

ผลของกรดฟอสฟอริกในถ่านกัมมันต์พลาสม่าจากกะหล่ำมะพร้าวต่อการดูดซับ
เมทานอลในไปโอดีเซล



นางสาวอ้อยทิพย์ ลิ้มปัญญาเลิศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PHOSPHORIC ACID IN COMMERIAL ACTIVATED CARBON FROM
COCONUT SHELL ON METHANOL ADSORPTION IN BIODIESEL



Miss Oi-tip Limpanyalert

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของกรดฟอสฟอริกในด้านกัมมันตภาพนิยซ์จาก
กะลามะพร้าวต่อการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล

โดย

นางสาว ช้อยทิพย์ ลิ้มปัญญาเลิศ


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरุญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธารวัช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)


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


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นวลตล เหล่าศิริพจน์)

อ้อยทิพย์ ลิ้มปัญญาเลิศ : ผลกระทบของกรดฟอสฟอริกในถ่านกัมมันต์พาดินทรีย์จาก
 กะลามะพร้าวต่อการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล. (EFFECT OF PHOSPHORIC
 ACID IN COMMERIAL ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELL ON
 METHANOL ADSORPTION IN BIODIESEL.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
 รศ. ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช, 77 หน้า.

ถ่านกัมมันต์เชิงพาดินทรีย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวถูกใช้ในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลหลังจากการดูดซับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล ที่อุณหภูมิห้อง การดูดซับเมทานอลจะเข้าสู่สมดุลดูดซับภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณดูดซับเมทานอลจำเพาะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเพิ่มขึ้น สมดุลการดูดซับของผลการทดลองเป็นไปตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดริช สำหรับตัวดูดซับที่ดูดซับกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยมวล ในขณะที่ตัวดูดซับที่ดูดซับกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 20%wt เป็นไปตามแบบจำลองของเฮนรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต..... อ.อานนท์ อ.โจรสานต์
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... (1/10) อ.อานนท์
 ปีการศึกษา....2552.....

5070514121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : METHANOL / PULIFY / BIODIESEL / COCONUT SHELL

OI-TIP LIMPANYALERT : EFFECT OF PHOSPHORIC ACID IN COMMERCIAL
ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELL ON METHANOL
ADSORPTION IN BIODIESEL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF DEACHA
CHATSIRIWECH, Ph.D. 77 pp.

Commercial activated carbon from coconut shell was used to adsorb methanol contaminated in biodiesel after having used to adsorb phosphoric acid solutions of 5%, 10%, and 20% wt at room temperature. The adsorption of methanol reached the equilibrium within an hour. The specific amount of methanol adsorbed was decreased as increase in the phosphoric acid concentration. The methanol adsorption equilibria on adsorbent, adsorbed 5 % and 10 %wt phosphoric acid solution, were agreed with Freundlich's model. While the methanol equilibrium on adsorbent, adsorbed 20 %wt phosphoric acid solution was obeyed Henry's model.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : ... Chemical Engineering ...

Student's Signature

Field of Study : ... Chemical Engineering ...

Advisor's Signature

Academic Year : 2009

Oi-tip Limpantyalert
Deacha

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขปัญหาและวิเคราะห์งานวิจัยจนสำเร็จ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ อ.ดร.อภิวัฒน์ สุทธิธารวัช และ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.นวดล เหล่าศิริพจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับคำแนะนำที่ดีต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ปาส และคู่ ที่ช่วยเหลือในทุกๆด้าน สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวและน้องสาวฝาแฝด ที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้.....	6
2. เอกสารและงานที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	7
2.1.1 การดูดซับ.....	7
2.1.2 ประเภทของการดูดซับ.....	8
2.1.3 กลไกการดูดซับ.....	9
2.1.4 การดูดซับของเหลวด้วยแรงแคปิลารี.....	11
2.1.5 สมดุลการดูดซับ.....	12
2.1.6 ประเภทของตัวดูดซับ.....	14
2.1.7 ถ่านกัมมันต์.....	16
2.1.8 ซิลิกาเจล.....	19
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 การทดลองหาสมการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนัก ซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน.....	24
3.2 การทดลองหาสมดุลดูดซับ.....	25
3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ.....	25

	หน้า
3.2.2 การทดลองหาสมมูลดูดซับของถ่านกัมมันต์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิต.....	25
3.2.3 การทดลองหาค่าความเข้มข้นของเมทานอลและน้ำในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ.....	26
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
4.1 ผลการทดลองหาสมการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน.....	27
4.2 การทดลองหาสมมูลดูดซับ.....	30
4.2.1 สมมูลดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 5 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	30
4.2.2 สมมูลดูดซับของถ่านกัมมันต์ในกรณีไม่มีผลของกรดฟอสฟอริก.....	33
4.2.3 เส้นสมมูลดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ.....	35
4.2.4 เปรียบเทียบวิธีการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล.....	41
4.2.5 เปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณเมทานอลที่คงเหลือในไบโอดีเซล.....	42
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก	49
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค.....	54
ภาคผนวก ง.....	55
ภาคผนวก จ.....	67
ภาคผนวก ฉ.....	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	2
1.2	แสดงผลเสียของเครื่องยนต์ของสารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซล.....	3
2.1	แสดงความแตกต่างตามลักษณะของการดูดซับ.....	9
2.2	แสดงการใช้งานซิลิกาเจลในอุตสาหกรรม.....	20
3.1	แสดงสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
4.1	แสดงค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจาก แบบจำลองสมมูลดูดซับกับปริมาณสมมูลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสองและ ค่าความเบี่ยงเบนตามสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองต่างๆ.....	36
4.2	แสดงแบบจำลองสมมูลดูดซับที่ใช้เป็นตัวแทนผลที่ได้จากการทดลอง.....	37
4.3	แสดงสมการของเส้นสมมูลดูดซับตามแบบจำลองสมมูลดูดซับ.....	37
4.4	แสดงการเปรียบเทียบวิธีกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล.....	41
4.5	แสดงปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม..	42
ข.1	แสดงคุณสมบัติของสารประกอบในไบโอดีเซล.....	52
ข.2	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมทานอลออกจากไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม.....	53
ค.1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสาร.....	54
ค.2	ความสามารถในการดูดความชื้นที่ 30°C ของซิลิกาเจล.....	54
ค.3	ความหมายของสีแสดงบนเม็ดซิลิกาเจล.....	54
ง.1	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมมูล ดูดซับของเฮนรีกับปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้.....	58
ง.2	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมมูล ดูดซับของแลงมัวร์กับปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้.....	62
ง.3	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมมูล ดูดซับของฟรุนดลิชกับปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้.....	66
จ.1	สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัดเมทานอลในไบโอดีเซล.....	67
ฉ.1	ข้อมูลการทดลองสำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับ ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล.....	71
ฉ.2	ข้อมูลการทดลองในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ.....	71

ตารางที่		หน้า
ด.3	ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับแห้ง.....	72
ด.4	ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับเปียก.....	73
ด.5	ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับที่เติมกรด เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	74
ด.6	ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับที่เติมกรด เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	75
ด.7	ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับที่เติมกรด เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการดูดซับและคายกลับ.....	7
2.2	กลไกการดูดซับ.....	10
2.3	ลักษณะการดูดซับก๊าซและของเหลว.....	10
2.4	ลักษณะของของเหลวในหลอดแคป.....	11
2.5	ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	16
2.6	ลักษณะของเม็ดซีลิกาเจล.....	19
4.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของซีลิกาเจลในการดูดซับสารต่างๆ.....	27
4.2	แสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซีลิกาเจลกับความเข้มข้น ของเมทานอลในเฮกเซน ที่ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 โดยมวล.....	28
4.3	แสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซีลิกาเจลกับความเข้มข้น ของเมทานอลในเฮกเซน ที่ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 โดยมวล.....	29
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซล กับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีความเข้มข้นกรดร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล.....	30
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการ ดูดซับของตัวดูดซับที่มีความเข้มข้นของกรดร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล	31
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซล กับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับแห้ง และตัวดูดซับเปียก.....	33
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการ ดูดซับของตัวดูดซับแห้ง และ ตัวดูดซับเปียก.....	34
4.8	แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับชนิดแห้งตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของ ฟรุนดริช.....	38
4.9	แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับชนิดเปียกตามแบบจำลองสมดุลดูดซับ ของฟรุนดริช.....	38
4.10	แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลตาม แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดริช.....	39

ภาพที่	หน้า
4.11	แสดงเส้นสมมูลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลตาม แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดริช..... 39
4.12	แสดงเส้นสมมูลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวลตาม แบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี..... 40
4.13	ผลของกรดฟอสฟอริกต่อค่าคงที่สมมูลดูดซับ..... 40
ง.1	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับแห้ง..... 55
ง.2	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก..... 56
ง.3	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูก เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล..... 56
ง.4	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูก เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล..... 57
ง.5	แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและ ปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูก เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล..... 57
ง.6	แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลกับส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ ของตัวดูดซับแห้ง..... 59
ง.7	แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลสมดุล และส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของ ตัวดูดซับเปียก..... 60
ง.8	แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกัน นี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล..... 60

ภาพที่	หน้า	
ง.9	แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและส่วนกลับของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกัน นี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล.....	61
ง.10	แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและส่วนกลับของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกัน นี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล.....	61
ง.11	แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้น เดียวกันนี้ของตัวดูดซับแห้ง.....	63
ง.12	แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้น เดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก.....	64
ง.13	แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้น เดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล.....	64
ง.14	แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้น เดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล	65
ง.15	แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่ สมดุลและค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้น เดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล.....	65
จ.1	แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยมวล.....	69
จ.2	แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวล.....	69
จ.3	แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยมวล.....	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์ปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่มีการใช้มากถึง 43 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 46 ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในประเทศ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ในขณะที่ราคาน้ำมันก็ปรับตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งความต้องการเสริมสร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ รวมถึงความต้องการลดมลพิษเพื่อให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น ทำให้มีหลายหน่วยงานได้ทำการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศเช่นการนำน้ำมันพืช หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า "ไบโอดีเซล"

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ส่วนหนึ่ง เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน แต่มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 10 โดยมวล จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น มีเขม่า กัดหินปูน มีปริมาณควันดำต่ำ และลดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง และอื่นๆ นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรง เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ความวามวไฟต่ำกว่า จึงสะดวกและปลอดภัยในการเก็บ บรรจุ ขนส่ง สลายตัวง่ายกว่าหากรั่วไหลออกสู่ธรรมชาติ และไม่เป็นพิษ กัดกร่อนเครื่องยนต์อุปกรณ์ในเครื่องยนต์สึกหรอน้อยลง

ในประเทศที่มีการผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลเช่นสหรัฐอเมริกา เบลเยียม สวีเดน ฝรั่งเศส ออสเตรเลีย เยอรมัน เป็นต้น โดยนิยมนำไบโอดีเซลไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น B5 (ไบโอดีเซลร้อยละ 5 ต่อ น้ำมันดีเซลร้อยละ 95) มีการจำหน่ายในประเทศฝรั่งเศสและประเทศไทย B100 (ไบโอดีเซลร้อยละ 100) มีจำหน่ายในประเทศ เยอรมันและประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น ไบโอดีเซลที่ผลิตและจำหน่ายเป็นการค้าในต่างประเทศต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานตามกำหนดโดยมีการกำหนดมาตรฐานต่างๆมากมาย เช่น

ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน ASTM D 6751

สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 14214

ประเทศเยอรมันได้กำหนดมาตรฐาน DIN 51606

โดยมาตรฐานต่างๆ มีจุดประสงค์เดียวกันคือจะไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์เมื่อนำไบโอดีเซลไปใช้งานจริง

คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
พืชรักช 2550 โดยกรมธุรกิจพลังงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน[1]

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ		
1	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103	
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ	°ซ	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซิลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °ซ	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าของกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน	กรัมไอโอดีนต่อ100กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลอิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	EN14105

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ	
18	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN14105
19	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN14105
20	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	EN14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.25	EN14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	EN14108 และ EN14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	prEN14538
23	ฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951

จะเห็นว่าค่ากำหนดดังตาราง 1.1 แสดงค่าการปนเปื้อนสารต่างๆในไบโอดีเซล เช่น การปนเปื้อนของเมทานอลในไบโอดีเซล ที่มีค่าได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก คือในไบโอดีเซล 100 กรัมสามารถมีเมทานอลปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.02 กรัม จะเห็นได้ว่าเป็นปริมาณที่ต่ำมาก แสดงถึงกระบวนการกำจัดสารประกอบจำพวกนี้ออกจากไบโอดีเซลต้องเป็นกระบวนการที่มีคุณภาพสูง เพื่อที่จะสามารถกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านี้ที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน การปนเปื้อนของสารต่างๆส่งผลเสียโดยตรงต่อเครื่องยนต์ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงผลเสียของเครื่องยนต์ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล[2]

สารปนเปื้อน	ผลกระทบ
กรดไขมันอิสระ	กัดกร่อนเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊ม และไส้กรองน้ำมันลดลง
น้ำ	ความสามารถในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต่ำ กัดกร่อนเครื่องยนต์ เพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระ และ เร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นสาเหตุทำให้หัวฉีดตัน
เมทานอล	จุดวาบไฟต่ำ กัดกร่อนเครื่องยนต์ และมีความปลอดภัยต่ำต่อการเก็บรักษา

ตารางที่ 1.2 แสดงผลเสียของเครื่องยนต์ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล (ต่อ)

กลีเซอริน	ความหนืดสูงมีผลต่อการใช้เครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ เกิดการอุดตันที่หัวฉีดและไส้กรอง
สบู่, ตัวเร่งปฏิกิริยา	เกิดการอุดตันที่หัวฉีดและไส้กรอง
กลีเซอรอล	เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์
กำมะถัน	เกิดสารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
พอสฟอรัส	เกิดความเสียหายแก่ คะตะไลติกส์ คอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter)

จากตารางที่ 1.1 และ 1.2 จะเห็นการปนเปื้อนของสารในไบโอดีเซลที่ต่ำก็ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ได้ เช่น การมีเมทานอลซึ่งเป็นส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยาในน้ำมันเกิน 0.02 กรัมในไบโอดีเซล 100 กรัม จะส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอส่วนที่เป็นยางในน้ำมัน และมีส่วนทำให้จุดวาบไฟของไบโอดีเซลต่ำลงอันอาจมีผลต่อความปลอดภัย ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการกำจัดเมทานอลออกจากไบโอดีเซล

วิธีการกำจัดเมทานอลในอุตสาหกรรมไบโอดีเซลที่นิยมใช้นั้นสามารถควบคุมปริมาณเมทานอลคงเหลือในไบโอดีเซลให้เป็นไปตามมาตรฐานได้โดยแต่ละวิธีมีผลเสียที่ต่างกันดังนี้

1. การล้างน้ำและต้มไล่[2] ขั้นตอนการล้างน้ำ ไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยายังมีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากมีสารปนเปื้อน เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ น้ำมันปาล์มที่ยังทำปฏิกิริยาไม่หมด ขั้นตอนการล้างน้ำจึงเป็นขั้นตอนการกำจัดสารปนเปื้อนเหล่านี้ รวมถึงเมทานอลออกจากไบโอดีเซล หลังจากขั้นตอนการล้างน้ำแล้ว ไบโอดีเซลที่ได้จะถูกปล่อยให้เย็นแยกชั้นแล้วนำส่วนบนซึ่งเป็นชั้นไบโอดีเซลมาต้มระเหยน้ำออกเป็นวิธีที่อุตสาหกรรมนิยมมากเนื่องจากสะดวกและทำงานง่าย แต่มีข้อเสีย คือ

- สิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากต้องมีขั้นตอนการล้างน้ำแล้วต้องมีขั้นตอนการต้มระเหยเพื่อไล่น้ำ
- อันตรายเนื่องจากขั้นตอนการต้มระเหยน้ำอาจทำให้เกิดความร้อนสะสมมากเกินไป
- ต้องเพิ่มขั้นตอนการปรับคุณภาพของน้ำที่จะนำมาล้างไบโอดีเซล และต้องเพิ่มขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการ
- เกิดอิมัลชัน
- ใช้เวลานานในการทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น

2. การล้างโดยใช้ฟองปุด (Bubble washing) [3] เป็นวิธีที่มีข้อดีกว่าขั้นตอนแรกคือใช้ปริมาณน้ำในการล้างน้อยกว่าและสามารถกำจัดเกลือที่ปนมาในไบโอดีเซลในปริมาณต่ำได้(ลดระยะเวลาขั้นตอนการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินกับไบโอดีเซลได้) แต่มีข้อเสียคือ

- เกิดอิมัลชันในปริมาณมาก
- มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง

3. การล้างน้ำและซอลล์ฟิวเตอร์(Salt Filter) [4] มีข้อเสียคือ

- มีค่าใช้จ่ายที่สูงเนื่องจาก เมื่อเกลือจับน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวแล้วน้ำที่ได้มีความเป็นกรดจึงต้องมีการเพิ่มกระบวนการปรับสภาพน้ำ
- เกิดการกัดกร่อนสูง เนื่องจากเกลือจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเหล็กทำให้เกิดสนิมของเหล็ก

4. การแลกเปลี่ยนไอออน [2]

- สิ้นเปลืองเนื่องจากใช้ปริมาณเรซินต่อการดูดซับเมทานอลค่อนข้างสูง
- มีต้นทุนสูง

5. การใช้แมกนีเซียมซลิเกต เป็นตัวดูดซับ[2]

- สิ้นเปลืองเนื่องจากใช้ปริมาณแมกนีเซียมซลิเกตต่อการดูดซับเมทานอลค่อนข้างสูง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซลโดยวิธีการดูดซับ เนื่องจากวิธีการดูดซับเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพสูงในการแยกเมทานอลออกจากไบโอดีเซล โดยเลือกตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งจะถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิห้องเป็นตัวช่วยในการดูดซับเนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูงจึงสามารถช่วยในการดูดซับสารประกอบประเภทมีขั้ว เป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนไอออนให้กับตัวดูดซับ และกรดฟอสฟอริกมีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง เพราะฉะนั้นจะสรุปได้ว่างานวิจัยนี้ทำการศึกษาการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์พาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล ตัวดูดซับเปียก (ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งถูกเติมน้ำ) และตัวดูดซับแห้ง(ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งไม่ได้เติมน้ำใดๆ)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน
2. ศึกษาสมมูลดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ขนาด 4x8 เมช โดยศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ถูกเติมในถ่านกัมมันต์ ต่อความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล
3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียมจากถ่านกัมมันต์แห้ง ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมด้วยน้ำ และถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นกรดต่างๆ
4. ทราบแบบจำลองสมมูลดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซลที่เป็นตัวแทนของการทดลอง
5. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมทานอลโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว กับ วิธีการกำจัดเมทานอลในอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักเม็ดซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน
2. วัดสมมูลการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวขนาด 4x8 เมช ในกรณีถ่านกัมมันต์แห้ง ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมด้วยน้ำและกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ
3. สร้างเส้นสมมูลดูดซับของตัวดูดซับทุกชนิด และหาแบบจำลองที่สอดคล้องกับผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

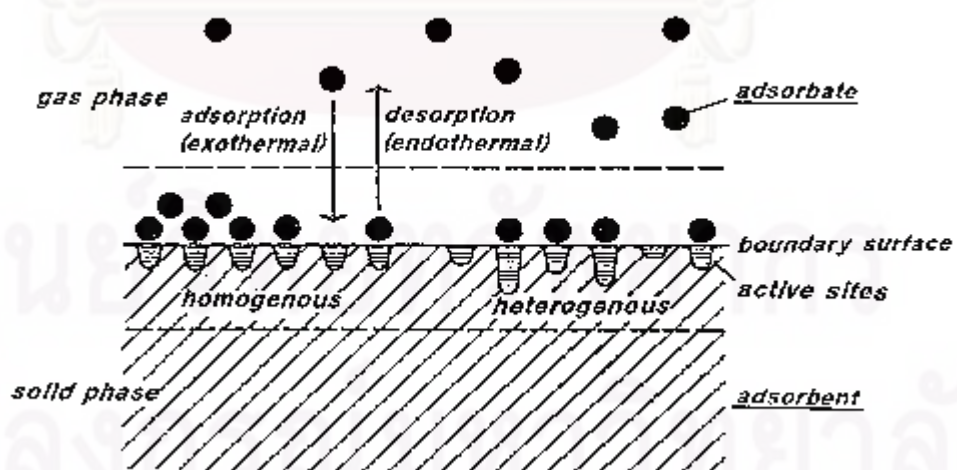
1. ทราบสมมูลดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซลของตัวดูดซับโดยเตรียมจากถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ผลิตจากกะลามะพร้าวขนาด 4x8 เมช ที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล ตัวดูดซับแห้ง และตัวดูดซับเปียก
2. ทราบค่าคงที่สมมูลการดูดซับที่เป็นตัวแปรในการกำหนดลักษณะ เฉพาะของระบบสมมูลดูดซับแต่ละประเภท
3. ทราบแบบจำลองสมมูลดูดซับที่เป็นตัวแทนของข้อมูลจากการทดลองของตัวดูดซับในทุกกรณี
4. ศึกษาหาแนวทางใหม่ในการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 การดูดซับ

การดูดซับ(Adsorption) หมายถึง ปรากฏการณ์ของการสะสมสารประกอบชนิดหนึ่งเป็น
อย่างน้อย ณ บริเวณผิวร่วม(interface) ระหว่างวัฏภาค(phase) โดยระบบดูดซับทั่วไปมักมี
ของแข็งเป็นส่วนประกอบ แต่ระบบที่มีของแข็งเป็นส่วนประกอบอาจไม่เป็นระบบดูดซับเพราะ
ฉะนั้นการดูดซับสารประกอบหลายชนิดไว้บนผิวหน้าของของแข็งนั้นจะไม่ทำให้โครงสร้างของ
ของแข็งมีการเปลี่ยนแปลง โดยของแข็งที่เก็บสะสมสารประกอบอื่นๆไว้ที่ผิวเรียกว่า ตัวดูดซับ
(adsorbent) ส่วนสารประกอบที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ(adsorbate)
ซึ่งคุณสมบัติสำคัญของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายในนอกจากนี้คุณสมบัติ
ต่างๆของรูพรุน เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความ สำคัญต่อ
ประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยการเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมทำให้สามารถแยกโมเลกุลบางชนิด
ออกจากสารประกอบต่างๆได้ โดยสารจะถูกดูดติดที่ผิวตัวดูดซับ เมื่อดูดจนอิ่มแล้วก็สามารถ
นำมาไล่เอาโมเลกุลที่ดูดไว้ ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น เปลี่ยนอุณหภูมิ หรือ เปลี่ยน
ความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และนำไปดูดซับอีกจะเรียกการเอาตัวดูดซับกลับมาใช้
ใหม่ว่า การคายกลับ(desorption)



รูปที่ 2.1 กระบวนการดูดซับและการคายกลับ [5]

โดยที่กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการแยกสารที่ไม่ยุ่งยาก จึงได้รับความนิยมนำไปใช้งาน ต่างๆ อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น

1. ใช้ในการดูดความชื้นของอากาศ และก๊าซต่างๆ เพื่อให้อากาศ หรือก๊าซนั้นแห้ง
2. ใช้ในการกำจัดกลิ่นและสารปนเปื้อนต่างๆ ออกจากก๊าซ เช่น กำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารกำมะถันอื่นๆ กำจัดสารคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น
3. แยกไอของตัวทำละลายที่ปะปนออกมากับอากาศกับก๊าซอื่นๆ
4. แยกองค์ประกอบต่างๆ ของก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน หรือ คาร์บอน และอื่นๆ ให้เป็นองค์ประกอบที่บริสุทธิ์

2.1.2 ประเภทของการดูดซับ [6]

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยจำแนกแรงดังกล่าวออกเป็น 2 ชนิด คือ แรงทางกายภาพและแรงทางเคมี ดังนั้นการดูดซับจึงจำแนกออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดของแรงที่ดูดจับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับ ดังนี้

2.1.2.1 การดูดซับทางกายภาพ คือ การดูดหรือดึงสารที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงกายภาพชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน แรงกายภาพของการดูดซับประเภทนี้ ได้แก่

- แรงดึงดูดระหว่างขั้วของสารที่ถูกดูดซับกับขั้วบนผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับความชื้นด้วยผลึกดูดความชื้นซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วลบของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วบวกบนผิวผลึกดูดความชื้น
- แรงดึงดูดระหว่างประจุของสารที่ถูกดูดซับชนิดไอออนกับประจุบนผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับไอออนแคลเซียม(Ca^{2+}) และไอออนแมกนีเซียม(Mg^{2+}) ในน้ำกระด้างด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนบนตัวดูดซับชนิดพอลิเมอร์ เป็นต้น
- แรงดึงดูดมวลระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ เช่นการดูดซับไอสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยถ่านดูดซับ เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของการดูดซับประเภทนี้ คือ การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี ณ อุณหภูมิต่ำและจะเกิดได้ดีมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของตัวดูดซับโดยตรงและเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับแล้ว โดยไม่จำกัดจำนวนโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับที่ซ้อนทับแล้ว จึงมักเรียกการดูดซับลักษณะนี้ว่า การดูดซับหลายชั้น (multilayer adsorption) ความร้อนของการดูดซับแบบกายภาพนี้มักมีค่าประมาณ

2-3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารถูกดูดซับชนิดนั้นๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งความร้อนของการดูดซับแปรผันโดยตรงกับแรงของการดูดซับ

2.1.2.2 การดูดซับด้วยแรงทางเคมี คือ การเกิดพันธะเคมีหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวตัวดูดซับ การดูดซับประเภทนี้ต้องการพลังงานกระตุ้น เช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป การดูดซับจึงมักเกิดขึ้นได้ดีและเกิดขึ้นได้เร็ว ณ อุณหภูมิสูงๆ และจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของตัวดูดซับเท่านั้น โดยจะเกิดขึ้นได้เพียงชั้นเดียวเท่านั้น มักเรียกการดูดซับประเภทนี้ว่า การดูดซับชั้นเดียว (monolayer adsorption) ความร้อนของการดูดซับประเภทนี้จึงมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารถูกดูดซับชนิดนั้นๆ มากกว่า 3 เท่า สามารถสรุปความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างตามลักษณะของการดูดซับ[7]

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
2. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ดูดซับชั้นเดียวและหลายชั้น	ดูดซับชั้นเดียว
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงดึงดูดทางกายภาพ	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนมากผันกลับไม่ได้
5. ค่าความร้อนของการดูดซับ	2-3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารถูกดูดซับ	มากกว่า 3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารถูกดูดซับ

2.1.3 กลไกการดูดซับ

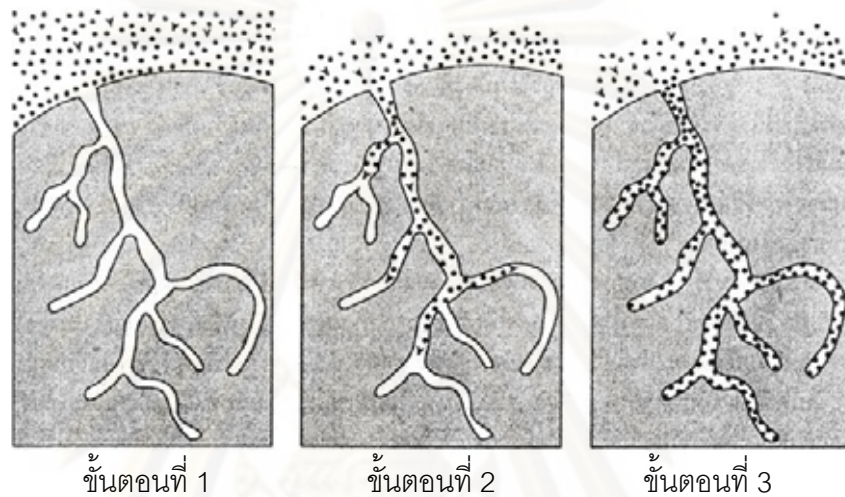
การดูดซับเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่จากวัฏภาคของไหลเข้าสู่ภายในตัวดูดซับ ถ้าต้องการให้ตัวดูดซับมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ภายในตัวดูดซับจึงต้องมีรูพรุนจำนวนมาก ดังนั้นอัตราการดูดซับจึงขึ้นกับอัตราการแพร่ของโมเลกุลสารถูกดูดซับ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่หนึ่ง โมเลกุลของสารถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งอาจจะเป็นพื้นผิวภายนอก

ขั้นที่สอง เป็นขั้นตอนการแพร่ผ่านรูพรุนของตัวดูดซับ เป็นขั้นตอนที่สารถูกดูดซับเคลื่อนที่จากพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

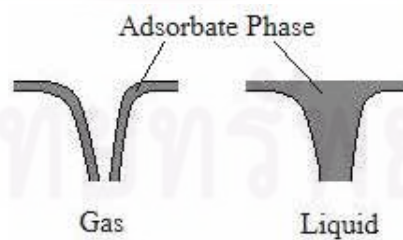
โดยเกิดกระบวนการแพร่โดยวิธีแพร่เข้าทางรูพรุนหรือทางผิว(Surface migration) หรือ โดยแรงแคปิลลารี (Capillary force)

ขั้นที่สาม เป็นขั้นตอนการเกาะติดผิว อาจเกิดการเรียงตัวเป็นชั้นๆ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการดูดซับที่แท้จริง



รูปที่ 2.2 กลไกการดูดซับ [5]

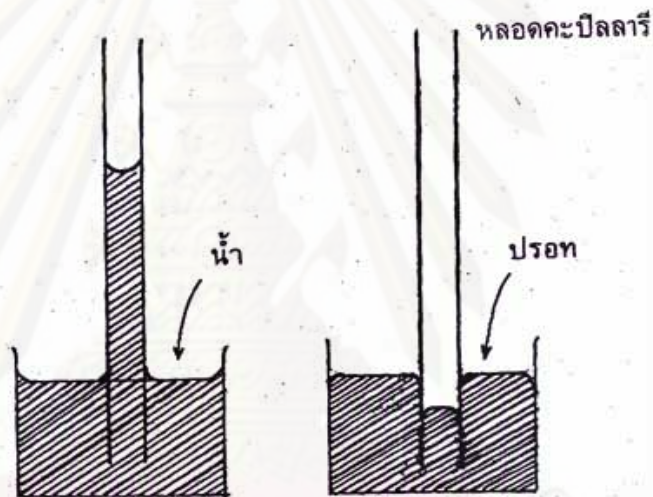
สำหรับการดูดซับของเหลวนั้นมีเพียงขั้นตอนการแพร่ไปยังผิวภายนอกตัวดูดซับและการเคลื่อนที่เข้ารูพรุนตัวดูดซับโดยแรงแคปิลลารี(Capillary force) จะไม่เกิดขั้นตอนการเกาะติดพื้นผิว



รูปที่ 2.3 ลักษณะการดูดซับก๊าซและของเหลว

2.1.4 การดูดซับของเหลวด้วยแรงแคปิลารี

การดูดซับด้วยแรงแคปิลารีนั้นขึ้นกับแรงดึงดูดของสาร แรงดึงดูดของสารเกิดจากโมเลกุลของของเหลวนั้นเคลื่อนที่ตลอดเวลา ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลรอบด้านเกือบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างและด้านล่างเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ โมเลกุลที่อยู่บนผิวของของเหลวถูกดึงเข้าสู่ด้านในตลอดเวลา เนื่องจากโมเลกุลที่อยู่บนผิวได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลอื่นๆ ไม่ทั่วถึง ทำให้โมเลกุลที่อยู่บนผิวเสถียรภาพน้อยกว่าโมเลกุลที่มีตำแหน่งอยู่ด้านใน และเพื่อให้ได้เสถียรภาพมากที่สุด ของเหลวจึงพยายามลดพื้นที่ผิวให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวให้น้อยลง ส่งผลให้เกิดความตึงผิวขึ้นส่งต่อลักษณะของของเหลวในหลอดแคป



รูปที่ 2.4 ลักษณะของของเหลวในหลอดแคป

ความตึงผิวเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูด 2 ชนิดคือ

แรงโคฮีชัน(Cohesion) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดเดียว

แรงแอดฮีชัน(Adhesion) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน

ถ้าของเหลวชนิดไหน มีแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชันลักษณะของเหลวในหลอดคะปิลารีจะต่ำลง เช่น ปรอท แต่ถ้าของเหลวชนิดไหนมีแรงแอดฮีชันแข็งแรงกว่าแรงโคฮีชันลักษณะของเหลวในหลอดคะปิลารีจะสูงขึ้น เช่น น้ำ ซึ่งความสูงของเหลวในหลอดแคปสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$

โดยที่	γ	คือ	แรงตึงผิว (J/m^2 หรือ N/m^2)
	θ	คือ	มุมระหว่างผิวของเหลวและของแข็ง ณ จุดสัมผัส
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
	r	คือ	รัศมีของหลอดแก้ว (m)
	g	คือ	ค่าความโน้มถ่วง (m/s^2)

ปัจจัยที่มีต่อความตึงผิว

1. แรงตึงผิวระหว่างโมเลกุล ถ้าแรงตึงผิวระหว่างโมเลกุลมาก โมเลกุลที่ผิวหน้าจะถูกดึงเข้าภายในงานที่ใช้ในการขยายพื้นที่ผิวของของเหลวจะมากตามทำให้ความตึงผิวมาก
2. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานจลน์ในระบบมากขึ้นแรงตึงผิวระหว่างโมเลกุลลดลง ความตึงผิวจึงลดลง

2.1.5 สมดุลการดูดซับ [6]

ความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับ นอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวดูดซับเอง เช่น จำนวนช่องว่าง หรือ ผิวที่ใช้ในการดูดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันและปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่ใช้ในการดูด หรือสภาพสมดุลหาได้จากการทดลอง โดยนิยามที่จะนำมาแสดงในลักษณะของ ไอโซเทอม(Isotherm) เป็นเส้นแสดงปริมาณการดูดซับจำเพาะ ที่อุณหภูมิคงที่ แต่ความดันเปลี่ยนไป อีกประเภทหนึ่งคือ ไอโซบาร์ (Isobar) ซึ่งแสดงปริมาณการดูดซับจำเพาะเมื่อความดันคงที่แต่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป และประเภทสุดท้ายคือ ไอโซสเตียร์ (isostere) ซึ่งแสดงความดัน เมื่อปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะคงที่ แต่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

เมื่อการดูดซับเกิดขึ้น วัฏภาคดูดซับเกิดขึ้นบนผิวตัวดูดซับ สารถูกดูดซับที่อยู่ในวัฏภาคของไหลซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซหรือของเหลว สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จะถ่ายโอนไปยังวัฏภาคดูดซับ เมื่ออัตราการถ่ายโอนถูกดูดซับจากวัฏภาคของไหลไปยังวัฏภาคดูดซับเท่ากับอัตราการถ่ายโอนสารถูกดูดซับไปยังวัฏภาคของไหล นั่นคือ อัตราการดูดซับสุทธิเป็นศูนย์ การดูดซับสารถูกดูดซับดังกล่าวได้เข้าสู่สมดุลของการถ่ายโอนมวลสารถูกดูดซับระหว่างวัฏภาคแล้ว

ในกรณีการดูดซับของเหลวโมเลกุลของสารประกอบใดๆในสถานะของเหลวอยู่ติดกันอย่างต่อเนื่องด้วยแรงตึงผิวระหว่างโมเลกุลและแรงตึงผิวระหว่างผิวของโมเลกุลการดูดซับในสถานะของเหลวแตกต่างจากสถานะก๊าซตรงที่แรงตึงผิวมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับของเหลว โดยอาจช่วยให้การเคลื่อนที่ของของเหลวเข้าสู่โพรงได้ง่ายขึ้นและการดูดซับของเหลวเกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ผิวเปียกของตัวดูดซับเท่านั้น หรือบนโพรงที่ของเหลวสามารถไหลเข้าได้ แต่ของเหลว

ดังกล่าวไหลออกจากโพรงของตัวดูดซับไม่ได้ การคายของเหลวในโพรงของตัวดูดซับอาจใช้พลังงานมากกว่าพลังงานความร้อนแฝงของการระเหยของเหลวดังกล่าว

แบบจำลองสมดุลดูดซับของเหลวของเฮนรี

ระบบดูดซับของเหลวที่มีสารถูกดูดซับน้อย เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับระบบที่มีสารถูกดูดซับมีปริมาณน้อยๆ และระบบดูดซับของตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูง ภายใต้สภาวะดังกล่าวพบว่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น จึงมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

$$q = K_H C$$

โดยที่ K_H คือ ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรี เป็นตัวแปรที่กำหนดลักษณะเฉพาะของระบบสมดุลดูดซับประเภทนี้

แบบจำลองดูดซับของเหลวของแลงมัวร์

เป็นสมดุลการดูดซับที่มีสมมติฐานว่า การดูดซับเสมือนการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอ โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะเกาะอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียว และโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้แล้วไม่มีผลต่อการดูดซับโมเลกุลอื่น สมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งว่าลู่อเข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณสมดุลการดูดซับจำเพาะกับความเข้มข้นมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q = \frac{q_{mx} K_L C}{1 + K_L C}$$

โดยที่ q_{mx} เป็นปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะสูงสุด และ K_L เป็นค่าคงที่สมดุลดูดซับของแลงมัวร์ ปริมาณการดูดซับจำเพาะจะลู่อเข้าสู่ปริมาณสมดุลการดูดซับจำเพาะสูงสุด เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มสูงขึ้นมากๆ

แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนดลิช

เป็นปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะแปรเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นสมดุลของสารถูกดูดซับ ยกกำลังค่าคงที่ ดังสมการ

$$q = K_F C^n$$

โดยที่ K_F คือค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนดลิช และ n คือดัชนีชี้กำลัง

n มีค่ามากกว่า 1 แบบจำลองสมดุลของฟรอนดลิช มีลักษณะเป็นเส้นโค้งสมดุลดกว่า

n มีค่าน้อยกว่า 1 แบบจำลองสมดุลของฟรอนดลิช มีลักษณะเป็นเส้นโค้งสมดุลหงาย

n มีค่าใกล้เคียง 1 แบบจำลองสมดุลของฟรอนดลิช มีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี

2.1.6 ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent)

ตัวดูดซับ(adsorbent) หมายถึง สารที่มีอำนาจดูดซับสารอื่นไว้บนผิวได้ ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นกับ ลักษณะและความมีขั้วของผิว สามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิดตามลักษณะขั้วของผิว คือ ชนิดที่มีขั้ว ได้แก่ อลูมินากัมมันต์ ซิลิกาเจล เป็นต้น และชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

คุณสมบัติสำคัญของตัวดูดซับที่ดี คือต้องมีโพรงเป็นจำนวนมากและขนาดโพรงมีขนาดเล็ก เพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากจะสามารถดูดซับสารถูกดูดซับไว้ได้มาก การเลือกใช้ตัวดูดซับในอุตสาหกรรมจำเป็นต้องนึกถึงคุณลักษณะของตัวดูดซับให้เหมาะกับกระบวนการนั้นๆ ตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม มีอยู่ 4 ประเภทคือ[8]

2.1.5.1 อลูมินากัมมันต์(Activated Alumina) ผลิตได้จากการเผาสารอลูมินาออกไซด์ ที่มีผลึกน้ำ (Hydrated Alumina, $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) จนถึงประมาณ $400^\circ C$ การระเหยน้ำจากการเผาทำให้เกิดการแตกของโครงสร้างภายใน ซึ่งช่วยให้ผิวภายในเพิ่มขึ้น จะมีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 150-500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 15-60 อังสตรอม อลูมินากัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับของเหลว ไอน้ำ หรือ ก๊าซ ใช้มากในการลดความชื้นของก๊าซ หรือของเหลว ซึ่งนำกลับมาใช้ใหม่โดยการไล่น้ำออกเป็นความชื้น มีอายุใช้งานนานมาก

2.1.5.2 โมเลคิวลาซีฟ(Molecular sieves) จัดเป็นตัวดูดซับที่ใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมน้ำมันในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้เพราะดูดซับประเภทแรก ที่กล่าวถึงข้างต้นมีลักษณะเป็นแบบอสังฐาน และมีโครงสร้างภายในไม่สม่ำเสมอ แต่โมเลคิวลาซีฟมีการจัดเรียงตัวกันของอะตอมเป็นผลึกมีแบบแผนแน่นอน การจัดตัวในรูปที่มีช่องว่างในโครงสร้างซึ่งเชื่อมต่อกันตลอดเป็นผลึก การดูดซับจึงเกิดขึ้นเฉพาะกับโมเลกุลที่มีขนาด และรูปร่างไม่แน่นอน โมเลคิวลาซีฟเป็นสารประกอบพวกอลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งนอกจากจะเตรียมได้จากการสังเคราะห์แล้วยังสามารถเตรียมได้จากธรรมชาติในรูปของ แร่ซีโอไลต์(Zeolites) ขนาดของรูปร่างปรับได้ตามความประสงค์ ทำให้การแยกทำได้ง่ายเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ซึ่งมีโมเลคิวลาซีฟหลายเบอร์ออกจำหน่ายที่มีขนาดรูปร่างแตกต่างกันไป ทำให้มีความสามารถดูดซับโมเลกุลขนาดตามต้องการ ที่ใช้มากในอุตสาหกรรมน้ำมัน ได้แก่ การดูดซับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ เมอร์แคปแทน พาราฟิน ไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ประมาณว่ามีโมเลคิวลาซีฟสังเคราะห์ 150 ชนิด และที่พบในธรรมชาติอีกกว่า 40 ชนิด เช่น ซีโอไลต์ เป็นสารประกอบของ อลูมิเนียมซิลิเกต(Alumino Silicate) จะประกอบไปด้วย ซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม นิยมใช้ในการดูดซับความชื้น กลิ่น เพื่อทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ รวมทั้งแยกออกของแอมโมเนียหรือธาตุของโลหะหนักออกจากน้ำ

2.1.5.3 ซิลิกาเจล(Silica Gel) เตรียมได้จากปฏิกิริยาสะเทิน ระหว่างสารละลายไฮเดรียมซิลิเกตกับกรดกำมะถัน เกลือไฮเดรียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นจะแยกออกไปกับสารละลายเหลือสารประกอบซิลิกาที่จะนำมาให้ความร้อนจนถึงประมาณ 360 °ซ จนได้เม็ดของแข็งที่มีความพรุนสูง ซิลิกาเจลใช้ดูดได้น้ำได้ดีทั้งในอากาศ หรือในก๊าซ และใช้ในการแยกส่วนสารผสมของไฮโดรคาร์บอนได้ ซิลิกาเจลดูดซับน้ำได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ และ อลูมินากัมมันต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีความดันปานกลาง

2.1.5.4 ถ่านกัมมันต์(Activated Carbon) ผลิตได้จากการกลั่น ละลายความร้อนของสารที่มีองค์ประกอบคาร์บอนต่างๆ เช่น ไม้ ชีวีรี้อย กะลามะพร้าว ถ่านหิน กระจุก เป็นต้น เพื่อให้ถ่านที่ปราศจากสารระเหยง่าย จากนั้นก็นำมากระตุ้นผิวด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เช่น ไอน้ำกรด และอื่นๆ เพื่อปรับผิวให้เหมาะสมกับการดูดซับ ถ่านกัมมันต์ใช้มากในการจับก๊าซต่างๆ ใช้ในการกำจัดสีของน้ำมัน และตัวกรองที่มีประสิทธิภาพสูง

2.1.7 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)



รูปที่ 2.5 ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว[9]

ถ่านกัมมันต์หรือถ่านดูดซับเป็นตัวดูดซับที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักนอกจากนี้ ยังมีธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุกำมะถัน เป็นองค์ประกอบ เป็นตัวดูดซับที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษ เพื่อให้เกิดพื้นผิวสัมผัสสูง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะมีพื้นที่ผิวสูงประมาณ 600-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม รูพรุน (Pores) ของถ่านกัมมันต์มีขนาดอยู่ระหว่าง 20-20,000 อังสตรอม วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านมีหลายชนิดได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์ ถ่านหิน ถ่านโค้ก กากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากซากสิ่งมีชีวิตโบราณ ฟางข้าว กะลามะพร้าว ลำต้นข้าวโพด ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากพืชเศรษฐกิจ และ พอลิเมอร์โมเลกุลสั้น พอลิเมอร์ดี้อยคุณภาพ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากวัสดุอินทรีย์อุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งคุณภาพของถ่านกัมมันต์แตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด

ชนิดและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ [5]

1. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่นไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมี (Chemical Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริก(H_3PO_4) และ สังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นต้น
- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่นไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนขนาดเล็ก(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 โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้นมักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

3. แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

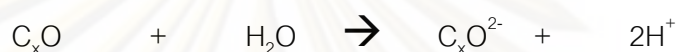
- ถ่านกัมมันต์แบบผง(Powder Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยมวล มีลักษณะเป็นผงใช้สำหรับฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว
- ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด(Granular Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อทำให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และการนำกลับมาใช้งานใหม่

4. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

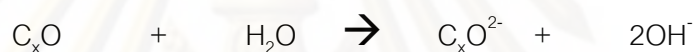
- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง มักใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย
- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์

5. แบ่งตามค่าความเป็นกรดเมื่อละลายน้อย

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมี คุณสมบัติเป็นกรด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



- ถ่านกัมมันต์เฮช (H-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมี คุณสมบัติเป็นด่าง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดังนี้



6. แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรด ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นกรดเมื่ออยู่ในสารละลายคือ ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล(Carboxyl) หมู่ฟังก์ชันนี้พบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอล เตรียมจากการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียสในอากาศ และเผากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้ หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้เช่น หมู่คาร์บอกซิล(Carboxyl) หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล(Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอย (Quinonoid) หมูกรดคาร์บอกซิลิก(Carboxylic Acid Group) หมู่แอนไฮไดรด์ (Anhydrides) หมู่แลคโตน(Lactone) และหมู่ไซคลิกเปอร์ออกไซด์(Cyclic Peroxide) เป็นต้น
- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นด่าง ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นด่างเมื่ออยู่ในสารละลายมักพบในถ่านกัมมันต์ชนิดเฮช ซึ่งเตรียมจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวก กะลามะพร้าว ถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลที่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนัก ได้แก่ หมู่ควินิน (Quinines) หมู่ฟีนอล(Phenols) และหมู่คาร์บอกซิเลท(Carboxylates) เป็นต้น

2.1.8 ซิลิกาเจล (Silica gel)



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเม็ดซิลิกาเจล[10]

ซิลิกาเจลคือสารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอนไดออกไซด์(Silicon Dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไปซิลิกาเจลจะมีลักษณะเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม

- ชนิดเม็ดสีขาว(White Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณ 35-40% ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร
- ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน(Blue Silica Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ เพียงแต่มีการเพิ่มสาร พิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจวัด ปริมาณความชื้นที่กักเก็บไว้ ทำให้ผู้ใช้รู้ว่าการเก็บความชื้นไว้ในปริมาณเท่าไร โดยจะแสดงเป็นสีน้ำเงินและสีชมพูหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เม็ดเป็นสีน้ำเงิน หมายความว่า สารดูดความชื้นนั้นยังไม่ได้ใช้งานหรือไม่ทำงานนั่นเอง ส่วนเม็ด ที่เป็นสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แสดงว่าหมดอายุในการใช้งานควรเปลี่ยนสารดูดความชื้นใหม่

- ชนิดเม็ดสีส้ม(Orange Silica Gell) มีคุณสมบัติเหมือนกับชนิดสีน้ำเงินทุกประการ การทำงาน จะเปลี่ยนจากสีส้ม เป็นสีเขียวอ่อน ซิลิกาเจลชนิดนี้ยังไม่ได้รับความนิยมในเมืองไทย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง
- ชนิดเม็ดทราย(Silica Sand) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการแตกต่างกันที่ ขนาดของเม็ดของสาร ซึ่งสารดูดความชื้น ชนิดเม็ดทราย จะมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

ประโยชน์ของซิลิกาเจล

- สามารถดูดความชื้นได้ถึงร้อยละ 30 ของน้ำหนักตัวเอง
- ไม่มีวันหมดอายุ หากเก็บในที่ที่ไม่มีอากาศ หรือ ความชื้น
- ไม่ใช่ วัตถุไวไฟ
- สะดวกในการเลือกใช้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยวิธีการอบที่ อุณหภูมิ 120 °C นาน 2 ชั่วโมง

การใช้งานโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมของเม็ดซิลิกาเจล แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้งานซิลิกาเจลในอุตสาหกรรม[10]

ประเภทอุตสาหกรรม	การใช้งานของเม็ดซิลิกาเจล
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์	ใช้เก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ปลอดภัยจากความชื้น
อุตสาหกรรมแอร์	ดูดความชื้นจากอุปกรณ์
อุตสาหกรรมส่งออก	ป้องกันความเสียหายจากความชื้น ระหว่างการขนส่งที่ต้องใช้ระยะเวลาสั้น
คลังสินค้า	ป้องกันสินค้าที่มีราคาสูง จากความเสียหายที่เกิดจากความชื้น ระหว่างจัดเก็บรักษา
อุตสาหกรรมอาหารแห้ง	ป้องกันความเสียหายจากความชื้น และช่วยรักษาความสดและความกรอบของอาหาร
อุตสาหกรรมยาและเวชภัณฑ์	ช่วยรักษาคุณภาพของยา

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Berrios และคณะ[2] ศึกษาการเปรียบเทียบผลการกำจัดสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลโดยใช้วิธีถึง 3 วิธีคือ การล้างน้ำ, การแลกเปลี่ยนไอออน, การใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นตัวดูดซับ พบว่าแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกัันดังนี้

- วิธีการล้างน้ำ
 - ข้อดี ปริมาณกลีเซอรอลที่เหลือในไบโอดีเซลต่ำกว่ามาตรฐาน
 - ข้อเสีย สิ้นเปลืองน้ำที่ใช้, เกิดอิมัลชัน, ต้องเพิ่มกระบวนการล้างน้ำเข้ามาในกระบวนการ, เปลืองพลังงานในขั้นตอนการต้มไล่่น้ำ
- วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน
 - ข้อดี ปริมาณกลีเซอรอลที่เหลือในไบโอดีเซลต่ำกว่าค่ากำหนด
 - ข้อเสีย เหลือปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลมากใช้ปริมาณเรซิน (เรซิน 1 กิโลกรัมต่อน้ำมันไบโอดีเซล 20 ลิตร)
- วิธีการใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นตัวดูดซับ
 - ข้อดี สามารถแยกปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด
 - ข้อเสีย ต้องใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตมากถึงร้อยละ 0.75 โดยมวล ถึงจะได้ ปริมาณกลีเซอรอลและสบู่ในไบโอดีเซลได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

He และคณะ[12] ศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่อยู่ในไบโอดีเซลและน้ำมันปิโตรดีเซล พบว่าปริมาณน้ำในปิโตรดีเซลมีน้อยกว่าปริมาณน้ำในไบโอดีเซลและปริมาณน้ำในน้ำมันทั้งสองยังขึ้นกับอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและอัตราเร็วของการกวนในการเกิดปฏิกิริยาด้วย

ชวริน โภยมรัตน์ และคณะ[4] ศึกษาการออกแบบหอดูดซับเพื่อกำจัดน้ำที่แขวนลอยในน้ำมันดีเซลโดยใช้เกลือเป็นตัวกรอง(salt filter) พบว่า เกลือสินเธาว์เป็นเกลือที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำออกจากน้ำมันดีเซลได้ดีกว่าเกลือออสเตรเลียและเกลือทะเล ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นไปตามกฎการดูดซับของเฮนรี่ จากการออกแบบหอดูดซับพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซับจาก 0.99 เมตรไปเป็น 58 เมตร และเพิ่มจำนวนหอดูดซับจาก 1 หอไปเป็น 12 หอ โดยต่ออนุกรม กำหนดให้ความสูงหอเท่าเดิมคือ 5 เมตร พบว่าหอดูดซับนี้สามารถกำจัดน้ำจากน้ำ 1,500 ส่วนจากน้ำมันดีเซลล้านส่วน ลดลงเหลือน้ำ 120 ส่วนในน้ำมันดีเซลล้านส่วน

Yong Wang และคณะ[13] ศึกษาการกำจัดสารปนเปื้อนไนโปโตซีเซลโดยใช้เซรามิกเป็นเยื่อเลือกผ่าน พบว่า เมื่อขนาดรูของเยื่อเลือกผ่านมีขนาดเล็กลงความสามารถในการกรองมีประสิทธิภาพสูงขึ้นคือปริมาณกลีเซอรอลและสบู่ที่คงเหลือในไนโปโตซีเซลมีปริมาณลดลงและสามารถล้างสบู่กับกลีเซอรอลที่ค้างอยู่บนเยื่อเลือกผ่านด้วยเมทานอล ซึ่งมีข้อดีกว่าวิธีอื่นคือไม่มีน้ำเสียจากกระบวนการ

Maria "Mark" Alover[3] ศึกษาการล้างไนโปโตซีเซลที่ผ่านการทิ้งให้ตกตะกอนนาน 18 ชั่วโมงและผ่านการแยกชั้นกับกลีเซอรอล ด้วยวิธีการใช้ฟองปุดของน้ำ(bubble washing) เป็นตัวกำจัดสบู่และสารเจือปนอื่นๆ ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้ปริมาณน้ำน้อย ราคาต่ำ แต่มีข้อเสียคือ เกิดอิมัลชัน โดยได้ทำการเปรียบเทียบการกำจัดอิมัลชันที่เกิดขึ้นมี 3 วิธีด้วยกันคือ

- การใช้ต้มไล่ความร้อน
 - ข้อเสียคือ อันตรายเพราะอาจเกิดการสะสมความร้อนที่มากเกินไปและสิ้นเปลืองพลังงาน
- การใช้เกลือเป็นตัวดูดซับ
 - ข้อเสียคือ น้ำที่ได้จากกระบวนการนี้เป็นมลพิษและอุปกรณ์ในการผลิตเสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากเกิดสนิมได้ง่าย
- การใช้กรด
 - ข้อเสียคือ การปรับสภาพกรดให้เป็นกลางทำได้ยากและมีการรวมตัวของเกลือ และ กรดไขมันอิสระสูง กรดไขมันอิสระมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง

ชวริน โพนมรัตน์[5] ศึกษาการดูดซับเอทานอลจากสารละลายเอทานอล-น้ำด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่อุณหภูมิ 26-30 องศาเซลเซียส และการคายกลับโดนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส พบว่าสมดุลการดูดซับของเอทานอลตรงกับแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ และสมดุลการดูดซับของน้ำตรงกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช ปริมาณการดูดซับสูงสุดบนถ่านแห้งและถ่านเปียกคือ 482.43 และ 603.31 มิลลิกรัม/กรัมถ่านดูดซับ ตามลำดับและ ความเข้มข้นของเอทานอลที่นำกลับจากการดูดซับบนถ่านดูดซับแบบแห้งและเปียกถูกทำให้เพิ่มขึ้นได้ 5 และ 6 เท่าตามลำดับ จากความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนการดูดซับ

คณิตา วัฒนะกิจ[14] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากกะลามะพร้าวด้วยการต้มกับสารละลายซิงคลอไรด์สำหรับการดูดซับเอทานอลในน้ำ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายซิงค์คลอไรด์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายเมื่อต้มนาน 3 ชั่วโมงจะได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น 253 ตารางเมตรต่อกรัม ขณะที่ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นถึง 510 มิลลิกรัม และสมบัติทั้งสองจะเพิ่มขึ้นเป็น 342 ตารางเมตรต่อกรัม และ 636 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ เมื่อลดขนาดของกะลามะพร้าวจาก 7x7 ตารางเซนติเมตรเป็น 2x2 ตารางเซนติเมตร

Phussadee Patnukao[15] ศึกษาคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกยูคาลิปตัสโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น และใช้ตัวดูดซับที่ผลิตได้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายในการคืนสภาพโลหะทองแดงจากโลหะหนักผสมระหว่างทองแดงกับตะกั่ว พบว่า สภาพการเตรียมตัวดูดซับที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่า 500 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกยูคาลิปตัสต่อกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1 ต่อ 1 และระยะเวลาในการกระตุ้น 1.5 ชั่วโมง จะให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ค่าเมทิลีนบลู ค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีทีที่มีค่าสูงที่สุด ส่วนความสามารถในการดูดซับทองแดงและตะกั่ว จะเกิดการดูดซับสูงสุดที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 และสมมูลดูดซับเกิดภายใน 45 นาทีตลอดทั้งความเข้มข้นของโลหะหนัก

วิศรุต ไฉนนานนท์[16] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริกต่อการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง พบว่าที่สภาวะความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล 350 องศาเซลเซียส เหนือ 120 นาที จะได้ตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงถึง 986 ตารางเมตรต่อกรัมตัวดูดซับ ค่าคงที่สมดุลการดูดซับจะมีค่าแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

Devarly Prahas และคณะ[17] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกขุ่น โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น พบว่า ร้อยละผลผลิต ของคาร์บอนจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกขุ่นต่อกรดฟอสฟอริกเพิ่มขึ้น ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 450-550 องศาเซลเซียส ให้ค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีที และปริมาตรรูพรุนรวม เท่ากับ 907-1260 ตารางเมตรต่อกรัมตัวดูดซับ และ 0.525-0.733 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมตัวดูดซับ ตามลำดับ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองคือถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ขนาด 4x8 เมช ของ
บริษัท Carbo Karn Co.Ltd ซึ่งผลิตจากกะลามะพร้าว ภายในประเทศ มีคุณสมบัติดังแสดง
ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

การกระจายตัวของขนาดเม็ดถ่าน : +4 (4.75 mm.) (ASTM Mesh/mm.) : 4 x 8 (4.75-2.36 mm.) : -8 (2.36 mm.)	MAX 5 % MIN 90 % MAX 5 %
Iodine number (mg./g) (AWWA B 604)	MIN 1149
pH	9 to 11
พื้นที่ผิว (m ² /g)	MIN 1200
ความชื้น (%w/w)	MAX 3.5
ความหนาแน่นบัลค์ (g/cc.)	MIN 0.47
ความหนาแน่นถ่าน (g/cc.)	1.3

3.1 การทดลองหาสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับ ความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน

1. นำเม็ดซิลิกาเจลชนิดเม็ดสี่เหลี่ยม ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิคงที่
2. เตรียมของผสมเมทานอล-เฮกเซน โดยนำเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยมวล ผสมกับเฮกเซนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5 ตามลำดับ
3. ชั่งสารผสมระหว่างเมทานอล-เฮกเซนที่ความเข้มข้นต่างๆจากข้อ 2 จำนวน 5 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางให้แน่น
4. ใส่เม็ดซิลิกาเจลจากข้อ 1. ใส่ลงในสารผสมเมทานอล-เฮกเซนที่เตรียมได้จากข้อ 3 ขวดละ 1 เม็ดพร้อมชั่งน้ำหนักเม็ดซิลิกา สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของเม็ดซิลิกาเจลภายใน

ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถ้ามีการเปลี่ยนสีของเม็ดซีลีกาทำการใส่เม็ดซีลีกาเพิ่มทีละ 1 เม็ด จนกระทั่งสีของเม็ดซีลีกาเจลาไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนัก เม็ดซีลีกาเจลาที่ใช้ทั้งหมด

5. หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักของเม็ดซีลีกาเจลาที่ใช้กับความเข้มข้นของเมทานอล (ร้อยละโดยมวล)

3.2 การทดลองหาสมมูลดูดซับ

3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ

1. ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งไม่มีเศษเขม่าและฝุ่น นำถ่านที่ล้างสะอาดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และ เก็บไว้ในโถดูดความชื้นจนอุณหภูมิคงที่
2. เตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 5 10 และ 20 โดยมวล
3. ชั่งถ่านกัมมันต์จากข้อ 1 จำนวน 20 กรัม และสารละลายกรดฟอสฟอริกในน้ำ 120 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดจุกยางให้แน่น แล้วนำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที
4. กรองตัวดูดซับออกจากสารละลายกรดฟอสฟอริก พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของสารละลายกรดฟอสฟอริกและตัวดูดซับ
5. นำตัวดูดซับที่ได้ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนสังเกตได้ว่าที่พื้นผิวของตัวดูดซับไม่มีสารละลายกรดฟอสฟอริกเปียกที่ผิว จากนั้นชั่งน้ำหนักของตัวดูดซับที่ได้
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3, 4 และ 5 ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การทดลองหาสมมูลดูดซับของตัวดูดซับในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิต

1. ชั่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิต 15 กรัม และชั่งน้ำหนักตัวดูดซับที่เตรียมได้จากขั้นตอน 3.2.1 จำนวน 0.15 กรัม (อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำมันไบโอดีเซลเท่ากับ 1:100) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิตร จำนวน 6 ขวด ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางให้แน่น นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 170 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เก็บสารทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
2. กรองตัวดูดซับออกจากน้ำมันไบโอดีเซล ชั่งน้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซล และตัวดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนน้ำหนักของตัวดูดซับเป็น 0.214, 0.3, 0.5 กรัม (อัตราส่วนตัวดูดซับต่อน้ำมันไบโอดีเซลเท่ากับ 1:70, 1:50, 1:30 ตามลำดับ)

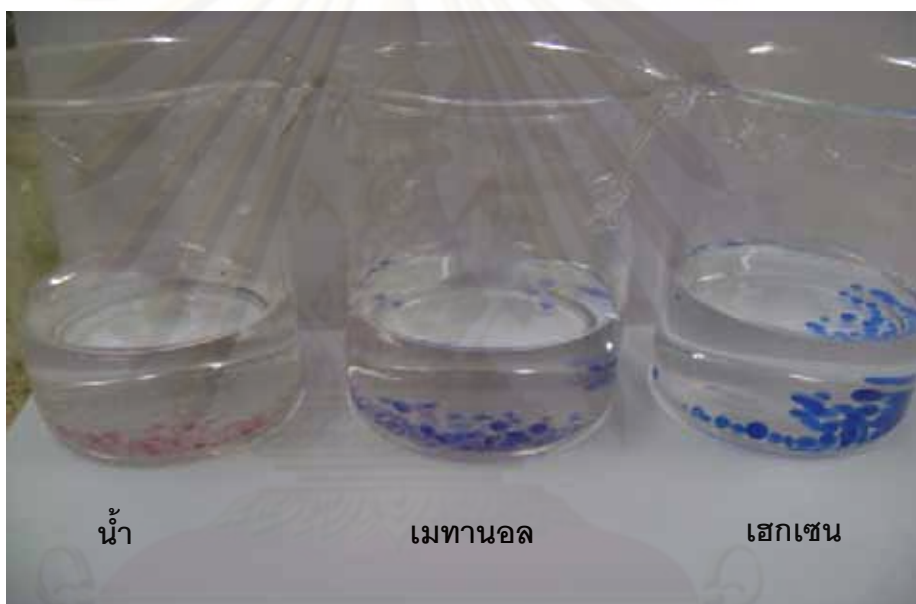
3.2.3 การทดลองหาค่าความเข้มข้นของเมทานอลและน้ำในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับ

1. ชั่งน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วยตัวดูดซับจากขั้นตอน 3.2.2 5 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิตร ปิดด้วยจุกยางให้แน่น
2. ใส่เม็ดซิลิกาที่เตรียมได้ ลงในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ ขวดละ 1 เม็ด พร้อมชั่งน้ำหนักเม็ดซิลิกา สังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงของเม็ดซิลิกาภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถ้ามีการเปลี่ยนสีของเม็ดซิลิกา ทำการใส่เม็ดซิลิกาเพิ่มทีละ 1 เม็ด จนกระทั่งสีของเม็ดซิลิกาไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักเม็ดซิลิกาที่ใช้ทั้งหมด
3. ทำการทดลองซ้ำ สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับและ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวดูดซับต่อน้ำมันไบโอดีเซล ที่อัตราส่วนต่างๆ
4. นำข้อมูลที่ได้ (น้ำหนักเม็ดซิลิกา) เทียบหาค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในน้ำมันไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วยตัวดูดซับ จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากขั้นตอนที่ 3.1

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ซีลีกาเจลนอกจากจะมีการเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นสีชมพูเมื่อทำการดูดซับน้ำในปริมาณหนึ่งแล้วซีลีกาเจลยังคงมีการเปลี่ยนสีเช่นเดียวกันเมื่อมีการดูดซับเมทานอล การดูดซับเมทานอลซีลีกาเจลจะมีการเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นสีม่วง ส่วนการดูดซับเฮกเซนเม็ดซีลีกาเจลไม่มีการเปลี่ยนสี แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนสีของซีลีกาเจลในการดูดซับสารต่างๆ

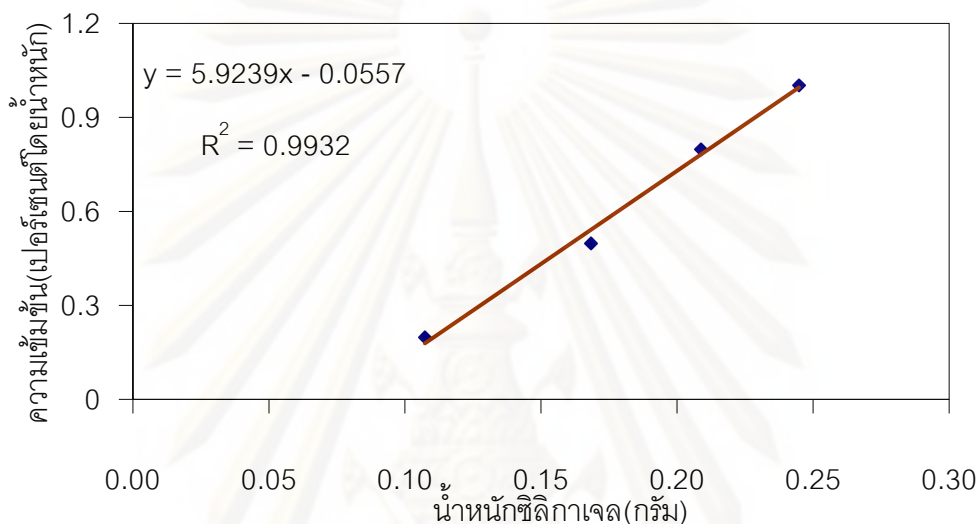
4.1 ผลการทดลองหาสมการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนัก

ซีลีกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักเม็ดซีลีกาเจลที่เกิดการเปลี่ยนสีภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงกับความเข้มข้นของเมทานอลในสารละลายเฮกเซน ของช่วงความเข้มข้นของเมทานอลร้อยละ 0.2 ถึง 5.0 โดยมวล มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงคือเมื่อความเข้มข้นของเมทานอลในสารละลายเฮกเซนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการเปลี่ยนสีของเม็ดซีลีกาเจลมากขึ้นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยจะพิจารณาช่วงของความเข้มข้นเป็น 2 ช่วง คือช่วงความเข้มข้นของเมทานอลร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 โดยมวล และช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 โดยมวล

ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 โดยมวล ปริมาณเม็ดซิลิกาเจลที่เปลี่ยนสีอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.25 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.2 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองคือ

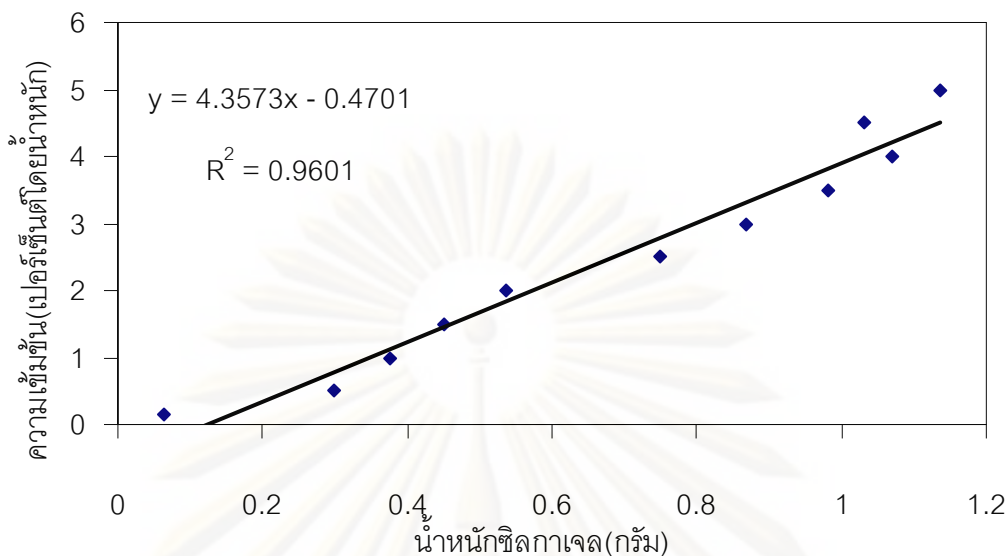
$$Y = 4.1278 X - 0.1024 \quad : R^2 = 0.9277$$



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน ที่ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ถึง 1.0 โดยมวล

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของเมทานอลในช่วงร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 โดยมวล จะพิจารณาการเปลี่ยนสีของเม็ดซิลิกาเจลครั้งละ 2 เม็ดในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีการเปลี่ยนสีของเม็ดซิลิกาที่มีการเปลี่ยนสีที่เร็ว พบว่ามีความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกันดังรูปที่ 4.3 โดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองเป็น

$$Y = 4.3573X - 0.4701 \quad : R^2 = 0.9565$$



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ถึง 5.0 โดยมวล

โดยที่ $Y =$ ความเข้มข้นของเมทานอลในสารละลายเฮกเซน (ร้อยละโดยมวล)
 $X =$ น้ำหนักของเมดซิลิกาเจลที่ใช้ในการเปลี่ยนสีในระยะเวลา 1 ชั่วโมง (กรัม)

ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนสีของเมดซิลิกาเจลในสารผสมเมทานอลในเฮกเซนกับสารผสมเมทานอลในไบโอดีเซลพบว่าการทั้งสองมีการเปลี่ยนสีเมดซิลิกาเจลเป็นสีม่วงเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาค่าความชันของเมทานอลในเฮกเซนและในไบโอดีเซลพบว่ากราฟของผสมเมทานอลในไบโอดีเซลมีการเปลี่ยนแปลง(ความชัน)มากกว่ากราฟของผสมเมทานอลในเฮกเซนเล็กน้อยอาจมีสาเหตุมาจากในไบโอดีเซลอาจมีสิ่งปนเปื้อนเจือปนอยู่ เช่นความชื้นหรือเมทานอล ทำให้ต้องใช้ซิลิกาเจลในปริมาณที่มากกว่า ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงใช้กราฟของผสมเมทานอลในเฮกเซนเป็นตัวแทนในการทดลอง

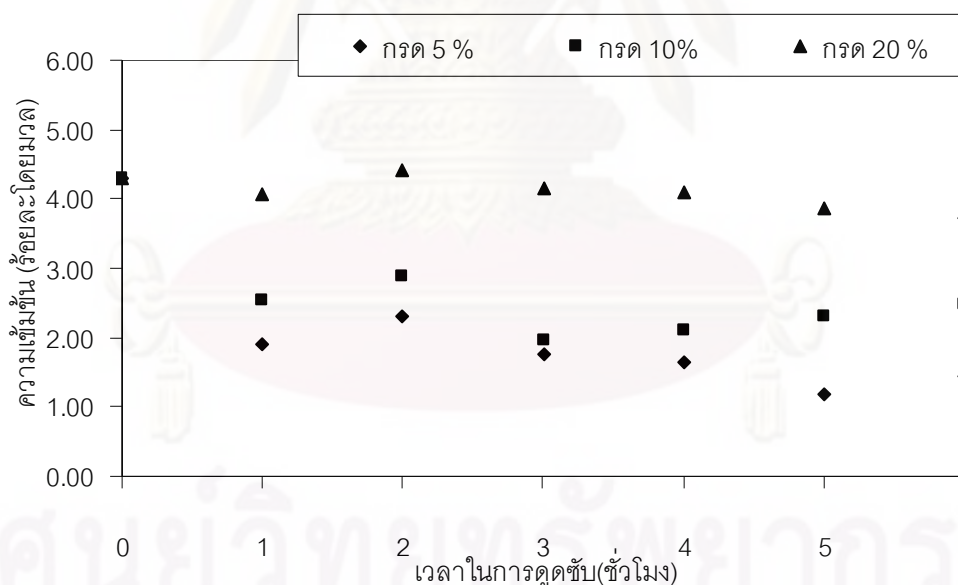
พิจารณาการวิเคราะห์การหาปริมาณเมทานอลในเฮกเซนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ผลการตรวจสอบดังภาคผนวก จ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวัดความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซนโดยวิธีการใช้ซิลิกาเจลพบว่าความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซนมีค่าความคาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยมวลของสารผสมเมทานอลในเฮกเซน

วิธีการตรวจสอบเมทานอลในเฮกเซนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ที่ความเข้มข้นของเมทานอลต่ำกว่าร้อยละ 0.2 โดยมวล เนื่องจากที่ความเข้มข้นของเมทานอลต่ำกว่าร้อยละ 0.2 โดยมวล เม็ดซิลิกาเจลจะไม่เกิดการเปลี่ยนสี

4.2 การทดสอบหาสมดุลการดูดซับ

4.2.1 สมดุลดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล

เมื่อการดูดซับเข้าสู่สมดุลดูดซับแล้วความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาเปลี่ยนไปหรือความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่เหลือหลังการดูดซับจะไม่ขึ้นกับเวลาในการดูดซับ จากการทดลองเมื่อสังเกตความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวโดยถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล ด้วยการเปลี่ยนสีของเม็ดซิลิกาเจล เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

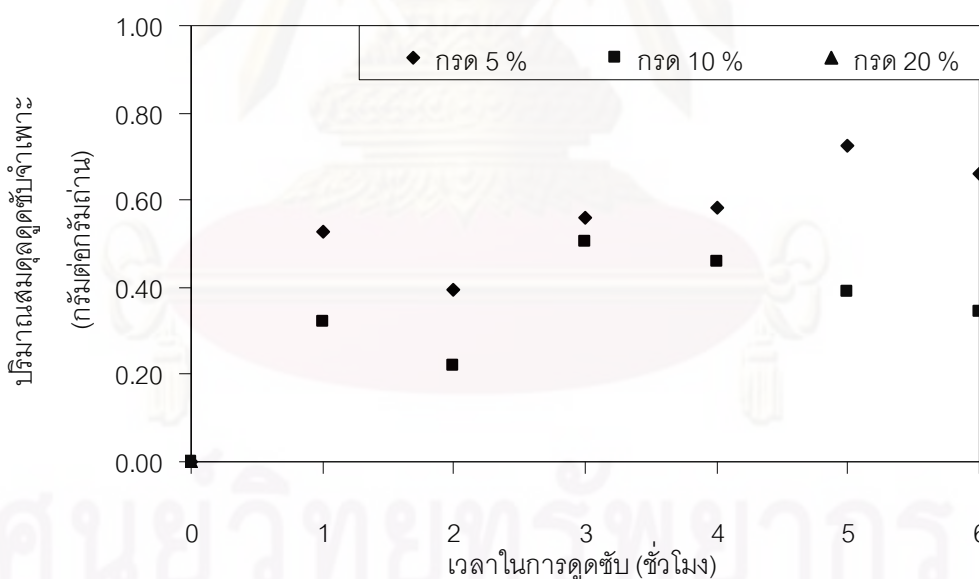


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีความเข้มข้นของกรดร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลหลังดูดซับที่ระยะเวลาเปลี่ยนไปจากชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6 โดยพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างตัวดูดซับ

ต่อไปโอดีเซลเป็น 1 : 30 พบว่าในช่วงเวลาที่หนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลมาก จากไบโอดีเซลก่อนการดูดซับมีความเข้มข้นของเมทานอลประมาณร้อยละ 4.30 โดยมวล และจากผลการทดลองข้างต้นพบว่าหลังจากระยะเวลาในการดูดซับมากกว่า 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลน้อยมาก สังเกตได้จากลักษณะของเส้นกราฟในรูปที่ 4.4 เมื่อระยะเวลาในการดูดซับมากกว่า 1 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟเป็นเส้นตรงที่ความชันเข้าใกล้ศูนย์

เมื่อทำการหาค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่ระยะเวลาเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 4.5 จะเห็นว่ากรณีตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1:30 สำหรับระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6 พบว่าการดูดซับภายในชั่วโมงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะมากแต่หลังจากระยะเวลาในการดูดซับมากกว่า 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงปริมาณสมมูลดูดซับน้อยมาก คือลักษณะของเส้นกราฟหลังจาก 1 ชั่วโมง มีลักษณะเป็นเส้นตรง ที่ความชันเข้าใกล้ศูนย์



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีความเข้มข้นของกรดร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล

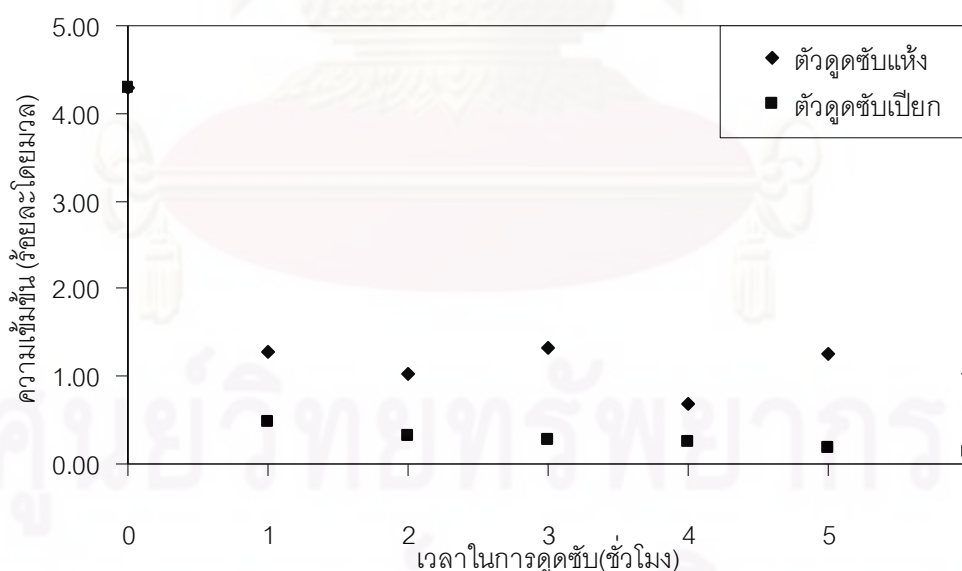
จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของเมทานอลและปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ได้กล่าวไว้ด้านบนแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับและปริมาณ

สมดุลดูดซับจำเพาะหลังจากชั่วโมงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สามารถกล่าวได้ว่าสมดุลดูดซับของทั้งสามระบบเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่สมดุลและปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของระบบทั้งสาม จากการเฉลี่ยปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่สมดุลและความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6 จากการคำนวณจะได้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุล เท่ากับ ร้อยละ 1.7090 โดยมวล และปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นนี้เท่ากับ 0.5739 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่กรดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุล เท่ากับ ร้อยละ 2.3780 โดยมวล และปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้เท่ากับ 0.3737 กรัมเมทานอลต่อกรัมถ่าน สำหรับตัวดูดซับที่กรดเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล และ ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุล เท่ากับ ร้อยละ 4.0701 โดยมวล และปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้เท่ากับ 0.1082 กรัมเมทานอลต่อกรัมถ่าน สำหรับตัวดูดซับที่กรดเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากปัจจัยของความเข้มข้นกรดที่เติมในถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล คือค่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล มีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับอีกสองประเภทที่เหลือ และค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดูดซับอีกสองประเภทที่เหลือ จากผลด้านบนสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับมากขึ้นความสามารถในการดูดซับเมทานอลที่สมดุล(ภายในชั่วโมงที่1) ของตัวดูดซับ และปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะมีค่าต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับเป็นขั้นตอนที่เติมกรดฟอสฟอริกเข้าไปในรูปุนโดยไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้เป็นถ่านหรือการให้ความร้อนใดๆ แต่เป็นการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้น้ำที่ผิวของตัวดูดซับระเหยไป เมื่อนำไปดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลพบว่าในระบบของตัวดูดซับจะประกอบไปด้วยสารสี่ชนิดคือ กรดฟอสฟอริก น้ำ เมทานอล และไบโอดีเซล ซึ่งสามารถเรียงความเป็นขั้วของสารในระบบการดูดซับได้ดังนี้ กรดฟอสฟอริก น้ำ เมทานอล และไบโอดีเซล ตามลำดับ เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเมื่ออยู่ในระบบเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูงจึงเลือกจับโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นขั้วรองลงมามากกว่าการจับเมทานอล จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลต่ำลง เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกสูงขึ้นปริมาณน้ำในตัวดูดซับต่ำลงเนื่องจากในขั้นตอนการตั้งถ่านกัมมันต์ไว้ที่อุณหภูมิห้องหลังการแช่กรดที่ความเข้มข้นต่างๆ น้ำหนักถ่านที่ลดลงหลังจากพื้นผิวแห้งแล้วเป็น

ผลมาจากน้ำที่ผิวตัวดูดซับระเหยแต่กรดฟอสฟอริกไม่ระเหยเพราะกรดฟอสฟอริกมีจุดเดือดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ กรดฟอสฟอริกจึงไม่เกิดการระเหย และน้ำสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทานอลได้ซึ่งพันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่แข็งแรง น้ำจึงมีความสามารถในการดูดซับเมทานอลได้ดีกว่ากรดฟอสฟอริก ทั้งสองเหตุผลนี้จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเมทานอลต่ำลง แต่ตัวดูดซับยังคงดูดซับเมทานอลได้บ้างเนื่องจากภายในรูพรุนของตัวดูดซับอาจมีน้ำปนอยู่ การที่น้ำในรูพรุนไม่เกิดการระเหยเกิดจากแรงแคปิลารี คือโมเลกุลของน้ำภายในรูพรุนพยายามลดพื้นที่ผิวให้น้อยที่สุด จึงเกิดแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลของน้ำมากขึ้น ความตึงผิวจึงมากขึ้นด้วย เป็นไปตามหลักการดูดซับด้วยแรงแคปิลารี

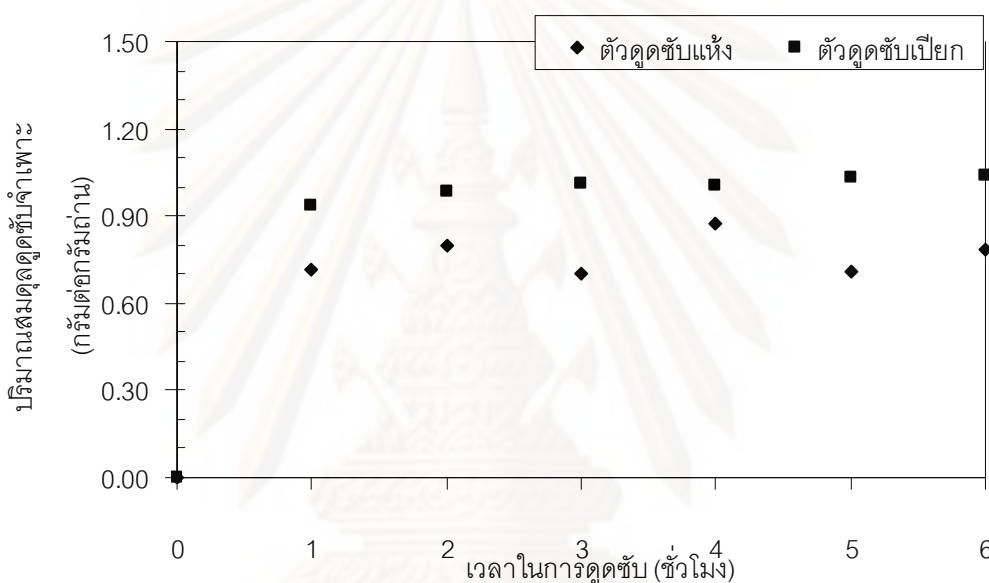
4.2.2 สมดุลดูดซับของถ่านกัมมันต์ในกรณีที่ไม่ได้ผลของกรดฟอสฟอริก

นอกจากการเตรียมตัวดูดซับด้วยการเติมสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วผู้ทำการทดลองได้ศึกษาผลของตัวดูดซับอีกสองกรณีคือ ตัวดูดซับเปียก(ตัวดูดซับที่ถูกเติมน้ำเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์) และ ตัวดูดซับแห้ง(ตัวดูดซับที่ไม่ได้ผ่านการเติมสารใดๆเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์)



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลกับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับแห้ง และตัวดูดซับเปียก

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 2 ประเภทคือตัวดูดซับแห้ง และตัวดูดซับเปียก ที่อัตราส่วนระหว่างตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1 : 30 จากความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับเท่ากับร้อยละ 4.300 โดยมวล มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลมากในช่วงที่ 1 และหลังจากช่วงที่ 1 จนถึงช่วงที่ 6 จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่น้อยมากเช่นเดียวกับตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริก แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะกับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับแห้ง และตัวดูดซับเปียก

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงถึงผลการทดลองที่สามารถสรุปได้ว่าสมมูลดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองประเภทคือตัวดูดซับเปียก และ ตัวดูดซับแห้ง เกิดขึ้นในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากหลังจาก 1 ชั่วโมงค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับและปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะ ฉะนั้นการหาค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุล และปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้สามารถหาได้จากการเฉลี่ยค่าทั้งสองตั้งแต่ช่วงที่ 1 ถึง ช่วงที่ 6 และจากการคำนวณสามารถหาค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลเท่ากับร้อยละ 1.1008 โดยมวล และค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ เท่ากับ 0.7939 กรัมต่อกรัมตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับแห้ง ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลเท่ากับร้อยละ

0.2753 โดยมวล และ ค่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ เท่ากับ 1.0011 กรัมต่อกรัมตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับเปียก

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก และตัวดูดซับแห้ง พบว่า ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่สมดุลของตัวดูดซับชนิดเปียกมีค่าสูงกว่าตัวดูดซับแห้ง ส่วนความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลของตัวดูดซับเปียกจะมีค่าต่ำกว่าตัวดูดซับแห้ง ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจาก น้ำสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทานอลได้ พันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่แข็งแรงจึงสามารถ ดึงเมทานอลมาเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำได้ ตัวดูดซับเปียกซึ่งเป็นการเติมโมเลกุลของน้ำเข้าสู่รูพรุน จึงมีความสามารถในการดูดซับเมทานอลได้ดีกว่าตัวดูดซับแห้ง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับแห้ง ตัวดูดซับเปียก และตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล พบว่าตัวดูดซับเปียกมีปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่สมดุลมากที่สุด และมีความเข้มข้นเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับต่ำที่สุด

จากการทดลองเมื่อพิจารณาปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับจากการคำนวณเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวดูดซับที่เพิ่มจากการทดลองพบว่าปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าน้ำหนักตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุจาก ในขั้นตอนการแยกตัวดูดซับออกจากไบโอดีเซลหลังการดูดซับเนื่องจากตัวดูดซับมีขนาดเล็กและใช้จำนวนมาก ใช้เวลาในการแยกทั้งสองส่วนออกจากกันนาน จึงทำให้เมทานอลเกิดการระเหยทำให้ปริมาณเมทานอลที่คงเหลือในไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากเมทานอลมีจุดเดือดที่ต่ำและสถานะของการทดลองอากาศภายในขวดรูปชมพู่มีความหนาแน่นของเมทานอลต่ำ ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อหาปริมาณเมทานอลที่ระเหยในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับพบว่าในขั้นตอนการทดลองเมทานอลสามารถระเหยภายในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิตรในขณะที่เปิดจุกยางเท่ากับ 0.1055 กรัมสำหรับไบโอดีเซล 15 กรัม

4.2.3 เส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

การสร้างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สภาวะสมดุลและปริมาณสมดุลดูดซับ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเปลี่ยนไป จากการทดลองได้กำหนดอัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเป็น 1:30 1:50 1:70 และ 1:100 โดยชนิดของตัวดูดซับที่ศึกษาคือ ตัวดูดซับแห้ง ตัวดูดซับเปียก และถ่านกัมมันต์ที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมวล เมื่อพิจารณาเส้นสมดุลดูดซับ (equilibrium curve) ของตัวดูดซับทุก

ชนิดพบว่า ตัวดูดซับแต่ละชนิดมีแบบจำลองสมมูลดูดซับที่ต่างกันจะพิจารณาจากค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับกับปริมาณสมมูลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง ($\sum q_e^2$) และค่าความเบี่ยงเบนตามสมการทางคณิตศาสตร์ (R^2) แสดงค่าต่างดังตารางนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับกับปริมาณสมมูลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสองและค่าความเบี่ยงเบนตามสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองต่างๆ

ชนิดตัวดูดซับ	แบบจำลองสมมูลดูดซับ					
	เฮนรี		แลงมัวร์		ฟรุนดริช	
	R^2	$\sum q_e^2$	R^2	$\sum q_e^2$	R^2	$\sum q_e^2$
แบบแห้ง	0.7903	0.5706	0.7935	0.3816	0.7899	0.2449
แบบเปียก	0.2928	0.3839	0.9700	0.1777	0.9606	0.1038
เติมกรดร้อยละ 5 โดยมวล	0.7516	0.1186	0.0341	0.1073	0.0584	0.1012
เติมกรดร้อยละ 10 โดยมวล	0.8094	0.0620	0.7935	0.0339	0.7062	0.0339
เติมกรดร้อยละ 20 โดยมวล	0.6028	0.0143	0.1060	0.1030	0.0451	0.0146

เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณกับแบบจำลองสมมูลดูดซับกับปริมาณสมมูลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสองที่มีค่าต่ำที่สุดและค่าความเบี่ยงเบนตามสมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองต่างๆที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดจะมีความเหมาะสมต่อการใช้แบบจำลองสมมูลดูดซับชนิดๆนั้นเป็นตัวแทนเส้นสมมูลดูดซับของตัวดูดซับจากการทดลองซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองสมมูลดูดซับที่เหมาะสมต่อตัวดูดซับได้ดังตารางที่ 4.4 ไม่พิจารณาแบบจำลองของแลงมัวร์เนื่องจากสมการให้ค่าไม่เป็นจริง

ตารางที่ 4.2 แสดงแบบจำลองสมมูลดูดซับที่ใช้เป็นตัวแทนผลที่ได้จากการทดลอง

ชนิดตัวดูดซับ	แบบจำลองสมมูลดูดซับที่ใช้เป็นตัวแทน
ตัวดูดซับแบบแห้ง	แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช
ตัวดูดซับแบบเปียก	แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช
ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 5 โดยมวล	แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช
ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 10 โดยมวล	แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช
ตั้งดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 20 โดยมวล	แบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี่

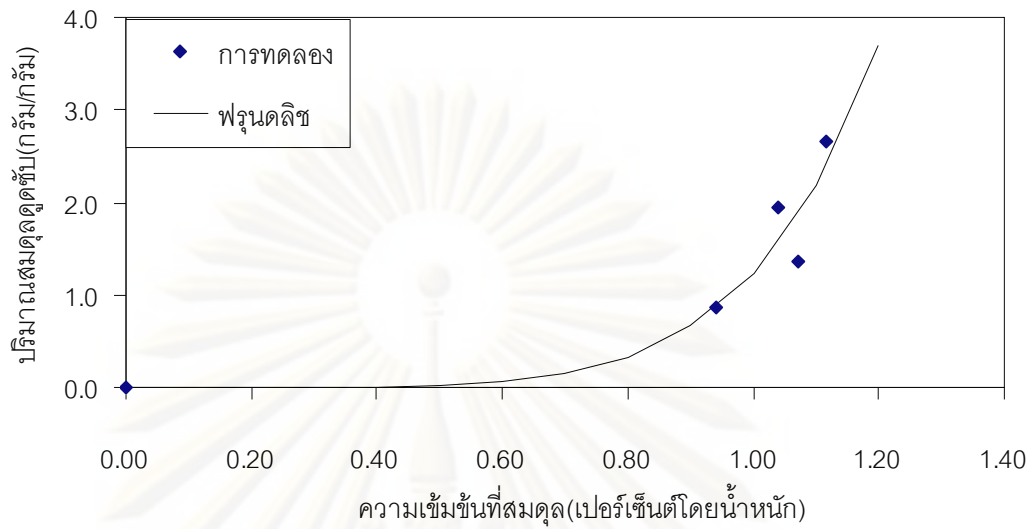
เมื่อนำค่าคงที่ของแบบจำลองสมมูลดูดซับแต่ละชนิดซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวดูดซับและเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนด ลักษณะเฉพาะของระบบดูดซับ มาเขียนเป็นสมการของเส้นสมมูลดูดซับได้สมการต่างๆดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงสมการของเส้นสมมูลดูดซับตามแบบจำลองสมมูลดูดซับ

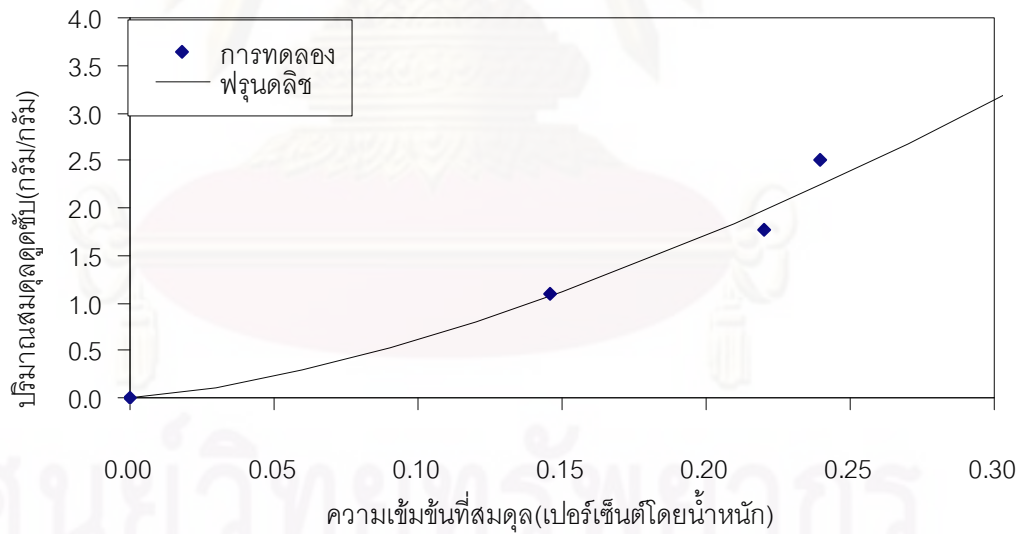
ชนิดตัวดูดซับ	แบบจำลองสมมูลดูดซับที่ใช้เป็นตัวแทน
ตัวดูดซับแบบแห้ง	$q = 0.6215C(t)^{3.1019}$
ตัวดูดซับแบบเปียก	$q = 8.5737(t)^{1.6697}$
ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 5 โดยมวล	$q = 0.4989C(t)^{0.3223}$
ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 10 โดยมวล	$q = 0.0227(t)^{3.1768}$
ตั้งดูดซับที่ถูกเติมกรดร้อยละ 20 โดยมวล	$q = 0.0398 C(t)$

และเมื่อนำสมการมาสร้างกราฟแสดงปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ความเข้มข้นของเมทานอลต่างๆกับเมทานอลที่คงเหลือในไบโอดีเซลจากการทดลองแสดงดังกราฟด้านล่าง

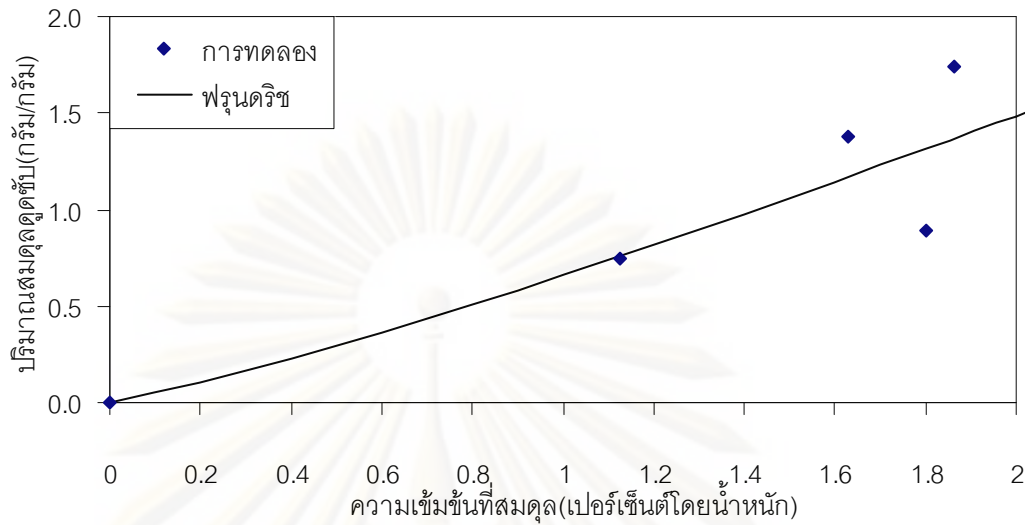
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



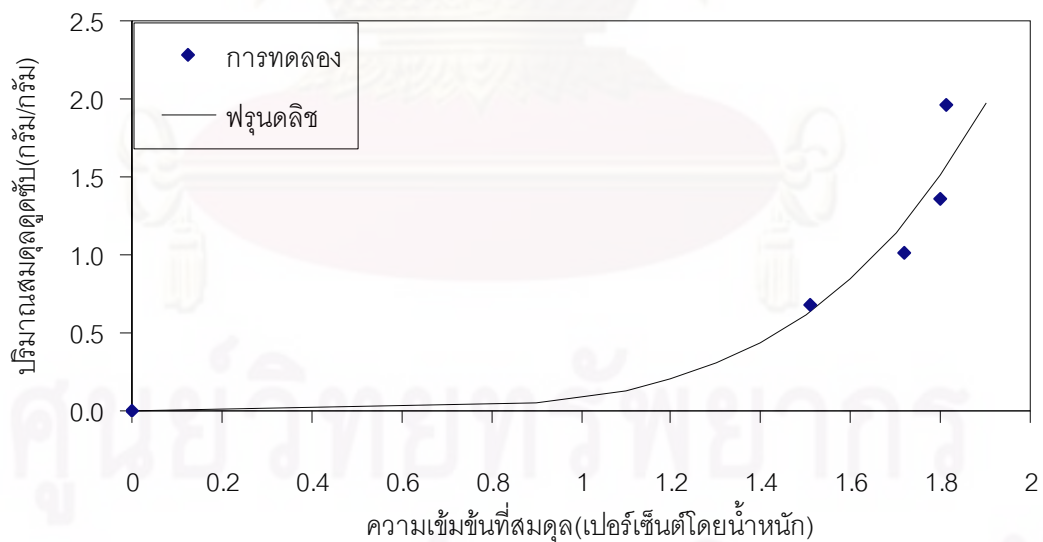
รูปที่ 4.8 แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับชนิดแห้งตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนดริช



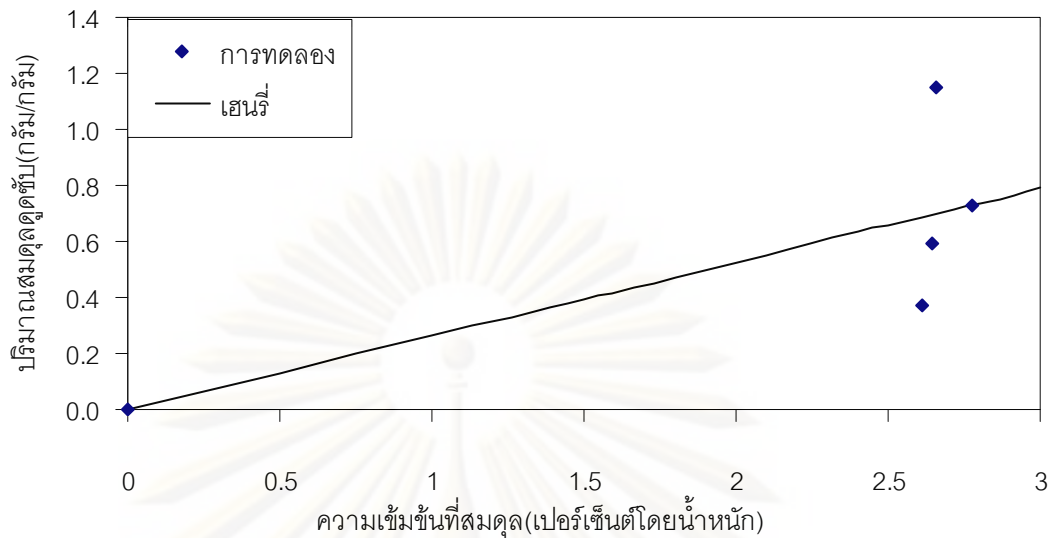
รูปที่ 4.9 แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับชนิดเปียกตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนดริช



รูปที่ 4.10 แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล ตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช

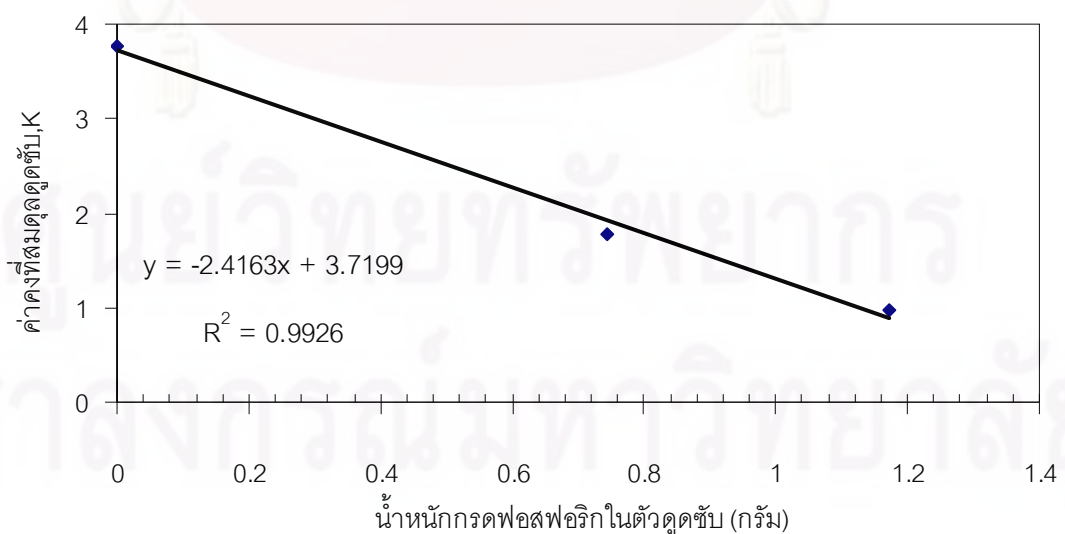


รูปที่ 4.11 แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล ตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช



รูปที่ 4.12 แสดงเส้นสมดุลดูดซับของตัวดูดซับที่เติมกรดเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล ตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี่

และเมื่อพิจารณาค่าคงที่สมดุลดูดซับสำหรับการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลกับปริมาณของกรดฟอสฟอริกที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้พบว่าเมื่อตัวดูดซับมีปริมาณของกรดฟอสฟอริกมากขึ้นส่งผลให้ค่าคงที่สมดุลดูดซับลดต่ำลง อาจมีสาเหตุมาจากการขึ้นตอนการเตรียมตัวดูดซับเป็นการระเหยน้ำที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับ ทำให้ปริมาณน้ำบนตัวดูดซับมีปริมาณลดลง แต่น้ำสามารถดึงดูดเมทานอลได้ดีกว่ากรดฟอสฟอริกเนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมทานอลได้



รูปที่ 4.13 ผลของกรดฟอสฟอริกต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับ

4.2.4 เปรียบเทียบวิธีการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล

จะพิจารณาในกรณีของตัวดูดซับเปียก โดยอัตราส่วนของตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 1:30 เนื่องจากตัวดูดซับเปียกเป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลได้มากที่สุดจึงนำมาพิจารณาเทียบกับวิธีการต้มไล่โดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM (ภาคผนวก ข แสดงวิธีการคำนวณ) พบว่า

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล

	วิธีการดูดซับ	ASTM D5556-95
ระยะเวลาในการวิเคราะห์	1 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
ปริมาณพลังงาน	ต่ำ	สูง
ปริมาณเมทานอลที่กำจัดได้	4.0073	3.9440
ค่าใช้จ่ายของกระบวนการ (บาทต่อ 1 กิโลกรัม)	3.33	1,242

เมื่อพิจารณาเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นโดยการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการระเหยเมทานอลตามทฤษฎีคือคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของไบโอดีเซลจาก 30 องศาเซลเซียสจนถึง 64.7 องศาเซลเซียสและคำนวณพลังงานความร้อนที่เมทานอลใช้ในการระเหย แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข และจากการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซลข้อกำหนดดังนี้

- ไบโอดีเซลที่ทำการทดลองผลิตจากน้ำมันปาล์มซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้
 - กรดปาล์มติกร้อยละ 44.0 โดยมวล
 - กรดโอเลอิกร้อยละ 38.0 โดยมวล
 - กรดไลโนเลอิกร้อยละ 10.0 โดยมวล
 - กรดสเตียริกร้อยละ 3.54 โดยมวล

โดยองค์ประกอบด้านบนเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม

- ไบโอดีเซลที่นำมาทดลองมีเมทานอลเป็นสารปนเปื้อนอย่างเดียว โดยกำหนดให้ปริมาณการปนเปื้อนเท่ากับไบโอดีเซลที่นำมาทดลองจริงเท่ากับร้อยละ 4.46 โดยมวล
- พลังงานความร้อนที่ให้ไม่มีการสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม

- พิจารณาในกรณีที่สามารถกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซลให้เป็นไปตามมาตรฐานคือ เหลือเมทานอลในไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 0.2 โดยมวล
- ไม่พิจารณาเรื่องระยะเวลาในการให้ความร้อน
- พิจารณาในกรณีการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม

จากการคำนวณพบว่า พลังงานที่ใช้ในการระเหยเมทานอลออกจากไบโอดีเซลเท่ากับ 47,114.6 kJ ต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม และจากการคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้จากเชื้อเพลิง ชนิดต่างๆ ให้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการกำจัดเมทานอลในไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม

ชนิดเชื้อเพลิง	จำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้(kg)	ราคา(บาทต่อกิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
NGV	1.311	10.99	14.40
LPG	0.967	8.50	8.22
น้ำมันเตา	1.078	16.60	17.89

4.2.5 เปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณเมทานอลที่คงเหลือในไบโอดีเซล

วิธีการตรวจสอบเมทานอลในไบโอดีเซลที่อุตสาหกรรมนิยมคือ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์เข้ามาช่วย เช่น HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) GC(Gas Chromatography) FID(Flame Ionization Detector) เป็นวิธีที่มีคุณภาพสูง เป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรมและสามารถตรวจสอบปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลที่มีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 0.2 โดยมวล แต่มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง(ภาคผนวก จ แสดงสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการตรวจสอบเมทานอล) แต่การตรวจวัดปริมาณเมทานอลจากการใช้เม็ทซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับเป็นวิธีที่มีราคาต่ำและสามารถตรวจวัดปริมาณเมทานอลที่อยู่ในไบโอดีเซลได้ในปริมาณที่มากกว่า ร้อยละ 0.2 โดยมวล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของกรดฟอสฟอริกในถ่านกัมมันต์พาณิชย์จากกะลามะพร้าว ต่อการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้วิธีการดูดซับเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่อันตราย ใช้ระยะเวลาสั้น สะดวก และ ประหยัดค่าใช้จ่าย เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมไบโอดีเซล ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดที่ความเข้มข้น 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์พบว่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมีผลมีค่ามากที่สุด และมีความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับต่ำที่สุด เป็นผลจากความเป็นขั้วของกรดฟอสฟอริก
2. จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับแห้ง ตัวดูดซับเปียก พบว่าตัวดูดซับเปียกมีปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะสูงสุด และมีความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับต่ำที่สุด เป็นผลมาจากความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนของน้ำกับเมทานอล
3. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลของตัวดูดซับทุกชนิดพบว่าตัวดูดซับเปียกมีปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะสูงสุดและมีความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลหลังการดูดซับต่ำที่สุด
4. แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดริชใช้เป็นตัวแทนระบบดูดซับของตัวดูดซับแห้ง ตัวดูดซับเปียก ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 โดยมีผลของงานวิจัยนี้ได้ แบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรีใช้เป็นตัวแทนระบบดูดซับของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมีผล
5. เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่สมมูลดูดซับในระบบดูดซับของ ตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 20 โดยมีผล เมื่อความเข้มข้นของกรดสูงขึ้นค่าคงที่สมมูลดูดซับมีค่าต่ำลง
6. จากการประเมินค่าใช้จ่ายวิธีการดูดซับเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานในการให้ความร้อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หาวิธีการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลหลังดูดซับ
2. ศึกษากระบวนการคายกลับของเมทานอลในตัวดูดซับเพื่อเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต
3. เปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีมาตรฐานที่ใช้กันในอุตสาหกรรมในกรณีที่สามารถลดปริมาณเมทานอลในเป็นไปตามมาตรฐาน
4. ตรวจสอบปริมาณเมทานอลในตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้จริง



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. มาตรฐานไบโอดีเซล[Online]. แหล่งที่มา:
http://www.acaser.eng.psu.ac.th/plam/Index_033.html[2009, November 8].
- [2] Berrios, M.and Skelton, R.L. 2008. Comparison of purification methods for biodiesel.
Chemical Engineering Journal 144: 459-465.
- [3] Collaborative Biodiesel Tutorial.Bubblewashing Biodiesel and emulsion [online].
 แหล่งที่มา: <http://www.biodieselcommunity.org/bubblewashingbiodiesel>
 [2010, March 9].
- [4] ชวริน โปยมรัตน์, ธีรวัฒน์ อุตตะโมท และ จันทพร ผลากรกุล. กรกฎาคม-กันยายน 2549.
การประยุกต์ใช้หลักการดูดซับในการออกแบบsalt filter สำหรับกำจัดน้ำที่แขวนลอยใน
 น้ำมันดีเซล. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 : 7-13.
- [5] ชวริน โปยมรัตน์. 2550.การแยกเอทานอลจากสารผสมเอทานอล-น้ำโดยใช้ตัวดูดซับเชิง
พานิชย์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,ภาควิชา
 วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] เดชา ฉัตรศิริเวช. 2552 . กระบวนการดูดซับ. 1,000 เล่ม . พิมพ์ครั้งที่ 1. เอกสารประกอบการ
 เรียนการสอนวิชาการกระบวนการดูดซับ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สำนักพิมพ์แห่ง
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] PradThaNa, P. adsorption-process [online]. แหล่งที่มา:
<http://pradthana.wordpress.com/adsorption-process>[2010, February 4].
- [8] Boonchai,T . [Online]. แหล่งที่มา:
http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc[2010, March 9].
- [9] AQ Team . Activated Carbon[online]. แหล่งที่มา:
<http://www.ginkosea.com/activated carbon>[2010, March 31].
- [10] Thanakom, S. gigs_products_silica_gel[online]. แหล่งที่มา:
http://www.powerdry.co.th/gigggs_products_silica_gel[2010, March 31].
- [11] Seader, J.D.and Henly E.J. 2002. Separation Process Principles. Chapter 15,
 pages 559- 562, second edition, 2002.
- [12] He, B.B., Thompson, J.C. and Van Gerpen, J.H. 2007. Moisture Absorption in
 Biodiesel and Its Petro-Diesel Blends. Journal of Applied Engineering in
 Agriculture Vol. 23(1) : 71-76.

- [13] Wang, Y., Wang, X., Liu, Y., Ou, S., Tan, Y. and Tang, S. 2009. Refining of Biodiesel by ceramic membrane separation. *Fuel Process Technology* 90 : 422-427.
- [14] Wattanakit, K. 2002. Preparation of Carbon Adsorbent from Coconut Shell by Boiling in ZnCl₂ Solution for Adsorption of Ethanol in Water. Master degree Chemical Engineering Engineer Chulalongkorn University.
- [15] Patnukao, P. and Pavasant, P. 2008. Utilization of Eucalyptus Bark Waste for Recovery of Copper and Lead. *Journal of Bioresource Technology* 99: 8540-8543.
- [16] Lochananon, W. 1999. Effects of Carbon Adsorbent Adsorbent Preparation from Groundnut Shell by Phosphoric Acid on Adsorption of dilute Benzene Vapor. Master degree Chemical Engineering Engineer Chulalongkorn University.
- [17] Prahas, D., Kartika, Y., Indraswati, N. and Ismadji, S. 2008. Activated Carbon from Jackfruit Peel Waste by H₃PO₄ chemical Activaton:Pore Structure and Surface Chemistry Characterizatoin. *Journal of Chemical Engineering* 140: 32-43.
- [18] ASTM D 5556-95 Standard test method for determination of the moisture and other volatile matter contained in fats and oils used in fat liquors and softening compounds, 2006.
- [19] พรสทธิตย์ ยงยีน,บริษัท ไทยซุุมิ[online]. แหล่งที่มา:
<http://www.charcoal.sumcenter.com/charcoalthai/char coal>[2010, 9 April].
- [20] บริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน) [online]. แหล่งที่มา:
<http://pttweb2.pttplc.com/webngv>[2010, 9 April].
- [21] Wales, J.; and Sanger, L. phosphoric acid[online].
แหล่งที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphori acid>[2010, April 10].
- [22] Wales, J.; and Sanger, L. methanol[Online].
แหล่งที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/methanol>[2010, April 10].
- [23] Wales, J.; and Sanger, L. silica gel[Online].
แหล่งที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/silica gel>[2010, April 10].
- [24] Wales, J.; and Sanger, L. plamitic acid[Online].
แหล่งที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/plamitic acid>[2010, April 15].
- [25] Wales, J.; and Sanger, L. stearic acid[Online].
แหล่งที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/stearic acid>[2010, April 15].

- [26] Wales, J.; and Sanger, L. oleic acid[Online].
แหล่งที่มา:[http://en.wikipedia.org/wiki/oleic acid](http://en.wikipedia.org/wiki/oleic_acid)[2010, April 15].
- [27] Wales, J.; and Sanger, L. linoleic acid[Online].
แหล่งที่มา:[http://en.wikipedia.org/wiki/linoleic acid](http://en.wikipedia.org/wiki/linoleic_acid)[2010, April 15].
- [28] Wales, J.; and Sanger, L. capillary action [Online].
แหล่งที่มา:[http://en.wikipedia.org/wiki/capillary action](http://en.wikipedia.org/wiki/capillary_action)[2010, April 16].
- [29] ASTM D 7059-04 Standard test method for determination of methanol in crude oils by multidirectional gas chromatography, 2006.
- [30] Nasuto, R. 2000. The Adsorption of Methanol Vapors on Silica Gel Si-100 and Its Surface Containing Different Concentrations of Chemically Bonded Fluoride Ions. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol.62 : 581-585.
- [31] Seymour, S.J., Cruz, M.I. and Friplat, J.J. 1973. The Methanol-Silica Gel System. V. Pulse Deuteron Magnetic Resonance Measurements in the Adsorbed Phase. The Journal of Physical Chemistry. Vol.77, No. 24.
- [32] Salvador, P. and Friplat, J.J. 1975. Molecular Diffusion and Proton Exchange in Methanol Adsorbed by a Sodium and a Hydrogen Y Zeolite. The Journal of Physical Chemistry. Vol. 79, No. 17.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

- ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ (g_1)

$$g_1 = \frac{C_1 \times M_1}{100}$$

- ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ (g_o)

$$g_o = \frac{C_o \times M_o}{100}$$

- ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (g_{MeOH})

$$g_{MeOH} = g_o - g_1$$

โดย g_{MeOH} คือ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (กรัม)

g_o คือ ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ (กรัม)

g_1 คือ ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ (กรัม)

C_o คือ ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ
(ร้อยละโดยมวล)

C_1 คือ ความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับ
(ร้อยละโดยมวล)

M_o คือ น้ำหนักของไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ (กรัม)

M_1 คือ น้ำหนักของไบโอดีเซลหลังการดูดซับ (กรัม)

ก.2 การคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ

$$q_{MeOH} = \frac{g_{MeOH}}{W}$$

โดย q_{MeOH} คือ ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ หรือ มวลเมทานอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนัก
ถ่านกัมมันต์ (กรัม/กรัมถ่านกัมมันต์)

W คือ น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

ภาคผนวก ข

- วิธีการวิเคราะห์ความชื้นและสารระเหยในน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM (ASTM D5556-95(1995))

วัสดุและอุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิตร
2. เต้าไฟฟ้าให้ความร้อน(hot plate)
3. กระจกนาฬิกา
4. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ชั่งใบโอดีเซล 20 กรัมใส่ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิตรที่แห้ง
2. วางกระจกนาฬิกาปิดปากปีกเกอร์และเริ่มให้ความร้อนแก่ปีกเกอร์อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 130 องศาเซลเซียส (เบอร์ 2)
3. สังเกตไอน้ำบนกระจกนาฬิกาที่เกิดขึ้น ถ้าไอน้ำบนกระจกนาฬิกาหายไปหมดจึงหยุดให้ความร้อน
4. นำใบโอดีเซลหลังให้ความร้อนใส่โถดูความชื้นจนอุณหภูมิคงที่
5. ชั่งน้ำหนักใบโอดีเซลที่ได้

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารระเหย} &= \frac{(\text{น้ำหนักใบโอดีเซลก่อน}-\text{น้ำหนักใบโอดีเซลหลัง}) \times 100}{\text{น้ำหนักใบโอดีเซลก่อน}} \\ &= \frac{(19.9976-19.2089) \times 100}{19.9976} = 3.9440 \end{aligned}$$

ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ค่าร้อยละของความชื้นและสารระเหย = 3.9440 โดยมีมวลให้ความร้อนจากเต้าไฟฟ้าใช้เวลาในการให้ความร้อน 4 ชั่วโมง

คำนวณค่าพลังงาน

พลังงานที่ใช้ในการทดลองสามารถต้มไล่ความชื้นได้ร้อยละ 3.9440 โดยมวล ในไบโอดีเซล 20 กรัม และใช้เวลาต้มนาน 4 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้ดังนี้

เตาไฟฟ้า ใช้กับไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 230 โวลต์ และใช้กระแสไฟฟ้า 4.5 แอมแปร์

$$\begin{aligned}
 \text{สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าได้โดย} \quad & \text{กำลังไฟฟ้า} = \text{กระแส} \times \text{ความต่างศักย์} \\
 & = 4.5 \times 230 \\
 & = 1035 \text{ วัตต์} = 1.035 \text{ กิโลวัตต์} \\
 \text{จำนวนยูนิต} & = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{ระยะเวลา} \\
 & = 1.035 \times 4 \\
 & = 4.140 \text{ ยูนิต}
 \end{aligned}$$

ราคาค่าไฟฟ้า 6 บาท ต่อ 1 ยูนิต

$$\begin{aligned}
 \text{ราคาค่าไฟ} & = 4.140 \times 6 \\
 & = 24.84 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการต้มไล่ความชื้นและสารระเหยในไบโอดีเซลนาน 4 ชั่วโมงตามวิธีการมาตรฐาน เท่ากับ 24.84 บาท

พิจารณาเทียบน้ำหนักไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายโดยวิธีนี้ 1,242 บาท

- วิธีการวิเคราะห์เมทานอลในไบโอดีเซลโดยวิธีการดูดซับ

การดูดซับในอัตราส่วนตัวดูดซับต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 1:30 เมื่อพิจารณาเทียบน้ำหนักไบโอดีเซล 1 กิโลกรัมเพราะฉะนั้นต้องใช้ตัวดูดซับ 33.33 กรัม จากราคาตัวดูดซับของบริษัท Carbo Kam Co.Ltd ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ขนาด 4x 8 เมช ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ราคา กิโลกรัมละ 100 บาท สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 3.33 บาท

- พิจารณาพลังงานความร้อนที่ใช้ตามทฤษฎี
ต้องการให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซล 100 กรัม โดยไบโอดีเซลที่ได้ผลิตมาจากน้ำมัน
ปาล์มโดยมีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ ข.1 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบในไบโอดีเซล

องค์ประกอบ	องค์ประกอบในไบโอดีเซล 100 กรัม			ค่าความจุความร้อน (J/mol K)
	มวลโมเลกุล	ร้อยละโดยมวล	เปอร์เซ็นต์โดยโมล	
เมทานอล	32	4.46	0.1394	82.0
กรดปาล์มิติก	256	44.00	0.1719	664.0
กรดโอเลอิก	282	38.00	0.1348	707.0
กรดไลโนเลอิก	280	10.00	0.0357	625.0
กรดสเตียริก	284	3.54	0.0125	711.0

เมื่อพิจารณาให้เมทานอลเหลือในไบโอดีเซลได้ไม่เกินตามมาตรฐาน คือเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดย(0.00625 เปอร์เซ็นต์โดยโมล)น้ำหนัก นั่นหมายความว่าถ้าพิจารณาไบโอดีเซล 100 กรัม จะมีเมทานอลได้ไม่เกิน 0.2 กรัม

พลังงานทั้งหมด = พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 30 °ซ ถึง 64.7 °ซ ของไบโอดีเซล + พลังงานในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซของเมทานอล

- พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 30 °ซ ถึง 64.7 °ซ (จุดเดือดเมทานอล)ของไบโอดีเซล

$$\Delta Q = Q_{\text{MeOH}} + Q_{\text{plamitic}} + Q_{\text{oleic}} + Q_{\text{linoleic}} + Q_{\text{stearic}}$$

$$= (m_{\text{MeOH}} C_p + m_{\text{plamitic}} C_p \Delta T + m_{\text{oleic}} C_p + m_{\text{linoleic}} C_p + m_{\text{stearic}} C_p) \Delta T$$

$$= [(0.1394 \times 82) + (0.1719 \times 664) + (0.1348 \times 707) + (0.0357 \times 625) + (0.0125 \times 711)] \times [337.7 - 303]$$

$$= 8,685.77 \text{ J}$$

$$= 8.69 \text{ kJ}$$

- พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของเมทานอล

โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของเมทานอล = 35,325.98 kJ/mol

$$\begin{aligned}\Delta Q &= mL \\ &= (0.1394 - 0.00625)\text{mol} \times 35,325.98 \text{ kJ/mol} \\ &= 4,702.77 \text{ kJ}\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการต้มไอน้ำเมทานอล = 8.686 + 4703.65 = 4711.46 kJ

เมื่อพิจารณาพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการต้มไอน้ำเมทานอลในไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม = 47,114.6 kJ

พิจารณาที่แหล่งให้พลังงานเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ต่อไบโอดีเซล 1 กิโลกรัม

ตารางที่ ข.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมทานอลออกจากไบโอดีเซล 1 กิโลกรัมโดย

ชนิดเชื้อเพลิง	พลังงาน (kJ/kg)	ราคา(บาทต่อกิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
NGV	35,947	10.99	14.40
LPG	48,734	8.50	8.22
น้ำมันเตา	43,722	16.60	17.89

ภาคผนวก ค
คุณสมบัติทางกายภาพของสาร

ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสาร

คุณสมบัติทางกายภาพ	กรดฟอสฟอริก	เมทานอล	ซิลิกาเจล
สูตรโมเลกุล	H ₃ PO ₄	CH ₃ OH (CH ₄ O)	-
มวลโมเลกุล	98.0	32.05	-
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)	1.885	0.7918	0.70-0.78 x 10 ⁶
ความหนืด (เซ็นติพอยต์)	147.0	0.59	-
จุดหลอมเหลว (°ซ)	42.35	-97.0	-
จุดเดือด (°ซ)	213	64.7	มากกว่า 190
ลักษณะโดยทั่วไป	ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	ใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว	ไม่ละลายน้ำ มีหลายชนิด

ตารางที่ ค.2 ความสามารถในการดูดความชื้นที่ 30°C ของซิลิกาเจล

ความชื้นสัมพัทธ์	ความสามารถในการดูดความชื้น
20 เปอร์เซ็นต์	มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์
50 เปอร์เซ็นต์	มากกว่า 22 เปอร์เซ็นต์
90 เปอร์เซ็นต์	มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.3 ความหมายของสีแสดงบนเม็ดซิลิกาเจล

ปริมาณความชื้นต่อความสามารถในการดูดความชื้น	การแสดงสี
20 เปอร์เซ็นต์	สีฟ้า
35 เปอร์เซ็นต์	สีม่วง
50 เปอร์เซ็นต์	สีชมพู

ภาคผนวก ง

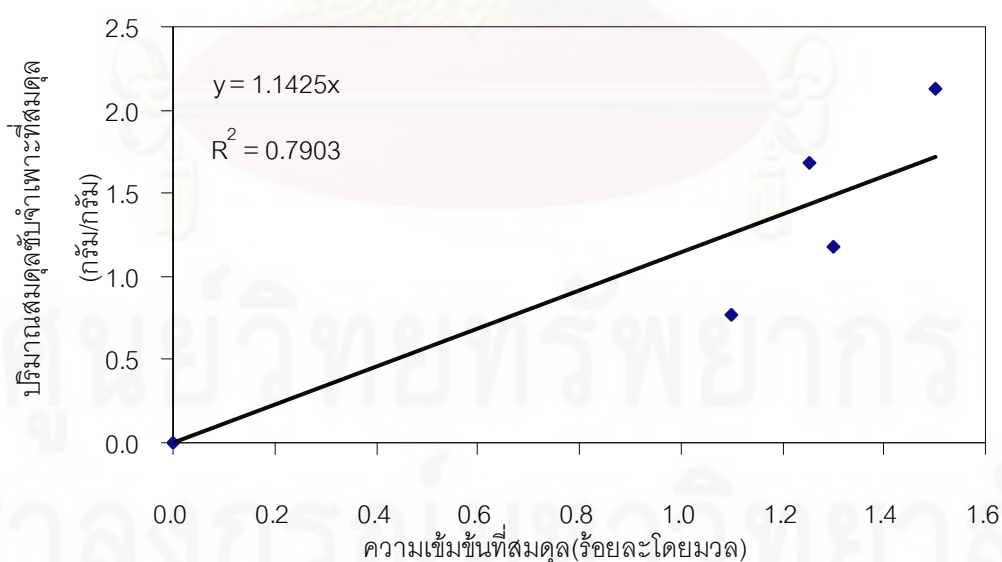
แบบจำลองสมดุลดูดซับ

ผลการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลือในไบโอดีเซลที่สมดุลกับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ กับแบบจำลองสมดุลดูดซับแบบต่างๆ พบว่าแบบจำลองดูดซับของเฮนรีสามารถใช้เป็นตัวแทนของเส้นสมดุลของระบบสมดุลดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวชนิดต่างๆ ได้ แสดงผลดังนี้

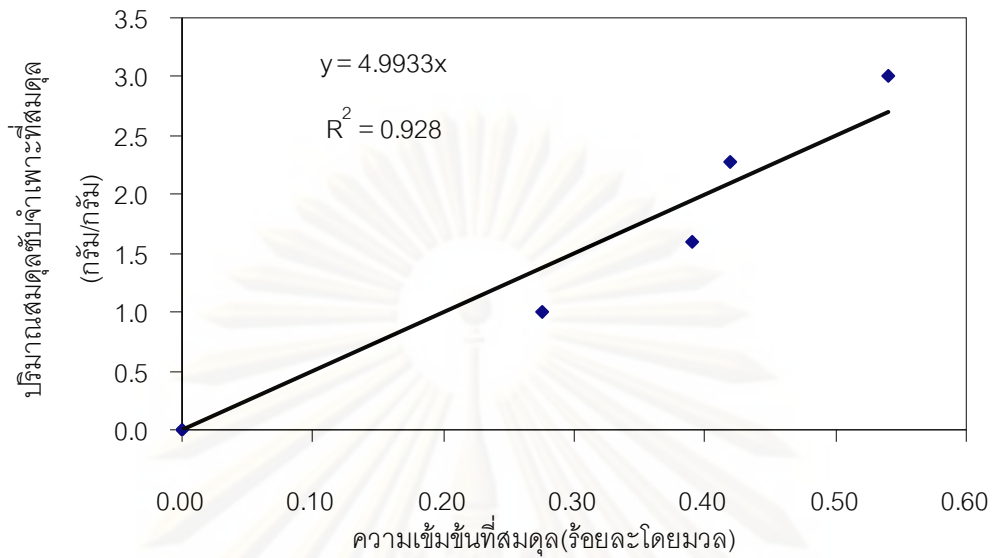
แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี

สมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี $q = K_H C$

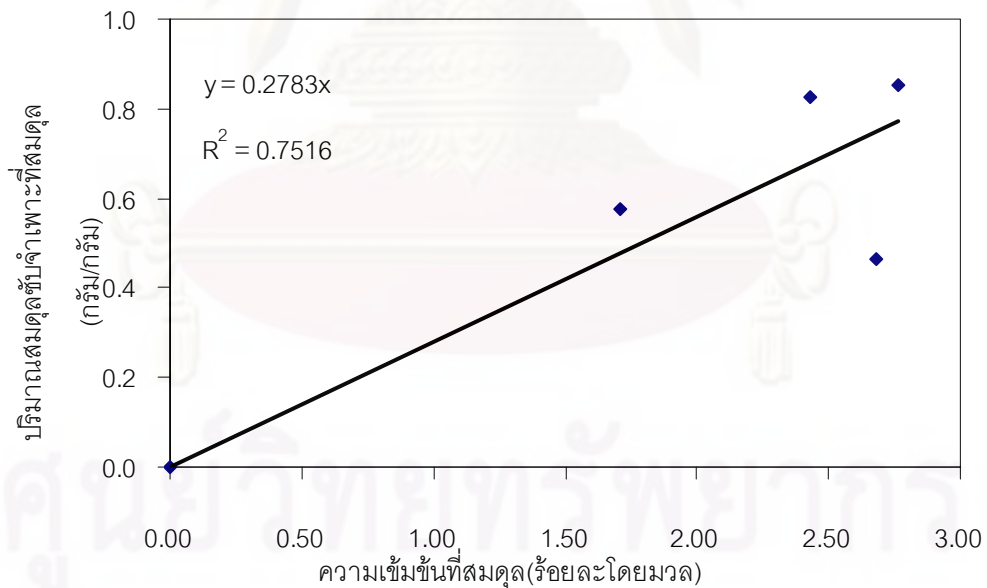
เมื่อนำค่าความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่สมดุล (C_e) กับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ (q_e) มาสร้างกราฟตามแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ดังนี้



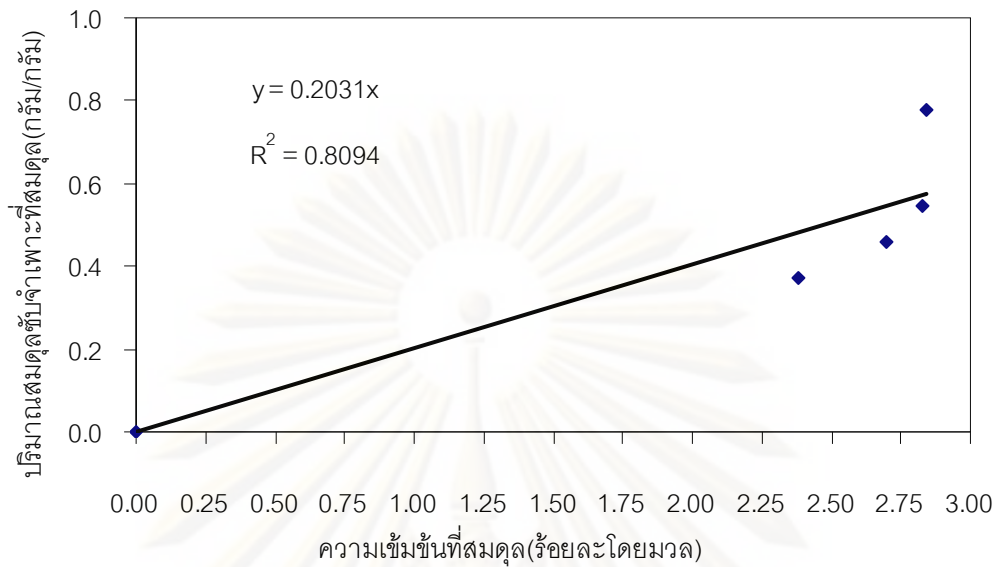
รูปที่ ง.1 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับแห้ง



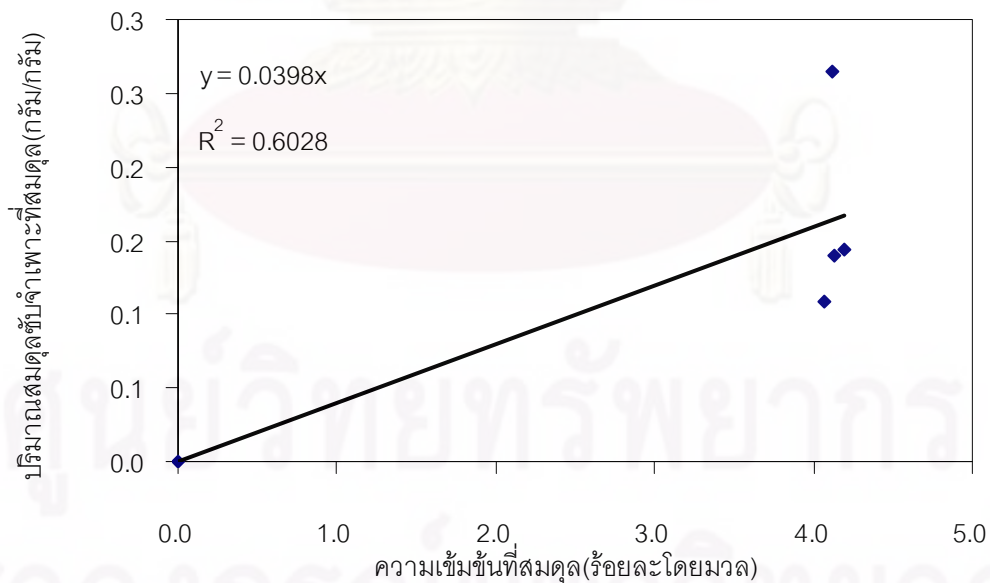
รูปที่ ง.2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไปโอดีเซลที่สมดุลและปริมาณแป้งละลายที่สมดุล ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก



รูปที่ ง.3 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไปโอดีเซลที่สมดุลและปริมาณแป้งละลายที่สมดุล ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล



รูปที่ ๓.4 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สเมคตูดและปริมาณสเมคตูดดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล



รูปที่ ๓.5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สเมคตูดและปริมาณสเมคตูดดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล

เมื่อคำนวณผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจากแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีกับปริมาณสมดุลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง แสดงผลดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีกับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้

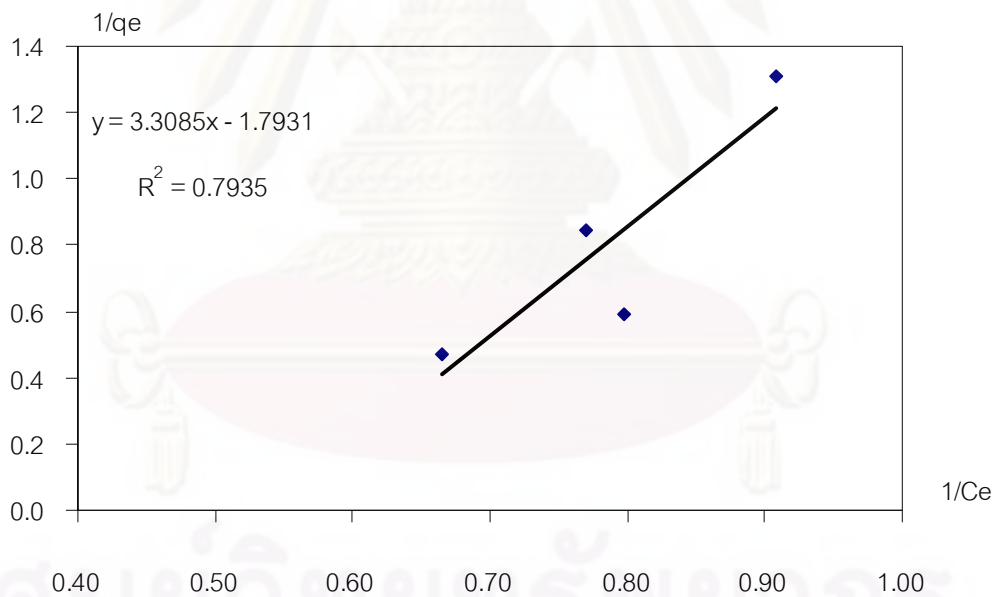
ชนิดตัวดูดซับ	ค่าคงที่สมดุลดูดซับ, K_H	$\sum \Delta q_e^2$
ถ่านกัมมันต์แห้ง	1.1425	0.5706
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 0 โดยมวล	4.9933	0.3839
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 5 โดยมวล	0.2783	0.1186
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 10 โดยมวล	0.2031	0.0620
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 20 โดยมวล	0.0398	0.0143

แบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์

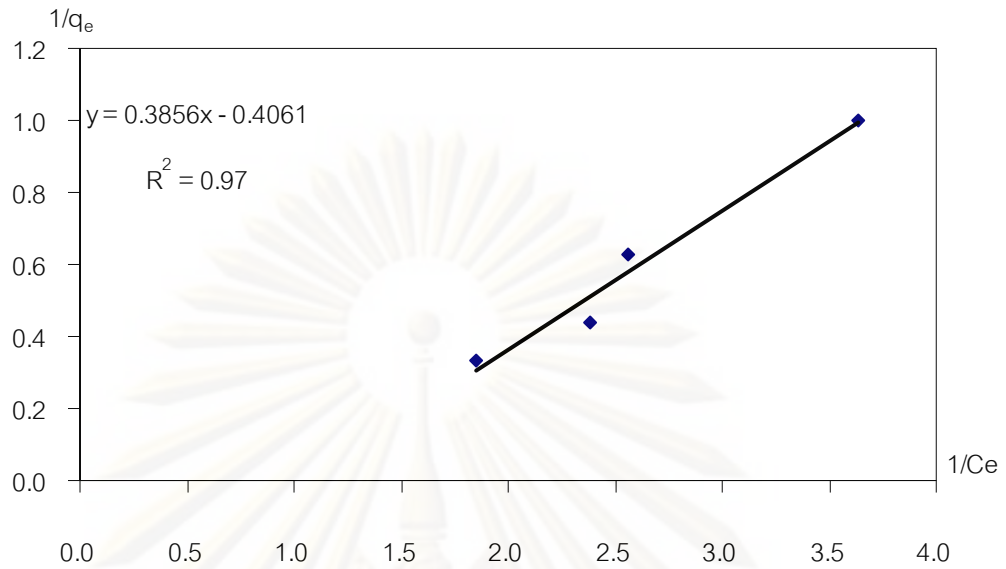
สมการแบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์
$$q = \frac{q_{mx} K_L C}{1 + K_L C}$$

เมื่อจัดรูปใหม่ให้เป็นสมการเส้นตรงจะได้ว่า
$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_{mx} K_L} \right) \frac{1}{C} + \frac{1}{q_{mx}}$$

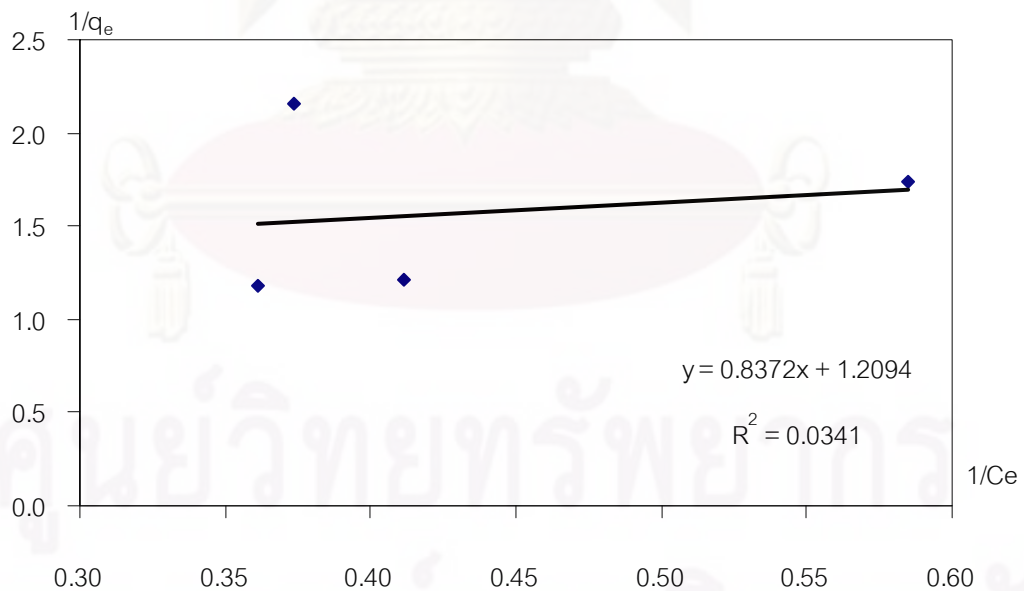
เมื่อนำส่วนกลับของค่าความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่สมมูล ($1/C_e$) กับส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ ($1/q_e$) มาสร้างกราฟตามแบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ดังนี้



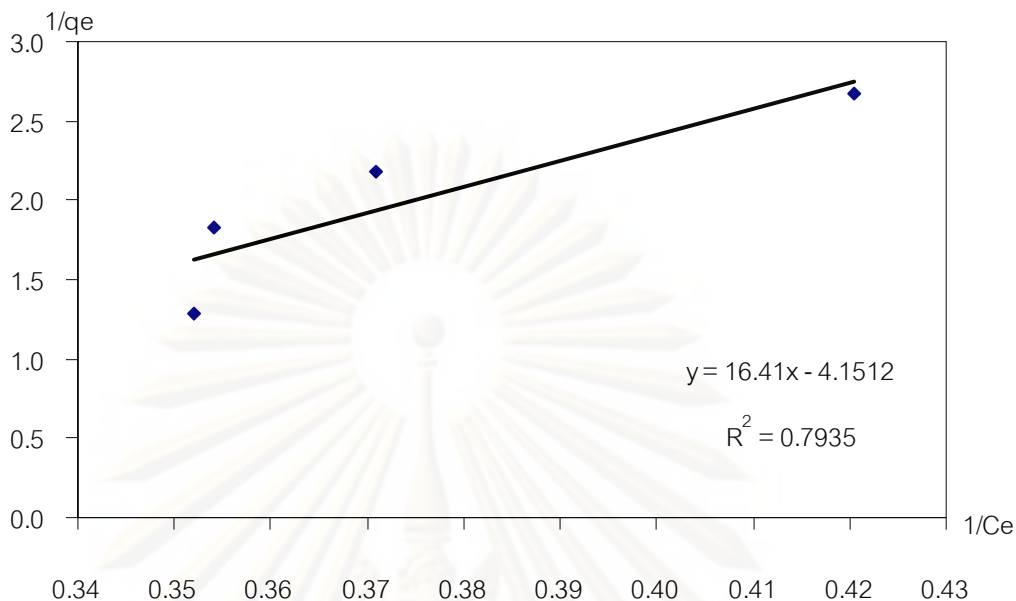
รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมมูลกับส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับแห้ง



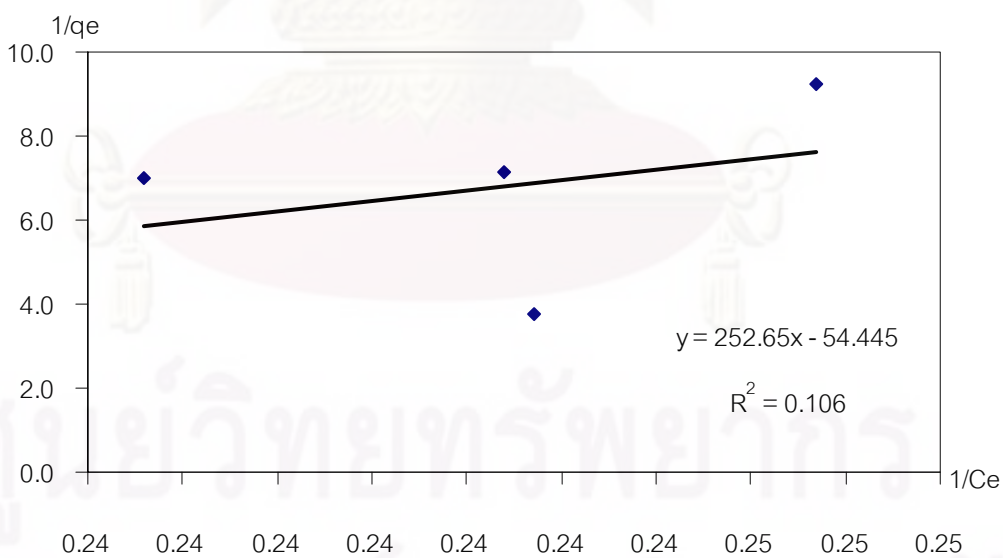
รูปที่ ๗.7 แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไปโอดีเซลสมดุค และส่วนกลับของปริมาณสมดุคดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก



รูปที่ ๗.8 แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไปโอดีเซลที่สมดุค และส่วนกลับของปริมาณสมดุคดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล



รูปที่ ง.9 แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและส่วนกลับของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล



รูปที่ ง.10 แสดงความสัมพันธ์ส่วนกลับของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุลและส่วนกลับของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล

เมื่อคำนวณผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจากแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์กับปริมาณสมดุลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง แสดงผลดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.2 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์กับปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้

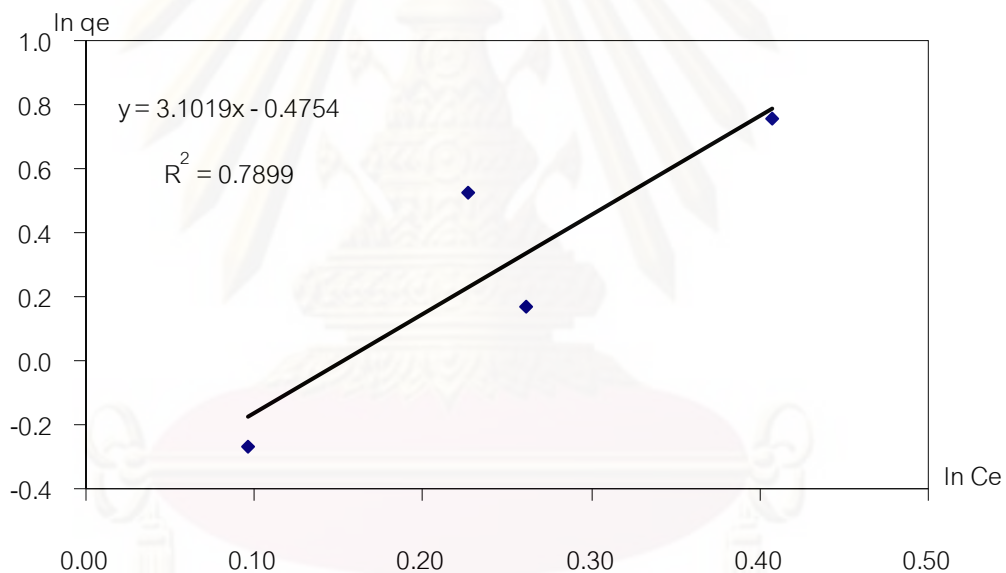
ชนิดตัวดูดซับ	ค่าคงที่สมดุลดูดซับ, K_L	ปริมาณสมดุลดูดซับสูงสุด, q_{mx}	$\sum \Delta q_e^2$
ถ่านกัมมันต์แห้ง	-0.5420	-0.5577	0.3816
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 0 โดยมวล	-1.0532	-2.4624	0.1777
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 5 โดยมวล	1.4446	0.8269	0.1073
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 10 โดยมวล	-0.2530	-0.2409	0.0339
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 20 โดยมวล	1.1703	0.0184	0.1030

แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช

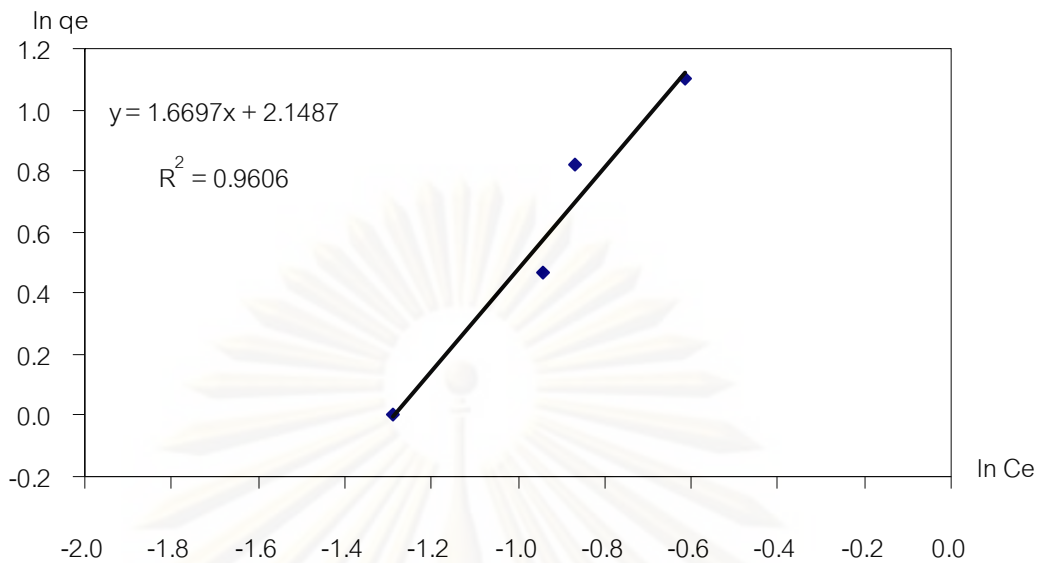
สมการแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช $q = K_F C^n$

เมื่อจัดรูปใหม่ให้เป็นสมการเส้นตรงจะได้ว่า $\ln q = n \ln C + \ln K_F$

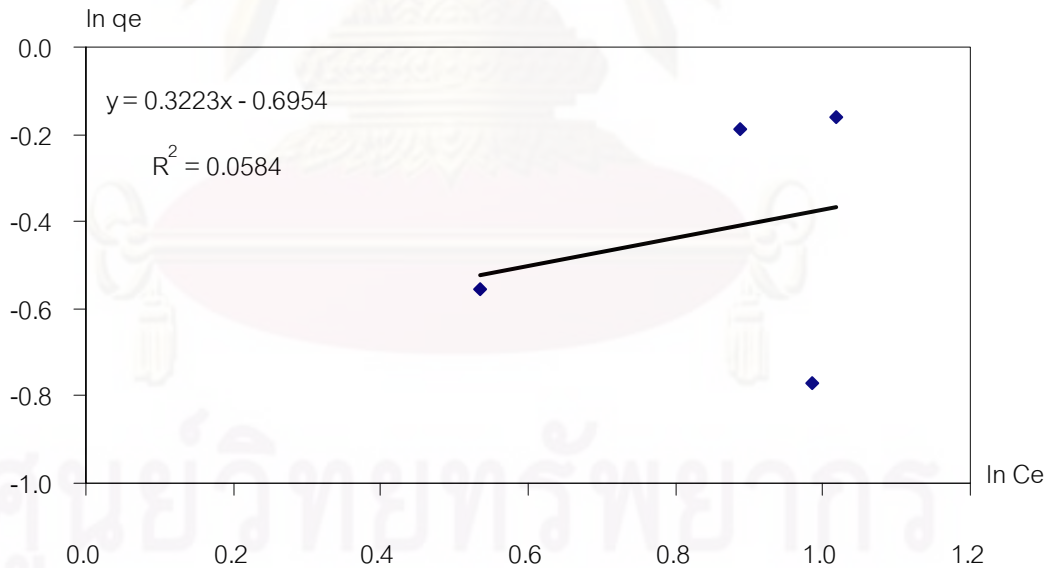
เมื่อนำค่าความสัมพันธ์ของค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลหลังการดูดซับที่สมดุล ($\ln C$) กับค่าลอการิทึมของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ความเข้มข้นเดียวกันนี้ ($\ln q$) นี้มาสร้างกราฟตามแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงของตัวดูดซับชนิดต่างๆดังนี้



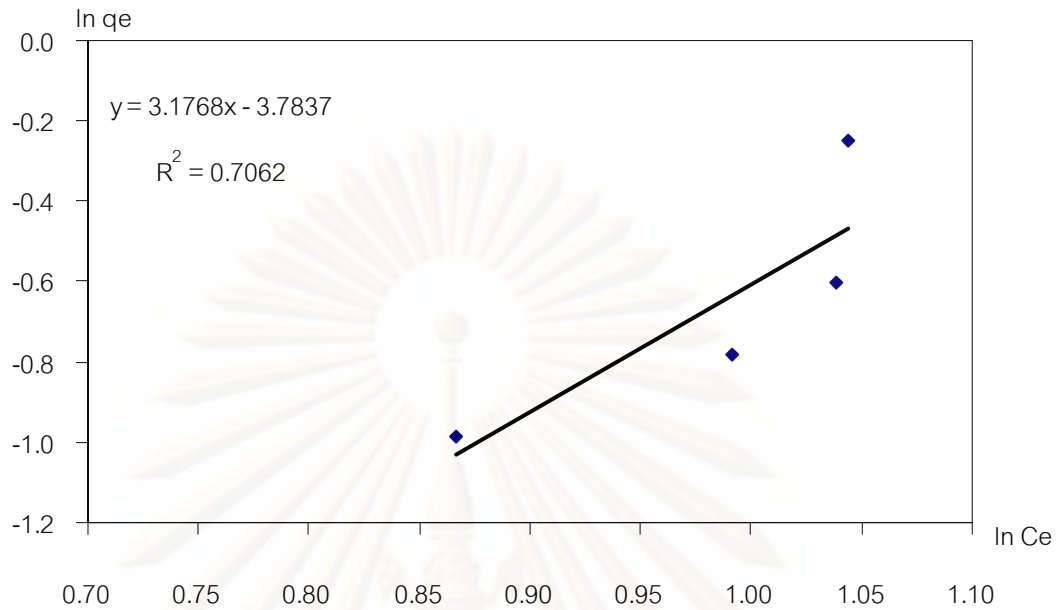
รูปที่ ง.11 แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซล ที่สมดุล และค่าลอการิทึมของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับแห้ง



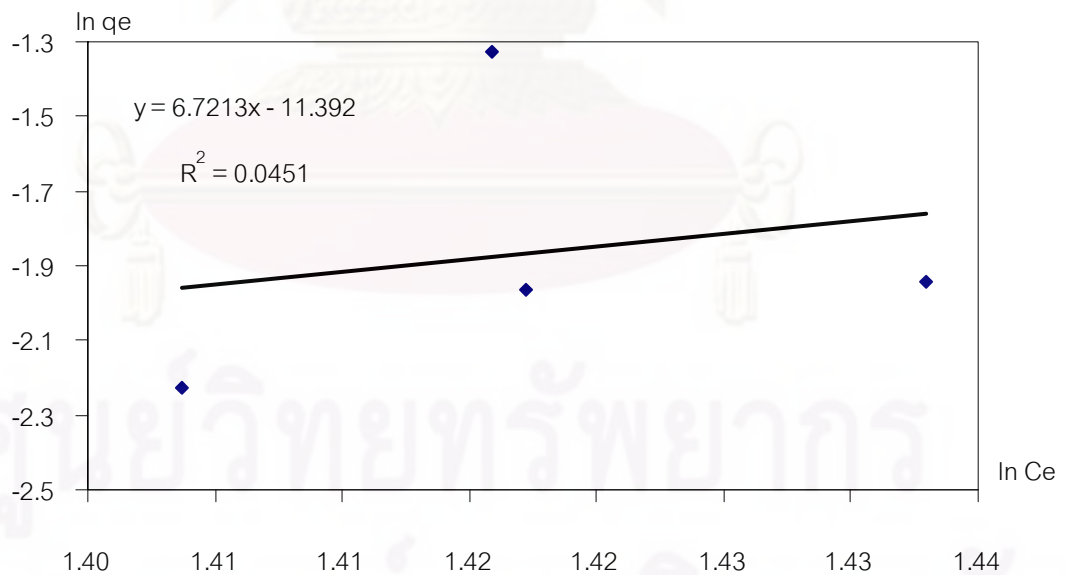
รูปที่ ง.12 แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุล และค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับเปียก



รูปที่ ง.13 แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุล และค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล



รูปที่ ง.14 แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุล และค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล



รูปที่ ง.15 แสดงความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของเมทานอลในไบโอดีเซลที่สมดุล และค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ณ ความเข้มข้นเดียวกันนี้ของตัวดูดซับที่ถูกเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล

เมื่อคำนวณผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชกับปริมาณสมมูลดูดซับที่ทดสอบได้ยกกำลังสอง แสดงผลดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.3 แสดง ผลการเปรียบเทียบปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะจากแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชกับปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ทดสอบได้

ชนิดตัวดูดซับ	ค่าคงที่สมมูลดูดซับ, K_F	ดัชนีกำลัง, n	$\sum \Delta q_e^2$
ถ่านกัมมันต์แห้ง	0.6215	3.1019	0.2449
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 0 โดยมวล	8.5737	1.6697	0.1038
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 5 โดยมวล	0.4989	0.3223	0.1012
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 10 โดยมวล	0.0227	3.1768	0.0339
ถ่านกัมมันต์เปียกความเข้มข้นกรดร้อยละ 20 โดยมวล	1.13×10^{-5}	6.7213	0.0146

ภาคผนวก จ

จ.1 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเมทานอลในไบโอดีเซล

ในอุตสาหกรรมการตรวจหาปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนจะใช้การตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยสภาวะของเครื่องมือแสดงดังตารางที่ จ.1

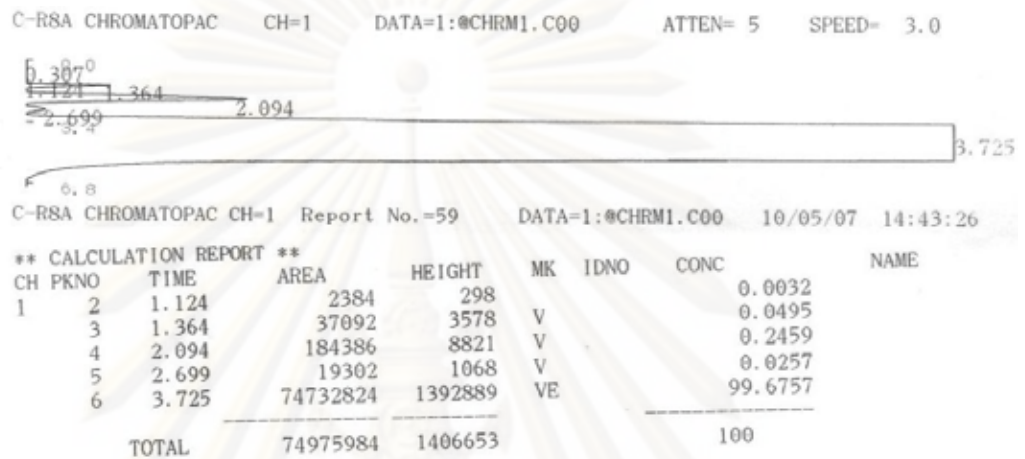
ตารางที่ จ.1 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัดเมทานอลในไบโอดีเซล

Gas Chromatograph	PerkinElmer Clarus 680 GC
Oven Temperature	125 °C for 1 minute, then 25 °C/min to 250 °C
Injector	Programmable Split/Splitless (PSS)
Injector Temperature	125 °C for 3.3 minutes, then 200 °C/min to 400 °C and hold until the end of the run
Carrier Gas	Nitrogen
Initial Injector Pressure Setpoint	2 psig (see text)
Initial Injector Split Flow Rate	100 mL/min (see text)
Detector	Flame Ionization (FID)
Detector Temperature	325 °C
Detector Combustion Gases	Air: 450 mL/min, Hydrogen: 45 mL/min
Detector Range	x1
Detector Attenuation	x4
Backflush System	S-Swafer configured in S6 mode
Precolumn	30 m x 0.530 mm x 5 μ m PerkinElmer Elite™ 1 with 25 cm x 0.250 mm deactivated fused silica restrictor connected between S-Swafer and column
Analytical Column	10 m x 0.530 mm x 10 μ m Varian® CP-Lowox® with in-line 25 cm x 0.100 μ m deactivated fused silica restrictor connected between S-Swafer and column

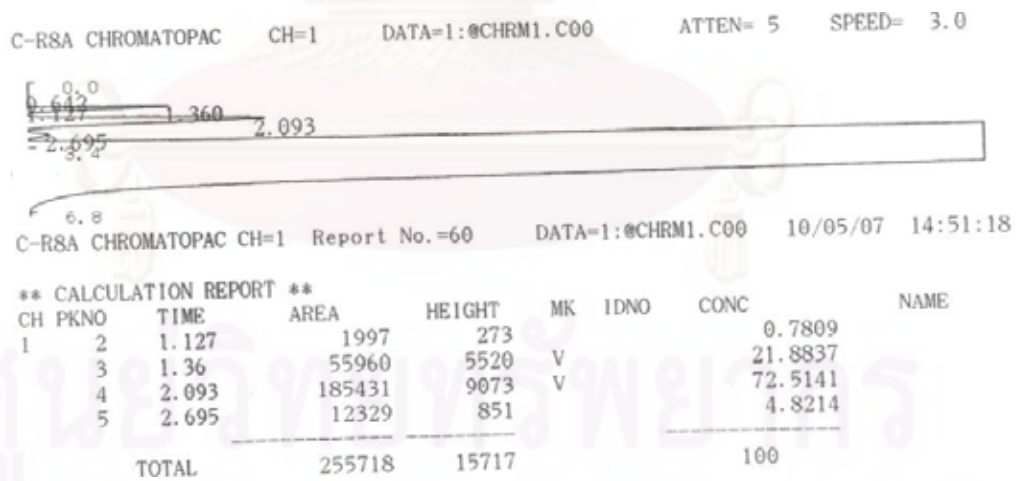
ตารางที่ 1 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัดเมทานอลในไบโอดีเซล(ต่อ)

Restrictor Tubing between S-Swafer and Detector	30 cm x 0.100 μm deactivated fused silica
(Midpoint) Pressure at S-Swafer	20 psig
Timed Events (see text)	PSS pressure set to 24 psig at -1.00 min PSS split flow set to 10 mL/min at -0.50 min PSS pressure set to 2 psig at 3.30 min PSS split flow set to 100 mL/min at 3.31 min
Sample Preparation	5 g of crude-oil sample mixed with 5 g of toluene containing 1-propanol internal standard to deliver a final concentration of 500 ppm w/w
Sample Injection	Normal injection of 1.0 μL of prepared sample using an autosampler

จ.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลในเฮกเซนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปที่ จ.1 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยมวล



รูปที่ จ.2 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวล

C-RSA CHROMATOPAC CH=1 DATA=1:CHRM1.C00 ATTEN= 5 SPEED= 3.0



C-RSA CHROMATOPAC CH=1 Report No.=57 DATA=1:CHRM1.C00 10/05/07 14:26:24

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4	1.119	1584	245			0.0022	
	5	1.349	136969	13025	V		0.1931	
	6	2.089	167386	7990	V		0.236	
	7	2.697	13333	816	V		0.0188	
	8	3.8	23097492	1392503	VE		32.5647	
	9	3.917	47511320	1392480	VE		66.9852	
TOTAL			70928080	2807058			100	

รูปที่ ๑.3 แสดงผลการตรวจวัดปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยมวล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
ข้อมูลการทดลอง

ตาราง จ.1 ข้อมูลการทดลองสำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง
น้ำหนักซิลิกาเจลกับความเข้มข้นของเมทานอลในไปโอดีเซล

ความเข้มข้นของเมทานอลในเฮกเซน (ร้อยละโดยมวล)	น้ำหนักซิลิกาเจล (กรัม)
0.20	0.1076
0.50	0.1684
0.80	0.2087
1.00	0.2450

ตาราง จ.2 ข้อมูลการทดลองในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ

ชนิดของสาร	น้ำหนักสารบนตัวดูดซับ (กรัม/กรัมถ่าน)			
	แบบเปียก	ถูกเติมกรด 5wt%	ถูกเติมกรด 10wt%	ถูกเติมกรด 20wt%
น้ำ	0.2321	0.1918	0.1952	0.1876
กรด	-	0.0377	0.0657	0.1288

ตาราง จ.3 ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับแห้ง

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตัวดูดซับ:ไบโอดีเซล	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับ (กรัม)		ไบโอดีเซล (กรัม)		น้ำหนัก ซีลีกาเจล
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
1:100	1	0.1447	0.2668	14.9888	14.3770	0.5000
	2	0.1528	0.2986	14.9997	14.3801	0.1057
	3	0.1471	0.2795	15.0111	14.3886	0.3117
	4	0.1494	0.2783	15.0103	14.2967	0.3172
	5	0.1535	0.2634	15.0073	14.5842	0.3131
	6	0.1579	0.3281	14.9893	14.4597	0.3013
1:70	1	0.2129	0.3936	14.9960	14.3054	0.3179
	2	0.2093	0.4434	15.0003	14.3448	0.2216
	3	0.2131	0.3868	15.0067	14.3008	0.3217
	4	0.2143	0.4486	15.0124	14.2226	0.3120
	5	0.2145	0.4955	15.0173	14.5068	0.2500
	6	0.2168	0.4302	15.0051	14.4770	0.3087
1:50	1	0.2997	0.5536	14.9960	14.2416	0.2573
	2	0.3075	0.5847	15.0102	14.2322	0.3092
	3	0.2924	0.5521	14.9941	14.1057	0.3633
	4	0.2992	0.5840	14.9944	14.4038	0.2982
	5	0.2988	0.5765	15.0003	14.4787	0.2690
	6	0.3010	0.5799	15.0067	14.2905	0.2806
1:30	1	0.5049	0.9971	15.0040	13.9231	0.2918
	2	0.4958	0.9230	14.9994	14.1590	0.2491
	3	0.5045	1.1081	14.9989	13.8463	0.3019
	4	0.5039	1.0315	14.9941	14.1409	0.1943
	5	0.5093	1.0402	15.0073	14.1792	0.2905
	6	0.5060	1.0706	15.0110	14.1493	0.2489

ตาราง จ.4 ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดซับเปียก

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตัวดูดซับ:ไบโอดีเซล	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับ (กรัม)		ไบโอดีเซล (กรัม)		น้ำหนัก ซีลีกาเจล
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
1:100	1	0.1498	0.2221	15.0018	14.5019	0.5097
	2	0.1577	0.2366	14.9911	14.3460	0.5571
	3	0.1582	0.2110	15.0091	14.4505	0.5001
	4	0.1476	0.2138	15.0157	14.4196	0.4468
	5	0.1522	0.2437	15.0016	14.4374	0.4511
	6	0.1583	0.2305	15.0069	14.3803	0.3948
1:70	1	0.2117	0.2832	15.0048	14.5023	0.4114
	2	0.2086	0.3140	15.0055	14.3814	0.3850
	3	0.2185	0.3088	15.0257	14.4624	0.4954
	4	0.2073	0.2888	14.9900	14.3937	0.3779
	5	0.2054	0.3058	15.0124	14.4000	0.3772
	6	0.2143	0.3103	15.0102	14.3411	0.4705
1:50	1	0.2990	0.4588	14.9942	14.3159	0.5002
	2	0.2992	0.4244	15.0053	14.4518	0.4689
	3	0.3081	0.4325	14.9908	14.4330	0.4692
	4	0.3058	0.5070	14.9914	14.2103	0.4121
	5	0.3017	0.4668	15.0060	14.3057	0.4173
	6	0.3003	0.4435	15.0054	14.3277	0.5016
1:30	1	0.5032	0.7527	15.0027	14.2140	0.3305
	2	0.5026	0.8018	15.0201	14.2099	0.4000
	3	0.4963	0.7436	15.0056	14.2683	0.3060
	4	0.4995	0.7369	15.0018	14.1884	0.2885
	5	0.5005	0.7369	15.0012	14.0900	0.2081
	6	0.4992	0.6972	15.0119	14.2283	0.2543

ตาราง จ.5 ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดที่เติมกรดเข้มข้น
ร้อยละ 5 โดยมวล

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตัวดูดซับ:ไบโอดีเซล	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับ (กรัม)		ไบโอดีเซล (กรัม)		น้ำหนัก ซีลีกาเจล
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
1:100	1	0.1572	0.2214	14.9938	14.8526	0.5097
	2	0.1460	0.2198	14.9908	14.8509	0.5571
	3	0.1528	0.2209	15.0021	14.8710	0.5001
	4	0.1568	0.2398	15.0014	14.8423	0.4468
	5	0.1476	0.2178	15.0009	14.8661	0.4511
	6	0.1469	0.2134	14.9991	14.8198	0.3948
1:70	1	0.2166	0.2956	14.9941	14.7928	0.4114
	2	0.2182	0.2982	14.9903	14.8600	0.3850
	3	0.2190	0.3135	14.9985	14.8257	0.4954
	4	0.2127	0.3016	14.9920	14.8493	0.3779
	5	0.2199	0.2994	15.0008	14.8502	0.3772
	6	0.2109	0.2939	15.0070	14.8662	0.4705
1:50	1	0.2985	0.4445	15.0027	14.7998	0.5002
	2	0.2966	0.4510	15.0097	14.8003	0.4689
	3	0.3067	0.4404	15.0075	14.7766	0.4692
	4	0.3037	0.4261	15.0106	14.8166	0.4121
	5	0.3091	0.3855	15.0052	15.4448	0.4173
	6	0.3103	0.4546	14.9968	14.7920	0.5016
1:30	1	0.4955	0.7217	14.9923	14.6547	0.3305
	2	0.5070	0.7577	15.0022	14.6755	0.4000
	3	0.5038	0.7305	14.9996	14.7212	0.3060
	4	0.5096	0.7525	15.0058	14.7001	0.2885
	5	0.5045	0.7011	15.0017	14.8064	0.2081
	6	0.4955	0.7205	15.0040	15.0040	0.2543

ตาราง ข.6 ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดที่เติมกรเข้มขึ้น
ร้อยละ 10 โดยมวล

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตัวดูดซับ:ไบโอดีเซล	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับ (กรัม)		ไบโอดีเซล (กรัม)		น้ำหนัก ซีลีกาเจล
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
1:100	1	0.1562	0.2181	14.9926	14.9926	0.5109
	2	0.1550	0.2080	14.9928	14.9928	0.5682
	3	0.1462	0.2264	14.9969	14.9969	0.5493
	4	0.1485	0.2098	15.0023	15.0023	0.4127
	5	0.1439	0.2000	14.9957	14.9957	0.4341
	6	0.1541	0.2043	15.0036	15.0036	0.4584
1:70	1	0.2173	0.2971	14.9926	15.0092	0.5207
	2	0.2188	0.3124	14.9928	15.0080	0.5193
	3	0.2134	0.2989	14.9969	15.0074	0.5597
	4	0.2202	0.3085	15.0023	14.9935	0.4506
	5	0.2184	0.2885	14.9957	15.0092	0.4274
	6	0.2177	0.2888	15.0036	14.9996	0.4393
1:50	1	0.3038	0.4083	14.9953	14.9953	0.4754
	2	0.3013	0.4120	15.0065	15.0065	0.4720
	3	0.3115	0.4387	15.0015	15.0015	0.4670
	4	0.2979	0.4138	14.9903	14.9903	0.4012
	5	0.3067	0.4069	15.0015	15.0015	0.4556
	6	0.3076	0.4226	14.9944	14.9944	0.5159
1:30	1	0.5069	0.6972	14.9920	14.9920	0.4390
	2	0.5191	0.6984	14.9991	14.9991	0.4959
	3	0.4956	0.6807	14.9977	14.9977	0.3390
	4	0.5002	0.6571	14.9950	14.9950	0.3642
	5	0.5053	0.6611	15.0018	15.0018	0.3992
	6	0.5018	0.6971	14.9995	14.9995	0.4277

ตาราง ข.7 ข้อมูลการทดลองการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลสำหรับตัวดูดที่เติมเข้มข้น
ร้อยละ 20 โดยมวล

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตัวดูดซับ:ไบโอดีเซล	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับ (กรัม)		ไบโอดีเซล (กรัม)		น้ำหนัก ซีลีกาเจล
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
1:100	1	0.1512	0.2436	15.0095	14.6655	0.6715
	2	0.1493	0.1670	14.9953	14.7048	0.7453
	3	0.1555	0.2278	15.0036	14.6630	0.7631
	4	0.1450	0.1889	14.9957	14.6740	0.7183
	5	0.1539	0.1988	15.0122	14.6971	0.6867
	6	0.1551	0.1999	14.9909	14.6504	0.6645
1:70	1	0.2132	0.3251	14.9974	14.5993	0.7312
	2	0.2200	0.3149	15.0033	14.6553	0.7614
	3	0.2131	0.2698	14.9950	14.6165	0.7535
	4	0.2186	0.2868	14.9979	14.7277	0.6590
	5	0.2180	0.3024	15.0103	14.6887	0.8551
	6	0.2171	0.2988	15.0048	14.6027	0.6812
1:50	1	0.2962	0.4043	14.9975	14.5734	0.6913
	2	0.3053	0.4043	14.9900	14.6633	0.6913
	3	0.2960	0.3966	15.0125	14.6424	0.7423
	4	0.2965	0.3948	14.9966	14.6094	0.7416
	5	0.2974	0.3572	14.9956	14.6145	0.7149
	6	0.2958	0.3872	15.0114	14.6349	0.6537
1:30	1	0.4997	0.7425	14.9997	14.4646	0.6984
	2	0.4929	0.6376	14.9953	14.5378	0.7525
	3	0.5073	0.6608	14.9953	14.5640	0.7104
	4	0.5015	0.6386	14.9938	14.5544	0.7032
	5	0.4963	0.6549	15.0053	14.4433	0.6620
	6	0.4966	0.6777	14.9942	14.5409	0.6523

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว อ้อยทิพย์ ลิ้มปัญญาเลิศ เกิดเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลาย โรงเรียนสุวรรณศรคอนันตวิทยา จังหวัดสุโขทัย ในปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย