G10	30.5991	29.9109	29.4051	28.7481
G20	35.1891	34.2911	33.5621	32.8219
G25	36.9394	36.1921	35.4949	34.7977
G30	39.0368	38.3987	37.7850	36.7834
G40	41.9466	41.3057	40.4860	39.7729

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการทดลองหาสมดุลการดูดซับของผสมที่เวลา 60 นาที

การ ทดลอง	ปริมาตร (ml)		มวลถ่าน (g)
	กลีเซอรอล	เมทานอล	
1	0	50	3.6146
2	5	45	4.1531
3	10	40	4.3323
4	15	35	4.3021
5	20	30	4.6004
6	25	25	4.9271
7	26	25	4.9062
8	30	25	5.2243
9	29	20	4.9156
10	30	20	5.1281
11	30	15	4.6163
12	31	12	4.4352
13	33	11	4.6726
14	35	10	4.7646
15	40	10	5.4053
16	45	10	5.8719
17	50	0	5.7127

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการดูดซับของผสมที่เวลา 60 นาที

การทดลอง	ความหนาแน่น(g/ml)		มวลสารละลาย (g)		มวลถ่าน (g)	
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ
1	0.7833	0.7833	37.2569	28.0432	3.6146	11.6373
2	0.8360	0.8442	40.7601	31.9706	4.1531	12.7038
3	0.8803	0.8983	42.5265	33.8294	4.3323	12.5881
4	0.9293	0.9495	43.4950	35.5194	4.3021	11.2789
5	0.9864	1.0131	46.4365	38.7124	4.6004	11.0884
6	1.0297	1.0711	48.6000	40.1568	4.9271	11.9684
7	1.0397	1.0824	50.0946	41.9388	4.9062	11.7155
8	1.0446	1.0909	53.7595	45.2532	5.2243	12.4114
9	1.0640	1.1081	49.0764	40.9509	4.9156	11.2479
10	1.0754	1.1295	51.0631	42.5665	5.1281	11.7666
11	1.0936	1.1495	45.9515	38.4348	4.6163	10.2572
12	1.1208	1.1759	44.8722	37.3804	4.4352	10.0577
13	1.1353	1.1924	46.6172	39.7083	4.6726	9.8771
14	1.1416	1.1965	47.1248	40.1662	4.7646	10.1579
15	1.1503	1.2070	53.7367	46.0679	5.4053	11.3344
16	1.1582	1.2150	58.9222	49.9601	5.8719	13.0612
17	1.2547	1.2547	58.5237	47.3769	5.7127	12.3452

ตารางที่ ค.6 ปริมาณการดูดซับเมทานอล ก๊าซเซอร์โรล และสารผสม

การทดลอง	เมทานอล	ก๊าซเซอร์โรล	ของผสม (ทดลอง)	ของผสม (คำนวณ)
1	2.2195	0.0000	2.2195	2.2195
2	1.9827	0.0986	2.0589	2.0814
3	1.7922	0.1422	1.9056	1.9344
4	1.3883	0.2829	1.6217	1.6713
5	1.1270	0.3573	1.4103	1.4843
6	1.1488	0.3906	1.4291	1.5394
7	1.1335	0.3613	1.3879	1.4948
8	1.1682	0.3213	1.3757	1.4895
9	0.9826	0.4220	1.2882	1.4046
10	1.0469	0.3499	1.2945	1.3968
11	0.9554	0.3708	1.2220	1.3262
12	0.8181	0.5606	1.2677	1.3787
13	0.7488	0.4708	1.1138	1.2196
14	0.6939	0.5330	1.1320	1.2268
15	0.6714	0.5428	1.0969	1.2143
16	0.6430	0.6953	1.2244	1.3383
17	0.0000	1.1610	1.1610	1.1610

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลมวลถ่านที่นำมาคืนสภาพตัวดูดซับ

ของผสม	มวลถ่าน (g)								
	เริ่มต้น	อบ 80 °C		ล้างน้ำครั้งที่ 1		ล้างน้ำครั้งที่ 2		ล้างน้ำครั้งที่ 3	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
G10	4.3323	12.5881	6.4324	9.4070	4.5124	10.3599	4.4430	10.7292	4.3884
G20	4.6004	11.0884	7.2854	10.6585	5.4202	11.6874	5.0695	11.6755	4.9526
G25	4.9271	11.9684	7.8955	10.1152	5.8893	11.0831	5.4495	12.2197	5.3629
G30	5.1281	11.7666	9.3532	11.3850	6.1265	11.7470	5.8917	11.8072	5.8501
G40	5.4053	11.3344	9.9816	12.1702	6.8365	12.8130	6.4267	12.8050	6.2666

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการดูดซับของผสมด้วยถ่านใช้แล้ว

ของผสม	ความหนาแน่น(g/ml)		มวลสารละลาย (g)		มวลถ่าน (g)	
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ก่อนดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ก่อนดูดซับ
G10	0.8805	0.8948	42.6003	35.9722	4.3884	10.3712
G20	0.9866	1.0083	46.4496	40.8841	4.9526	9.4092
G25	1.0302	1.0539	48.5921	43.5629	5.3629	9.2704
G30	1.0748	1.0928	51.1044	47.5853	5.8501	7.9013
G40	1.1506	1.1633	53.8119	50.1183	6.2666	8.2824

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลการอบถ่านดูดซับที่ผ่านการดูดซับน้ำ

มวลถ่าน (g)									
เริ่มต้น	ดูดซับน้ำ	เวลาที่ใช้ออบ (นาที)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
5.0032	10.1956	8.7089	7.4899	6.2753	5.4931	5.0710	5.0169	5.0032	5.0032

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชูไฮณี บินเยาะ เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษา
ระดับมัธยมจากโรงเรียนสตรีอิสลามวิทยามูลนิธิ จังหวัดยะลา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2551
และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552