

ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่มีต่อการสังเคราะห์ตัวดูดซับจากเปลือกของ
ผลยางพาราเพื่อการดูดซับเอทานอล-น้ำ



นายศุภโชค ธนกุลพรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PHOSPHORIC ACID CONCENTRATION AND TEMPERATURE ON
RUBBER POD SHELL ADSORBENTS SYNTHESIS FOR ETHANOL-WATER
ADSORPTION



Mr. Supachock Thanakunpun

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

ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่มีต่อ
การสังเคราะห์ตัวดูดซับจากเปลือกของผลยางพาราเพื่อการ
ดูดซับเอทานอล-น้ำ

โดย

นาย ศุภโชค ชนกุลพรรณ

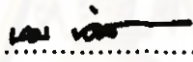
สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

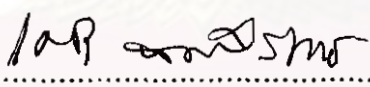
รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทฉบับนี้

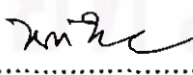

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.เอกินันท์ สุทธิธารชัชวาท)


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


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


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดาบุรุษย์)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภโชค ธนกุลพรรณ : ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่มีต่อการ
 สังเคราะห์ตัวดูดซับจากเปลือกของผลยางพาราเพื่อการดูดซับเอทานอล-น้ำ.
 (EFFECTS OF PHOSPHORIC ACID CONCENTRATION AND TEMPERATURE
 ON RUBBER POD SHELL ADSORBENTS SYNTHESIS FOR ETHANOL-
 WATER ADSORPTION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.เดชา นัครศิริเวช,
 119 หน้า.

ตัวดูดซับที่เตรียมจากการทำปฏิกิริยาของเปลือกผลยางพารากับกรดฟอสฟอริก โดย
 ทำการศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-70 โคบายมว
 และอุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมดุลดูดซับเอทาน
 ออล-น้ำ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกและ
 อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับให้สูงขึ้น จะส่งผลให้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้สามารถ
 ดูดซับเอทานอลได้มากขึ้น จากงานวิจัยนี้สมดุลการดูดซับเอทานอลและสมดุลการดูดซับน้ำ
 จากของผสมเอทานอล-น้ำ สำหรับของผสมเอทานอล-น้ำ ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลไม่เกิน
 370 กรัมต่อลิตร จะมีความสอดคล้องและเหมาะสมกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช
 โดยค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ของสมดุลดูดซับเอทานอลจะมีค่าน้อยกว่า 1 และสมดุลดูดซับน้ำจะมีค่า
 มากกว่า 1 สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอล เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก
 และอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับให้สูงขึ้น ค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรุนดลิช (K_F)
 จะมีค่าสูงขึ้นและค่าดัชนีชี้กำลัง (n) จะมีค่าลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต..... ศุภโชค ธนกุลพรรณ
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... รศ.ดร.เดชา นัครศิริเวช
 ปีการศึกษา.....2552.....

5170633221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADSORPTION / ETHANOL / RUBBER POD SHELL / PHOSPHORIC ACID

SUPACHOCK THANAKUNPUN : EFFECTS OF PHOSPHORIC ACID CONCENTRATION AND TEMPERATURE ON RUBBER POD SHELL ADSORBENTS SYNTHESIS FOR ETHANOL-WATER ADSORPTION. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 119 PP.

Various adsorbents were produced from rubber pod shell by reactions with 40-70 wt% phosphoric acid at 200-300 °C. Ethanol-water adsorption equilibrium at room temperature of such adsorbents were investigated. The ethanol adsorbed amount on these adsorbents was improved by increase in phosphoric acid concentration and temperature. For ethanol concentration less than 370 g/l, the adsorption equilibria of both ethanol and water were agreed very well with Freundlich's model, where the exponent (n) of the model became less than unity for ethanol, but greater than unity for water. In addition, the adsorption equilibrium constant (K_p) for ethanol tended to increase proportionally to phosphoric acid concentration and temperature. On the contrary, the exponent (n) decreased proportionally to phosphoric acid concentration and temperature.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering
Field of Study : Chemical Engineering
Academic Year : 2009

Student's Signature *Supachek Thanakunpun*
Advisor's Signature *Decha Chittu*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช ที่กรุณาให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธารวัช และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดาบุรุษ และ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร สำหรับความช่วยเหลือ ตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆในงานวิจัย

ขอขอบคุณ นายธีรชาติ วิจิตชลชัย ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยยางมะเขือเทศ และนางนิชชума เทพมณี เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน ศูนย์วิจัยยางมะเขือเทศ ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเพื่อเปลือกของผลยางพาราเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆที่ช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ท
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1.1 การดูฉบับ.....	4
2.1.2 ประเภทของการดูฉบับ.....	6
2.1.2.1 การดูฉบับทางกายภาพ.....	6
2.1.2.2 การดูฉบับทางเคมี.....	7
2.1.3 กลไกการดูฉบับ.....	7
2.1.4 การดูฉบับของเหลวด้วยแรงแคปิลารี.....	8
2.1.5 สมดุลการดูฉบับ.....	10
2.1.5.1 แบบจำลองสมดุลดูฉบับของเฮนรี่.....	11
2.1.5.2 แบบจำลองสมดุลดูฉบับของแลงมัวร์.....	12
2.1.5.3 แบบจำลองสมดุลดูฉบับของฟรุนดลิช.....	12
2.1.6 ถ่านกัมมันต์.....	13
2.1.6.1 วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์.....	13
2.1.6.2 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	14

บทที่	หน้า
2.1.6.3 ลักษณะและชนิดของถ่านกัมมันต์.....	19
2.1.6.4 การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรม.....	20
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 การผลิตตัวดูดซับ.....	25
3.2 การวัดสมมูลการดูดซับ.....	26
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	28
4.1 การหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงกับความเข้มข้น ของของผสม เอทานอล-น้ำ.....	28
4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทา นอล-น้ำ(Calibration curve)เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป.....	30
4.2 สมมูลการดูดซับน้ำ.....	33
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มี ต่อปริมาณการดูดซับน้ำ.....	34
4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ.....	36
4.3 สมมูลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ.....	39
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มี ต่อสมมูลการดูดซับเอทานอลและสมมูลการดูดซับน้ำ.....	49
4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมมูลการดูดซับเอทา นอลและสมมูลการดูดซับน้ำ.....	56
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก การคำนวณ.....	69
ภาคผนวก ข แบบจำลองสมมูลการดูดซับ.....	71
ภาคผนวก ค ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบความเข้มข้นกับดัชนี หักเหแสง.....	96

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ง ผลการทดลองสมดุลการดูดซับเอทานอลน้ำ.....	103
ภาคผนวก จ ผลการคำนวณความเข้มข้นของของผสมเอทานอลน้ำ ภายในตัวดูดซับ.....	109
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองสมดุลการดูดซับน้ำ.....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	119



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ขึ้นไป ด้วยกระบวนการแยกประเภทต่างๆ.....	1
3.1	ชื่อชนิดของตัวดูดซับที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ.....	26
4.1	ค่าคงที่ต่างๆจากสมการที่ 4.1 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป.....	29
4.2	ค่าคงที่ต่างๆจากสมการที่ 4.2 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป.....	32
4.3	ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์จากสมการที่ 4.3.....	34
4.4	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 7030 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆและผลรวมของผลต่างระหว่างผลการ คำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$)	40
4.5	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับน้ำจำเพาะของตัวดูดซับ 7030 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆและผลรวมของผลต่างระหว่างผลการ คำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$)	41
4.6	ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูด ซับที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรุนดลิช(K_f) และค่าดัชนีชี้กำลัง(n) สำหรับ สมดุลดูดซับเอทานอลและน้ำ.....	54
4.7	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟ รุนดลิช(K_f) และค่าดัชนีชี้กำลัง(n) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอลและน้ำ.....	62
ข.1	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 4020 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆ.....	73
ข.2	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 4025 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆ.....	75
ข.3	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 4030 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆ.....	77
ข.4	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 5020 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆ.....	79
ข.5	ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 5025 ด้วย แบบจำลองสมดุลดูดซับประเภทต่างๆ.....	81

ตารางที่	หน้า
ข.6 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 5030 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	83
ข.7 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 6020 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	85
ข.8 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 6025 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	87
ข.9 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 6030 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	89
ข.10 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 7020 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	91
ข.11 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 7025 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	93
ข.12 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลคูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวคูดซับ 7030 ด้วย แบบจำลองสมมูลคูดซับประเภทต่างๆ.....	95
ค.1 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของ ผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส.....	96
ค.2 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของ ผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	98
ค.3 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของ ผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	100
ค.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงกับความเข้มข้นของเอทานอล (wt%) ที่อุณหภูมิ 28 , 29 และ 30 องศาเซลเซียส.....	102
ง.1 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังคูดซับ ของตัวคูดซับ 4020.....	103
ง.2 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังคูดซับ ของตัวคูดซับ 4025.....	103
ง.3 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังคูดซับ ของตัวคูดซับ 4030.....	104
ง.4 แสดงผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลัง คูดซับของตัวคูดซับ 5020.....	104

ตารางที่		หน้า
ฉ.4	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5020.....	116
ฉ.5	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5025.....	116
ฉ.6	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5030.....	116
ฉ.7	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6020.....	117
ฉ.8	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6025.....	117
ฉ.9	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6030.....	117
ฉ.10	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7020.....	118
ฉ.11	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7025.....	118
ฉ.12	ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7030.....	118



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	เปลือกผลยางพารา..... 2
2.1	การดูดซับโดยใช้อนุภาคของแข็งเป็นตัวดูดซับ..... 5
2.2	กระบวนการดูดซับและคายกลับ..... 5
2.3	กลไกการดูดซับ..... 7
2.4	ลักษณะการดูดซับก๊าซและของเหลว..... 8
2.5	วิธีวัดความตึงผิวโดยใช้หลอดแคปิลารี..... 9
2.6	ลักษณะรูปแบบไอโซเทอม..... 10
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ..... 28
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส..... 29
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส..... 31
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส..... 31
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส..... 32
4.6	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 35
4.7	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 35
4.8	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 36
4.9	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ..... 37
4.10	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ..... 37
4.11	ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ..... 38

ภาพที่	หน้า
4.12 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ.....	38
4.13 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4020.....	42
4.14 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4025.....	43
4.15 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4030.....	43
4.16 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5020.....	44
4.17 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5025.....	44
4.18 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5030.....	45
4.19 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6020.....	45
4.20 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6025.....	46
4.21 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6030.....	46
4.22 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7020.....	47
4.23 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7025.....	47
4.24 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7030.....	48
4.25 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศา เซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	49
4.26 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 องศา เซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	50
4.27 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศา เซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	50
4.28 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..	52
4.29 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..	52
4.30 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ..	53
4.31 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วย อุณหภูมิต่างๆที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช(K_f) สำหรับสมดุลดูดซับ เอทานอล.....	55
4.32 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วย อุณหภูมิต่างๆที่มีต่อค่าดัชนีชี้กำลัง(n) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอล.....	56

ภาพที่	หน้า
4.33	57
4.34	57
4.35	58
4.36	58
4.37	59
4.38	60
4.39	60
4.40	61
4.41	63
4.42	63
ข.1	72
ข.2	72
ข.3	73
ข.4	74
ข.5	74
ข.6	75
ข.7	76
ข.8	76
ข.9	77
ข.10	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

g	=	ค่าคงที่ความเร่งของความโน้มถ่วงของโลก
r	=	รัศมีของกะปิลลารี
h	=	ความสูงของของเหลวในหลอดกะปิลลารี
q	=	ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ
q_{mx}	=	ปริมาณสารที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อปริมาณตัวดูดซับ
C	=	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สมดุล
K_H	=	ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรี
K_L	=	ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์
K_F	=	ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดลิช
T	=	อุณหภูมิ

อักษรกรีก

γ	=	แรงตึงผิวของของเหลว
ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เอทานอล เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน หรือที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากเอทานอลช่วยทดแทนสารเพิ่มออกเทน MTBE ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดเงินในการนำเข้าสาร MTBE รวมทั้งช่วยลดปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเอทานอลสามารถสังเคราะห์ได้จากการแปรรูปพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลส โดยผ่านกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพด กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงได้แล้ว ยังช่วยแก้ปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาดได้บางส่วน เอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักจะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร จากนั้นจะต้องนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของน้ำมันเชื้อเพลิง [1]

ปัจจุบันกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจะใช้การกลั่น ซึ่งเป็นการแยกที่ต้องใช้พลังงานสูง จึงส่งผลให้ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลสูงไปด้วย การดูดซับ เป็นวิธีหนึ่งที่ถูกเลือกใช้ในการแยกเอทานอลออกจากน้ำ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลด้วยวิธีอื่น ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก ขึ้นไปด้วยกระบวนการแยกประเภทต่างๆ [2]

ความเข้มข้นของเอทานอล		ค่าพลังงาน (KJ/kg-EtOH)	กระบวนการ
เริ่มต้น(wt%)	สุดท้าย(wt%)		
8	99.5	10,383	การกลั่นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ
10	99.5	9,671	การกลั่นเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลเป็น 95 wt% แล้วเติมสารช่วยกลั่นเพื่อให้ได้เอทานอล 99.5 wt%
6.4	99.5	7,324	การกลั่นเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลเป็น 90 wt% แล้วนำมาระเหยผ่านเยื่อแผ่นเพื่อให้ได้เอทานอล 99.5 wt%
8	99	5,032	การดูดซับ

ถ่านคูดซับเป็นตัวคูดซับชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการคูดซับสารประกอบอินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้จากผลผลิตทางการเกษตรได้ เช่น กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เถ้า ชังข้าวโพด และขานอ้อย เป็นต้น อีกทั้งการผลิตถ่านคูดซับสามารถปรับเปลี่ยนกรรมวิธีการผลิตและสภาวะในการผลิตเพื่อให้ได้ถ่านคูดซับที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ถ่านคูดซับจึงเป็นตัวคูดซับอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในกระบวนการคูดซับ [3]

เปลือกผลยางพาราเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ เนื่องจากเปลือกผลยางพารามีความแข็ง ไม่แตกหักง่าย อีกทั้งเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายเนื่องจากในประเทศไทยมีการปลูกต้นยางพาราเป็นจำนวนมาก โดยในปีหนึ่งๆ ต้นยางต้นหนึ่งจะมีผลประมาณ 50 ผล [4] โดยในส่วนเปลือกผลยางพารามีประมาณ 50 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็น 600,000 เมตริกตันต่อพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศ [5] ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำส่วนเปลือกของผลยางพาราไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ดังนั้นการนำเปลือกผลยางพาราที่เป็นส่วนเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมจำนวนมากมาพัฒนาเป็นตัวคูดซับจะช่วยสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้ทางหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมตัวคูดซับจากเปลือกของผลยางพาราและศึกษากรรมวิธีการผลิตและสภาวะในกระบวนการผลิตตัวคูดซับ พร้อมทั้งนำตัวคูดซับที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้กับการคูดซับเอทานอลในน้ำ



รูปที่ 1.1 เปลือกผลยางพารา

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวคูดซับที่มีต่อสมมูลคูดซับเอทานอล-น้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ในงานวิจัยจะใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 40 , 50 , 60 และ 70 โดยมวล
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ คือ 200 , 250 และ 300 องศาเซลเซียส
3. ความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมก่อนดูดซับมีความเข้มข้นร้อยละ 10 , 20 , 30 , 40 และ 50 โดยปริมาตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับเอทานอล
2. ทราบสมคุณดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกของผลยางพารา
3. สามารถนำเปลือกของผลยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

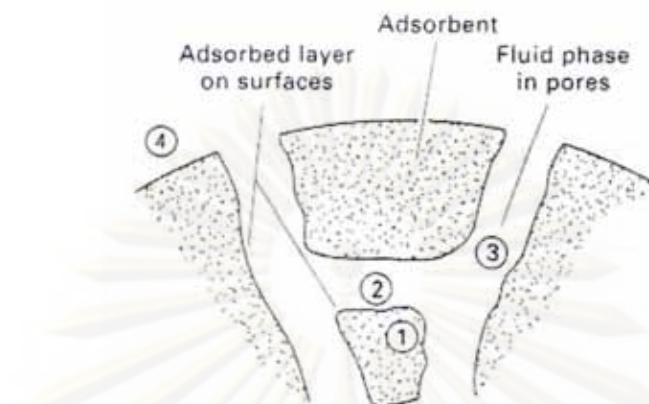
2.1.1 การดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบในวัฏภาคของไหล ซึ่งวัฏภาคของไหลอาจจะเป็นได้ทั้งก๊าซและของเหลว โดยวัฏภาคของไหลจะเป็นวัฏภาคหลักที่สำคัญของกระบวนการดูดซับ ของไหลที่ต้องการแยกองค์ประกอบจะถูกถ่ายเทมวลให้กับสารที่ไม่สามารถละลายได้ในของไหล (Insoluble) เช่น การถ่ายเทมวลของไหลที่ต้องการแยกองค์ประกอบไปยังอนุภาคของแข็ง (Rigid particle) โดยอนุภาคของแข็งอาจอยู่ในรูปแบบที่แขวนลอยอยู่ภายในถังหรือถูกจัดเรียงตัวอยู่ในหอดูดซับ

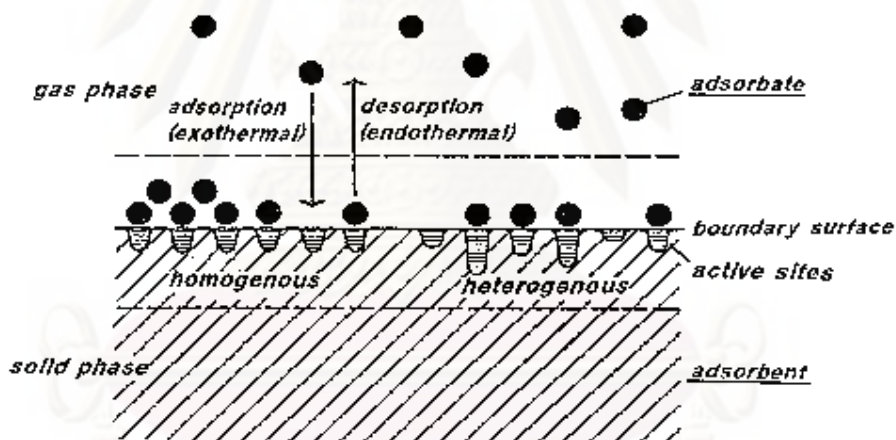
การถ่ายเทมวลเกิดขึ้นเนื่องจากก๊าซหรือของเหลวและอนุภาคของแข็งสัมผัสกัน ทำให้โมเลกุลหรืออะตอมมีความเข้มข้นเฉพาะที่บริเวณผิวสัมผัสซึ่งจะเรียกว่า ปรากฏการณ์ดูดซับ (Adsorption) ก๊าซหรือของเหลวที่ต้องการแยกองค์ประกอบจะถูกแพร่ไปยังพื้นผิวของอนุภาคของแข็ง ก่อนที่จะถูกแพร่เข้าไปอยู่ในรูพรุนหรือผิวของอนุภาคของแข็ง (Surface migration) หรือแรงแคปิลลารี (Capillary force) ก๊าซหรือของเหลวที่อนุภาคของแข็งสามารถดูดซับโมเลกุลได้จะเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) โดยที่อนุภาคของแข็งที่ดูดซับโมเลกุลของไหลจะเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) ถ้าโมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวที่ถูกดูดซับหลุดออกจากพื้นผิวของอนุภาคของแข็งหรือรูพรุนจนกลับไปสู่วัฏภาคของไหลอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้เพื่อนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้งหนึ่งจะเรียกว่า ปรากฏการณ์การคายกลับ (Desorption) โดยการคายกลับอาจทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 การดูดซับโดยใช้อนุภาคของแข็งเป็นตัวดูดซับ [6]



รูปที่ 2.2 กระบวนการดูดซับและคายกลับ [7]

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่

1. สารดูดซับ: ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น พื้นที่ผิวสัมผัส ขนาดรูพรุน องค์ประกอบทางเคมี
2. สารที่ถูกดูดซับ: ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น ขนาดของโมเลกุล ความมีขั้วของโมเลกุล องค์ประกอบทางเคมี
3. ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ

4. ภาวะของการดูดซับ เช่น pH อุณหภูมิ
5. เวลาที่อยู่ในระบบ

2.1.2 ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยจำแนกแรงดังกล่าวออกเป็น 2 ประเภท คือ แรงกายภาพ และแรงเคมี การดูดซับจึงจำแนกออกเป็น 2 ประเภทตามประเภทของแรงที่เกี่ยวข้องดังนี้ [8]

2.1.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) คือ การดูดหรือดึงสารที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงกายภาพชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน ชนิดของแรงกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับประเภทนี้ ได้แก่

- แรงดึงดูดระหว่างขั้วของสารที่ถูกดูดซับกับขั้วของผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับความชื้นด้วยผลึกดูดความชื้น ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วบวกของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วลบบนผิวผลึกดูดความชื้น หรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วลบของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วบวกบนผิวผลึกดูดความชื้น เป็นต้น
- แรงดึงดูดระหว่างประจุของสารที่ถูกดูดซับชนิดไอออนกับประจุบนผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับไอออนแคลเซียม (Ca^{2+}) และไอออนแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ในน้ำกระด้างด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวตัวดูดซับชนิดพอลิเมอร์ เป็นต้น
- แรงดึงดูดมวลระหว่างโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ เช่น การดูดซับกลิ่นซึ่งมักเป็นไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ด้วยถ่านดูดซับ หรือการดูดซับไอสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยถ่านดูดซับ เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของการดูดซับประเภทนี้ คือ การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี ณ อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิต่ำ และเกิดได้ดีมากยิ่งขึ้น ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็ง เช่น การดูดซับกลิ่นเหม็นอับต่างๆ ในตู้เย็นหรือห้องปรับอากาศ เป็นต้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวของตัวดูดซับโดยตรง (Monolayer) และเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับแล้ว โดยไม่จำกัดจำนวนโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับที่ซ้อนทับกัน จึงมักเรียกการดูดซับลักษณะนี้ว่า “การดูดซับหลายชั้น (Multilayer adsorption)”

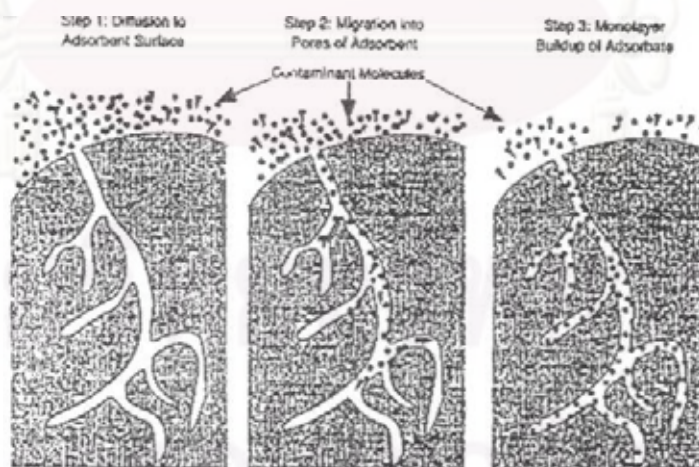
ความร้อนของการดูดซับแบบกายภาพนี้มักมีค่าประมาณ 2-3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารที่ถูกดูดซับชนิดนั้นๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ความร้อนของการดูดซับแปร

ผันโดยตรงกับแรงของการดูดซับ นั่นคือ แรงของการดูดซับมีค่ามาก มีผลให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วมีค่าสูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ความร้อนของการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างขั้วจึงมีค่าสูงกว่าความร้อนของการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เป็นต้น

2.1.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) คือ การเกิดพันธะเคมีหรือการใช้ อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ในลักษณะเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี การดูดซับประเภทนี้จึงต้องการพลังงานกระตุ้น เช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป ดังนั้น การดูดซับจึงมักเกิดขึ้นได้ดีหรือเกิดขึ้นได้เร็ว ณ อุณหภูมิสูงๆ และการดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น นั่นคือ การดูดซับทางเคมีนี้จะไม่เกิดบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับเช่นเดียวกับการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีนี้จึงเกิดขึ้นได้เพียงชั้นเดียวเท่านั้นและมักเรียกรวมการดูดซับประเภทนี้ว่า “การดูดซับชั้นเดียว (Monolayer adsorption)” ความร้อนของการดูดซับประเภทนี้จึงมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพ หรือมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนแฝงของการควบแน่นไอสารถูกดูดซับชนิดนั้นๆ ไม่น้อยกว่า 3 เท่า

2.1.3 กลไกการดูดซับ [1]

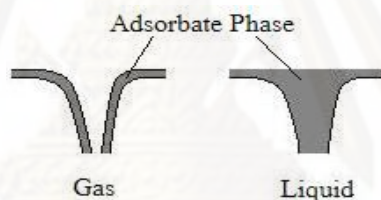
การดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน สำหรับการดูดซับก๊าซ คือ



รูปที่ 2.3 กลไกการดูดซับ

- ขั้นแรก โมเลกุลของก๊าซแพร่ไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับ
- ขั้นที่สอง เคลื่อนที่เข้าไปยังผิวภายในของรูพรุนซึ่งเป็นกระบวนการแพร่ อาจโดยวิธีแพร่เข้าทางรูพรุนหรือทางผิว (Surface migration) หรือ โดยแรงแคปิลลารี (Capillary force)
- ขั้นที่สาม การเกาะติดกับพื้นผิวซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่แท้จริงของการดูดซับ ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นเร็วมากเมื่อเทียบกับสองขั้นตอนแรก

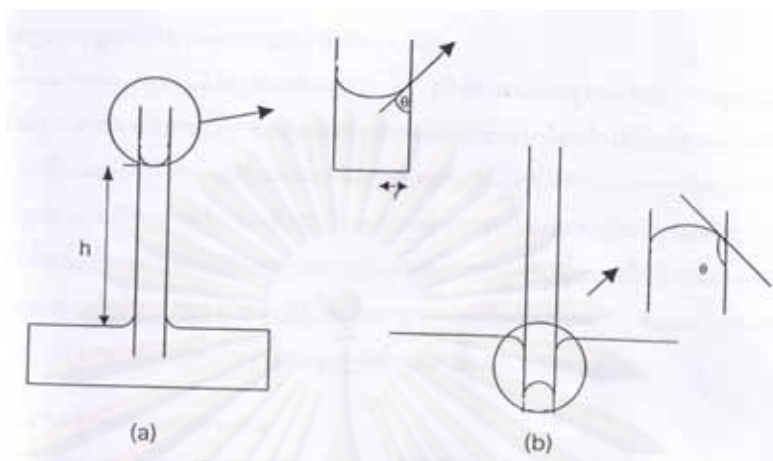
สำหรับลักษณะการดูดซับของเหลวนั้นมีเพียงขั้นตอนการแพร่ไปยังผิวภายนอกตัวดูดซับและการเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนตัวดูดซับโดยแรงแคปิลลารี (Capillary force) โดยไม่เกิดขึ้นตอนการเกาะติดพื้นผิว ซึ่งหากพิจารณาวัฏภาคการดูดซับและวัฏภาคของเหลวในสารละลายจะพบว่า วัฏภาคการดูดซับจะมีความเข้มข้นของสารถูกดูดซับสูงกว่าในวัฏภาคของเหลว โดยอาจมีสาเหตุมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับหรือเกิดจากการดูดซับสารถูกดูดซับด้วยหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวดูดซับ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะการดูดซับก๊าซและของเหลว

2.1.4 การดูดซับของเหลวด้วยแรงแคปิลลารี [3]

การดูดซับด้วยแรงแคปิลลารีนั้นขึ้นกับแรงดึงดูดของสาร แรงดึงดูดของสารเกิดจากโมเลกุลของของเหลวนั้นเคลื่อนที่ตลอดเวลา ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลรอบด้านเกือบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างและด้านล่างเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ โมเลกุลที่อยู่บนผิวของของเหลวถูกดึงเข้าสู่ด้านในตลอดเวลา เนื่องจากโมเลกุลที่อยู่บนผิวได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลอื่นๆ ไม่ทั่วถึง โมเลกุลที่อยู่บนผิวจึงมีเสถียรภาพน้อยกว่าโมเลกุลที่มีตำแหน่งอยู่ด้านใน เพื่อให้ได้เสถียรภาพมากที่สุด ของเหลวจึงพยายามลดพื้นที่ผิวให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวให้น้อยลง จึงเกิดความตึงผิวขึ้น ซึ่งความตึงผิวจะมีค่าสูงถ้าของเหลวนั้นมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก และความตึงผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยการวัดความตึงผิวของของเหลววิธีหนึ่งที่ใช้ คือ วิธีจุ่มหลอดแคปิลลารีรัศมี r ลงในของเหลวที่ต้องการวัดความตึงผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วิธีวัดความตึงผิวโดยใช้หลอดแคปิลารี

- a) ปรากฏการณ์โดยทั่วไปของของเหลวในหลอดแคปิลารี
- b) เมื่อแรงดึงดูดของโมเลกุลที่เหมือนกัน (Cohesion) มากกว่าแรงดึงดูดของโมเลกุลที่ต่างกัน (Adhesion)

ค่าแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้จากสมการ

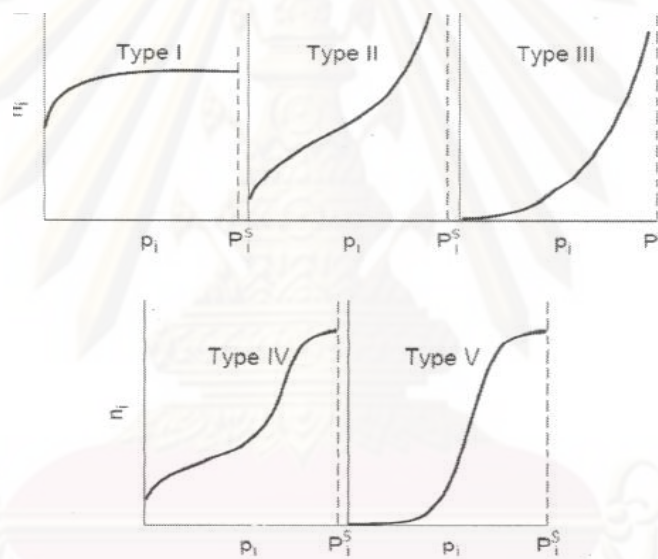
$$\gamma = \frac{h\rho gr}{2\cos\theta} \quad (2.1)$$

ของเหลวส่วนมากพบว่าสามารถไหลสูงขึ้นไปในหลอดแคปิลารีได้ แต่มีของเหลวบางอย่างที่ไม่เกิดปรากฏการณ์แบบนี้ เช่น ปรอท ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล แรงดึงดูดโมเลกุลสารที่เหมือนกัน เรียกว่า แรงโคฮีชัน (Cohesion) แรงดึงดูดโมเลกุลสารที่ต่างกัน เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion) ถ้าแรงแอดฮีชันแข็งแรงกว่าแรงโคฮีชัน ของเหลวจะถูกดึงขึ้นไปตามผนัง แต่ถ้าแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชัน ของเหลวจะถูกดึงขึ้นไปตามผนัง แต่ถ้าแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชัน ของเหลวในหลอดแคปิลารีจะต่ำลง ความแตกต่างระหว่างแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชันนี้เราจะเห็นได้ เมื่อหยดน้ำเล็กๆลงบนพื้นผิวสะอาด น้ำมีแนวโน้มแผ่กระจายออกทำมุม θ น้อยกว่า 90 องศา ส่วนการหยดปรอทลงบนพื้นผิวลักษณะของมันจะคล้ายเป็นทรงกลมและทำมุมอยู่ระหว่าง 90-180 องศา ปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่หลอดแคปิลารีด้วยความตึงผิวสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กได้เช่นกัน

2.1.5 สมดุลการดูดซับ

ในระบบการดูดซับ เมื่อสารถูกดูดซับได้สัมผัสกับตัวดูดซับในช่วงเวลาที่นานเพียงพอ จะเกิดสภาวะสมดุลขึ้น เรียกว่า สมดุลการดูดซับ ซึ่งในขณะนั้นปริมาณสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับจะสมดุลกับปริมาณสารถูกดูดซับที่ถูกปลดปล่อย (Desorption) ในวัฏภาคของของไหล โดยที่ปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันย่อย (สำหรับระบบก๊าซ) หรือความเข้มข้น (สำหรับระบบของเหลว) โดยสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิของระบบคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอม (Isotherm) ของการดูดซับ [9]

จากการศึกษาของ BDDT พบว่า เส้นสมดุลการดูดซับแบ่งออกเป็น 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปแบบไอโซเทอม [10]

- สมดุลการดูดซับแบบที่ I มักพบในการดูดซับที่มีสารดูดซับมีรูพรุนขนาดเล็ก เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เช่น การดูดซับออกซิเจนบน carbon black ที่อุณหภูมิ -182°C
- สมดุลการดูดซับแบบที่ II พบได้ในการดูดซับของแข็งพวก nonporous จุดที่เกิดการหักเหของเส้นไอโซเทอมมักเกิดใกล้กับบริเวณการดูดซับแบบชั้นเดียวสมบูรณ์และเมื่อเพิ่มความดัน จะเกิดการดูดซับหลายชั้น (Multilayer) จนเข้าใกล้ค่าอนันต์

- สมดุลการดูดซับแบบที่ III จากกราฟเห็นได้ว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นไม่จำกัด เช่น การดูดซับ โบรมีนบนซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 20 °C
- สมดุลการดูดซับแบบที่ IV คล้ายกับแบบที่ II แต่มีการเกิดการดูดซับหลายชั้นอย่างจำกัด
- สมดุลการดูดซับแบบที่ V พบในการดูดซับไอน้ำด้วยถ่านกัมมันต์

ส่วนการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบนั้นส่วนใหญ่จะเกิดสมดุลการดูดซับแบบที่ I และ III ที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายต่ำจะเกิดไอโซเทอมการดูดซับแบบเชิงเส้น ในกรณีของการดูดซับของเหลว โมเลกุลของของเหลวอยู่ติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและแรงระหว่างขั้วของโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง การดูดซับสารถูกดูดซับที่ปนอยู่ในของเหลว มีลักษณะแตกต่างจากการดูดซับสารถูกดูดซับที่ปนในก๊าซ แรงดึงดูดของของเหลว มีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับของเหลว โดยอาจช่วยให้ของเหลวเคลื่อนที่เข้าสู่โพรงของตัวดูดซับได้โดยง่าย ซึ่งของเหลวที่ไหลเข้าสู่โพรงของตัวดูดซับ มีลักษณะต่อเนื่องจากปากโพรงของตัวดูดซับถึงพื้นผิวเปียกในโพรงของตัวดูดซับดังกล่าว ดังนั้น ภูมิภาคดูดซับของระบบดูดซับของเหลว คือของเหลวทั้งหมดในโพรงของตัวดูดซับ และปริมาตรจำเพาะของภูมิภาคดูดซับ ซึ่งมักมีค่าน้อยกว่าปริมาตรจำเพาะของการดูดซับก๊าซหรือไอ จะแปรตามสมบัติแรงดึงดูดของของเหลวก่อนการดูดซับ โดยแบบจำลองสมดุลดูดซับของของเหลวที่นิยมใช้มีดังนี้ [8]

2.1.5.1 แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี

ระบบดูดซับของเหลวที่มีสารถูกดูดซับน้อยๆ เช่น ไอออน โลหะหนักในน้ำ หรือความชื้นในน้ำมัน เป็นต้น ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะแปรผันเป็นสัดส่วนความเข้มข้นสมดุลในของเหลว แบบจำลองสมดุลดูดซับของระบบดูดซับดังกล่าว จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนี้

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

ค่าคงที่สมดุลดูดซับ (K_H) เป็นตัวแปรกำหนดลักษณะเฉพาะของระบบสมดุลดูดซับ ในลักษณะเดียวกับแบบจำลองสมดุลดูดซับก๊าซของเฮนรี

แม้ว่าการดูดซับจะเป็นปรากฏการณ์คายความร้อน แต่ของเหลวมีค่าความจุความร้อนสูงกว่าก๊าซหลายเท่า การดูดซับสารถูกดูดซับในของเหลวก็ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิของระบบดูดซับเพิ่มขึ้นจากเดิม จึงมักไม่คำนวณความร้อนของการดูดซับในระบบของเหลว

2.1.5.2 แบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์

เมื่อปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของสารถูกดูดซับในของเหลวมีลักษณะโค้งงอว่าแบบจำลองสมมูลดูดซับจึงมีลักษณะเดียวกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์ ดังนี้

$$q = \frac{q_{mx} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.3)$$

ค่าคงที่ของแบบจำลองสมมูลดูดซับของเหลวของแลงมัวร์ ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณสมมูลดูดซับของเหลวจำเพาะสูงสุด (q_{mx}) และค่าคงที่สมมูลดูดซับของเหลวของแลงมัวร์ (K_L) คำนวณจากจุดตัดแกน และความชันของเส้นความสัมพันธ์ของส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับของเหลวจำเพาะกับส่วนกลับของความเข้มข้นสมมูลของสารถูกดูดซับ ตามลำดับ ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_{mx} K_L} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{mx}} \quad (2.4)$$

เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับลดลงเหลือน้อยมากๆ หรือระบบของเหลวเป็นของเหลวผสมเจือจาง แบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์นี้จะเปลี่ยนเป็นแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองการดูดซับของแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- มีโมเลกุลชั้นเดียวในบริเวณถูกดูดซับ
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน กำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

2.1.5.3 แบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช

เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของเหลวเพิ่มมากขึ้น ความสัมพันธ์ของปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นสมมูลของสารถูกดูดซับดังกล่าว มักมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง แม้ว่าเส้นโค้งสมมูลดูดซับของเหลวส่วนใหญ่จะมีลักษณะโค้งงอว่าแบบจำลองเส้นโค้งสมมูลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิช เป็นแบบจำลองเส้นโค้งสมมูลดูดซับของเหลวที่สามารถประยุกต์ใช้กับสมมูลดูดซับของเหลวลักษณะโค้งงอหรือโค้งหาย ดังนี้

$$q = K_F C_e^n \quad (2.5)$$

นั่นคือ เมื่อดัชนีชี้กำลังของแบบจำลอง n มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง แบบจำลองเส้นโค้งสมมูลดูดซับของเหลวของฟรุนดลิช มีลักษณะโค้งงอและมีลักษณะตรงกับสมมูลการดูดซับแบบที่ 1 ถ้าดัชนีชี้

กำลังของแบบจำลอง n มีค่ามากกว่าหนึ่ง แบบจำลองเส้นโค้งสมดุลดูดซับของเหลวของฟรอนดลิช นี้ มีลักษณะโค้งหงายและมีลักษณะตรงกับสมดุลการดูดซับแบบที่ 3 โดยค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของฟรอนดลิช (K_F) จะเปลี่ยนเป็นค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของเฮนรี (K_H) เมื่อดัชนีชี้กำลังของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ค่าคงที่สมดุลดูดซับของเหลวของฟรอนดลิช (K_F) และดัชนีชี้กำลังของแบบจำลองนี้ คำนวณจากจุดตัดแกนและความชันของเส้นความสัมพันธ์ของค่าลอการิทึมของปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ ($\ln q$) กับค่าลอการิทึมของความเข้มข้นสมดุล ($\ln C$) ดังนี้

$$\ln q = n \ln C_e + \ln K_F \quad (2.6)$$

2.1.6 ถ่านกัมมันต์(Activated Carbon) [11]

ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ อาจอยู่ในรูปของผง หรือเม็ดได้ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวดูดซับสูง ทำให้มีสมบัติการดูดซับที่ดี ใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่น สี หรือก๊าซ วัสดุดิบส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม มาผ่านกระบวนการกระตุ้นให้มีพื้นที่ผิวสูง มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีความจุในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก โดยถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากวัสดุดิบที่ต่างกัน จะมีคุณภาพแตกต่างกัน[1] ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นได้ไม่ดี (hydrophobic) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่นๆ [10] เนื่องจากเป็นสารดูดซับชนิดไม่มีขั้ว

2.1.6.1 วัสดุดิบที่นำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์

วัสดุดิบที่นำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ควรจะมีลักษณะดังนี้

- เป็นวัสดุเหลือทิ้งหรือเป็นวัสดุที่มีราคาถูก
- มีปริมาณคาร์บอนสูง
- มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ
- มีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บไว้นาน
- สามารถใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงได้

ถ่านดูดซับผลิตจากวัสดุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก วัสดุดิบเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุดิบธรรมชาติและส่วนน้อยเป็นวัสดุดิบสังเคราะห์ วัสดุดิบที่ใช้ผลิตถ่านดูดซับ จำแนกเป็นกลุ่มตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้ [8]

- วัตถุดิบจากซากสิ่งมีชีวิตโบราณ เป็นวัตถุดิบที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและซากสัตว์ต่างๆ ได้พื้นดินตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ วัตถุดิบเหล่านี้ประกอบด้วย ถ่านหินลิกไนต์ ถ่านหิน ถ่านโค้ก กากน้ำมันปิโตรเลียม วัตถุดิบกลุ่มนี้มักมีลักษณะแข็ง
- วัตถุดิบจากชีวมวล เป็นวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมในยุคปัจจุบัน ประกอบด้วย วัสดุเหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชเศรษฐกิจ เช่น ฟางข้าว ลำต้นมันสำปะหลังและลำต้นข้าวโพด เป็นต้น วัสดุเหลือจากการแปรรูปผลผลิตกิจกรรม เช่น ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว เปลือกถั่วลิสง เมล็ดผลไม้ต่างๆ เป็นต้น วัสดุจากปศุสัตว์ เช่น กระดูก เป็นต้น หรืออาจเป็นวัสดุจากวัชพืช เช่น ผักตบชวา เป็นต้น
- วัตถุดิบจากวัสดุอินทรีย์อุตสาหกรรม เป็นวัตถุดิบสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น โพลีเมอร์โมเลกุลสั้นชนิดต่างๆ โพลีเมอร์ค้อยคุณภาพ

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านดูดซับ พบว่าส่วนใหญ่มักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ หรือใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) โดยถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้เป็น 2 ประเภท คือ [9]

- ถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง (Hard artificial char) เช่น ถ่านที่ได้จากเปลือก หรือ เมล็ดของผลไม้ ถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง
- ถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน (Soft artificial char) เช่น ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านกากน้ำตาล ถ่านชังข้าวโพด เป็นต้น

ถ่านหรือวัตถุดิบเหล่านี้ยังไม่มีลักษณะสมบัติในการดูดซับที่ดี จำเป็นต้องนำไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นต่อไป

2.1.6.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ [9]

การผลิตถ่านดูดซับมีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ตัวดูดซับที่มีลักษณะสมบัติอย่างไร และต้องการนำไปดูดซับสารชนิดใด วิธีการโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การบด การอบแห้ง การทำให้เป็นเม็ด แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านและเพิ่มพื้นที่ผิวต่อไป

โดยทั่วไปการผลิตถ่านดูดซับจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุให้เป็นถ่านเรียกว่า ขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อให้ถ่านมีความพรุน และพื้นที่ผิวสูงขึ้น ทำให้เหมาะสมในการนำไปดูดซับสารต่างๆ

1) การทำให้เป็นถ่าน (Carbonization)

คาร์บอนในเข้ชั้น เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) รูปแบบหนึ่ง โดยใช้ความร้อนไล่ความชื้นและสารระเหยได้ต่างๆออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ (Char) สามารถทำได้โดยการนำเอาวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาเผาในสถานะที่ปราศจากออกซิเจน ในขั้นตอนนี้แร่ธาตุต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน จะถูกไล่ออกไปทำให้ได้ถ่านที่มีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมากขึ้น โดยในการทำให้เป็นถ่านมักจะใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงนัก โดยทั่วไปจะเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านที่มีร้อยละของผลผลิตต่ำมาก ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมในการผลิต

การคาร์บอนให้ได้ถ่านที่มีสมบัติที่ต้องการทำได้โดยการปรับภาวะให้เหมาะสมซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้

- อุณหภูมิ
- อัตราการให้ความร้อน
- ตัวกลางของปฏิกิริยา
- ธรรมชาติของวัตถุดิบ

อย่างไรก็ตามพบว่าถ่านที่ผ่านขั้นตอนขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านมีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะมีพื้นที่ผิว และรูพรุนน้อย จึงจำเป็นต้องนำถ่านที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป

2) การเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation)

ขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการช่วยเพิ่มความพรุน และพื้นที่ผิวให้กับถ่านที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นถ่านเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่างๆ โดยการนำถ่านที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี โดยใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับโมเลกุลของคาร์บอนในถ่านให้ป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพื่อให้ถ่านที่ได้มีรูพรุน และพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในการกระตุ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี

- การกระตุ้นทางกายภาพ [9]

เป็นการผลิตถ่านดูดซับ โดยที่ผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยมีการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้างซึ่งเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้

ก๊าซออกซิไดส์ต่างๆ เช่น ไอ้ น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนร่วมกับการใช้ความร้อน โดยก๊าซออกซิไดส์จะไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันดินที่ยังเหลืออยู่ และคาร์บอนบางอะตอมในถ่านให้ หลุดไป ทำให้ถ่านมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

การเกิดปฏิกิริยากับไอ้ น้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอ้ น้ำมีผู้ศึกษาเป็นจำนวนมาก โดยเป็นปฏิกิริยาดูด ความร้อน ซึ่งมีค่าความร้อนของปฏิกิริยาประมาณ 31 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมลถ่าน เรียกปฏิกิริยา ระหว่างคาร์บอนกับไอ้ น้ำว่า ปฏิกิริยาอวเทอร์-ก๊าซ (Water-Gas reaction) ปฏิกิริยาสามารถแสดงใน รูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้น ปฏิกิริยาน่าจะเกิดได้ดี ถ้าหาก ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่จากการศึกษาพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะถูก ควบคุมโดยกลไกการแพร่ของไอ้ น้ำ โดยอะตอมของธาตุคาร์บอนที่อยู่ในชั้นนอกๆจำนวนมากจะ ถูกเผาไหม้ ทำให้ความพรุนของถ่านที่ลดลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านลดลง

ปฏิกิริยาเคมีกับไอ้ น้ำจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 750-950 องศาเซลเซียส โดยออกซิเจน ที่มาจากไอ้ น้ำจะถูกกำจัดออกไปในรูปของออกไซด์ของคาร์บอนเมื่อมากระทบกับคาร์บอน ทำให้ ปริมาณคาร์บอนลดลง ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอ้ น้ำสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่นิยมใช้ได้แก่ สารประกอบออกไซด์และคาร์บอนเตของโลหะหมู่ 1

การเกิดปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 800- 900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบดูดความร้อน มีค่าความร้อนของปฏิกิริยาประมาณ 38.2 กิโล แคลลอรี่ต่อกรัม โมลของถ่าน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



การเกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน

ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านซึ่งทำได้ 2 วิธี

1) ใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อน มีค่าความร้อนของปฏิกิริยาเป็น -54 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



2) ใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อน มีค่าความร้อนของปฏิกิริยาเป็น -92 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



การเกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนมักไม่ค่อยนิยมใช้มากนัก เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ทำให้ควบคุมปฏิกิริยาได้ยาก และออกซิเจนทำให้ถ่านไหม้ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก โดยถ้าเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนทั้ง 2 วิธีข้างต้น พบว่าวิธีที่ 2 นิยมใช้มากกว่า แต่ต้องใช้ร่วมกับสารอินทรีย์ตัวอื่นเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลง

การผลิตถ่านดูดซับ โดยการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิไดส์ มีข้อดีคือ หลังจกผ่านขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจนได้ถ่านดูดซับแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของการล้างสารติดค้างหรือสารพิษที่เหลืออยู่ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก

- การกระตุ้นทางเคมี [9]

การผลิตถ่านดูดซับ โดยวิธีนี้เป็นการนำเอาวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับสารละลายชนิดกรด ปฏิกิริยาเคมีมักเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อได้รับความร้อน เช่น ทำให้เกิดรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการเผาให้เป็นถ่านธรรมดา ผลที่ได้จากการทำเช่นนี้จะทำให้อายุของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ยิ่งกว่านั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาก็ลดต่ำลงด้วย โดยสารเคมีที่ใ้หมักเป็นเกลืออนินทรีย์ของพวกเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งละลายน้ำได้ดี และต่อมานิยมใช้ซิงค์คลอไรด์

หลักการของการผลิตถ่านดูดซับโดยวิธีนี้อธิบายได้ดังนี้ เมื่อนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับเกลืออนินทรีย์ด้วยอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเผาในที่อับอากาศ ณ อุณหภูมิที่จะทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาการ

ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังคงปริมาณของสารที่ระเหยได้ให้น้อยลง เนื่องจากเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงๆ จึงยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบๆ และแทรกอยู่ภายในถ่าน และเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดความชื้นของเกลืออนินทรีย์ ทำให้เกิดการดูด โมเลกุลของน้ำซึ่งแตกตัวให้ไฮโดรเจน ไอออนอยู่ทั่วไปบนวัตถุดิบ ระหว่างนั้นเมื่อให้ความร้อนเข้าสู่ระบบจะทำให้ไฮโดรเจน ไอออนที่อยู่ทั่วไปเกิดการกักร้อนวัตถุดิบขึ้น ทำให้ได้ตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง

โดยหลักการแล้วเกลืออนินทรีย์ทุกชนิดที่ทนต่อการเผาไหม้ได้ น่าจะนำมาใช้ได้ แต่จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติการดูดสี และดูดกลิ่น ของถ่านดูดซับที่เตรียมได้จากซิงค์คลอไรด์นั้นสูงกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากซิงค์คลอไรด์มีความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้มีปริมาณซิงค์คลอไรด์เหลืออยู่บนวัตถุดิบได้มากกว่าเกลือชนิดอื่น ทำให้สามารถดูดความชื้นและให้ไฮโดรเจน ไอออนได้มากกว่า

นอกจากเกลืออนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นสารเคมีสำหรับทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวแล้ว กรดอนินทรีย์ก็นิยมใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวเช่นกัน เนื่องจากสารละลายกรดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจน ไอออน ได้ด้วยตัวของมันเอง โดยกรดที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โดยการผสมสารละลายเหล่านี้ลงไปจะกระจายอยู่ทั่วไปในถ่าน ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีกว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยใช้เกลืออนินทรีย์คือ นอกจากกรดที่ใส่เข้าไปจะทำหน้าที่แตกตัวให้ไฮโดรเจน ไอออน ได้ด้วยตัวของมันเอง กรดบางชนิด เช่น กรดฟอสฟอริก ยังมีความสามารถในการดูดความชื้นอันเป็นการเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจน ไอออน ได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยกรดที่นิยมใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวได้แก่ กรดฟอสฟอริก เนื่องจากมีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง

ข้อดีของการใช้สารละลายกรดในการเกิดปฏิกิริยาเคมีคือ ได้ตัวดูดซับที่มีรูพรุนแทรกซึมอยู่ทั่วเนื้อถ่านโดยใช้อุณหภูมิในการผลิตไม่สูงมากนัก ส่วนข้อเสียคือ ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวออกให้หมดไม่ให้เกิดตกค้างอยู่เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน จึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีซึ่งมีราคาสูง นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดเช่น ซิงค์คลอไรด์ยังมีฤทธิ์กักร้อนภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นลง

จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาจะเป็นการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่เป็นการรวมขั้นตอนของการทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) และการเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation) เข้าด้วยกัน ซึ่งมีข้อดีคือช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้และลดขั้นตอนในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ

2.1.6.3 ลักษณะและชนิดของถ่านกัมมันต์ [11]

ถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีดำ อาจอยู่ในรูปผงหรือเม็ดก็ได้ โดยจะใช้ประโยชน์ในการดูดซับกลิ่น สี หรือก๊าซ โดยทั่วไปมีลักษณะดังต่อไปนี้

- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก
- มีพื้นที่ผิวสูง
- มีความจุในการดูดซับสูง
- มีความว่องไวในการดูดซับสูง
- มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Microporous Structure)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การแบ่ง ดังนี้

1) แบ่งตามชนิดของการกระตุ้น

- กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ร่วมกับความร้อน ถ่านกัมมันต์ที่ได้มักเป็นถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

- กระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน ถ่านกัมมันต์ที่ได้มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ ได้แก่ $ZnCl_2$ และ H_3PO_4 เป็นต้น

2) แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- ขนาดเล็ก (Micropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือสารระเหย

- ขนาดกลาง (Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 200 นาโนเมตร มักใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่ง (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฟอกสี

- ขนาดใหญ่ (Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 200 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

3) แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

- ประเภทผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว

- ประเภทเม็ด (Pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำให้เป็นเกล็ดใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการปฏิกิริยาของก๊าซและใช้ทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ

4) แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ประโยชน์ในภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลดิบหรือนำน้ำให้บริสุทธิ์

- ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

2.1.6.4 การประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรม [12]

ถ่านกัมมันต์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) การดูดซับก๊าซหรือไอ

- กำจัดไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีผลต่อสภาวะแวดล้อมหรือก๊าซลอยทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
- กำจัดกลิ่นในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะในบริเวณปิดที่ซึ่งถ่ายเทอากาศได้ยากหรือไม่บ่อย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น
- ใช้ดูดความชื้น
- ใช้ในการแยกอากาศ

2) การดูดซับในของเหลว

- ใช้ดูดกลิ่น เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้และอุตสาหกรรมการทำน้ำ เป็นต้น
- ใช้ฟอกสีหรือทำให้ใส เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาว อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมการทำน้ำ เป็นต้น
- ใช้ดูดความชื้น เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน เป็นต้น

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชวริน โปยมรัตน์ [1] ศึกษาการแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล-น้ำ ด้วยตัวดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว พบว่า การแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล-น้ำ ด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แล้วคายกลับเอทานอลออกมาด้วยการเพิ่มอุณหภูมินี้ได้ผลดีที่ความเข้มข้นเอทานอลก่อนดูดซับต่ำ โดยในกรณีที่ความเข้มข้นเอทานอลก่อนการดูดซับสูง กระบวนการนี้ไม่สามารถแยกเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากผลของแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเอทานอลมากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์เปียกน้ำมีความสามารถในการดูดซับเอทานอลได้มากกว่าถ่านกัมมันต์แห้ง ดังนั้น แรงตึงผิวจึงมีผลต่อการดูดซับของเหลว และกระบวนการนี้ไม่สามารถแยกเอทานอลออกจากน้ำที่จุดของผสมจุดเดือดคงที่ได้

กณิตา วัฒนะกิจ [3] ศึกษาการเตรียมถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าวด้วยการต้มกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 80 โดยมวล สำหรับการดูดซับเอทานอล พบว่า เมื่อต้มกะลามะพร้าวกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย 200 องศาเซลเซียส กะลามะพร้าวขนาด 7x7 ตร.ซม. สามารถทำให้เป็นถ่านทั้งหมดที่เวลาการต้ม 3 ชั่วโมง ส่วนกะลามะพร้าวขนาด 2x2 ตร.ซม. สามารถทำให้เป็นถ่านทั้งหมดได้ที่เวลาการต้ม 2 ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่า เมื่อทำการต้มนาน 3 ชั่วโมง กะลามะพร้าวขนาด 7x7 ตร.ซม. จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 253 ตารางเมตรต่อกรัมและมีค่าการดูดซับไอโอดีน 510 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อลดขนาดกะลามะพร้าวลงเป็น 2x2 ตร.ซม. พื้นที่ผิวจำเพาะและค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นเป็น 342 ตารางเมตรต่อกรัมและ 636 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับการดูดซับเอทานอลในน้ำ สมดุลดูดซับทั้งหมดสอดคล้องกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงเมียร์และเฮนรี

ปฐมาภรณ์ เสวตจินดากร [5] ศึกษาการดูดซับก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนด้วยถ่านดูดซับที่เตรียมจากเปลือกของผลยางพาราที่ต้มในสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล ที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต้มนาน 1.5 ชั่วโมง จะสามารถทำให้เปลือกผลยางพาราเป็นถ่านได้ทั้งหมด โดยระยะเวลาในการต้มเปลือกผลยางพารา 1-2 ชั่วโมง ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิว BET ถ่านดูดซับมีค่าพื้นที่ผิว BET 7.34 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าการดูดซับไอโอดีนประมาณ 360-380 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสมดุลการดูดซับของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนของถ่านที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกัน

วิสรุต โลจนานนท์ [9] ศึกษาถึงผลของการเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริกต่อสมมูลการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตถ่านดูดซับ พบว่า ปฏิกริยาเคมีระหว่างการเตรียมถ่านดูดซับด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกจะเริ่มเกิดได้รวดเร็วเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกริยาตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป สำหรับการทดลองที่สภาวะ ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกร้อยละ 60 โดยมวล อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผา 120 นาที จะได้ถ่านดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดที่ 986 ตารางเมตรต่อกรัมถ่านดูดซับ โดยค่าคงที่สมมูลการดูดซับที่วัดได้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตามค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงขึ้น

Phussadee Patnukao และคณะ [13] ศึกษาการเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้กรดฟอสฟอริก โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสต่อกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมถ่านดูดซับ พบว่า เมื่อทำการแช่เปลือกไม้ยูคาลิปตัสในกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 โดยมวล ในอัตราส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1239 ตารางเมตรต่อกรัม มีค่าการดูดซับเมทิลลินบลูเท่ากับ 427 มิลลิกรัมต่อกรัมและมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1043 มิลลิกรัมต่อกรัม

Badie S. Girgis และคณะ [14] ศึกษาการเตรียมถ่านดูดซับจากก้านไม้ของต้นฝ้ายโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 500 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านดูดซับ คือ การใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30-65 โดยมวล เนื่องจากจะทำให้ถ่านดูดซับมีการเพิ่มปริมาณของรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) และพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยเมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 65 โดยมวล และทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด เท่ากับ 1032 ตารางเมตรต่อกรัม

Malik และคณะ [15] เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเอทานอลจากสารผสมเอทานอล-น้ำ ในสภาวะของเหลว เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล ด้วยเรซินชนิด IRC-50(H) XAD-2(Macroporous) และถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับเอทานอลออกจากน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งถ่านกัมมันต์จะดูดซับเอทานอลได้มากกว่าน้ำ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) และหมู่อัลดีไฮด์ (-COH)

Jia Guo และคณะ [16] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านดูดซับจากเปลือกผลปาล์มโดยใช้กรดฟอสฟอริก โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกและอุณหภูมิที่ใช้ในการ

สังเคราะห์ถ่านดูดซับที่มีต่อคุณสมบัติถ่านดูดซับ ซึ่งการสังเคราะห์ถ่านดูดซับจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การกระตุ้นด้วยความร้อน และการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งการสังเคราะห์แบบที่กระตุ้นด้วยความร้อนจะใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงกว่าเนื่องจากไม่มีกรดฟอสฟอริกมาช่วยเร่งปฏิกิริยา โดยถ่านดูดซับที่สังเคราะห์แบบกระตุ้นทางเคมี เมื่อใช้อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกร้อยละ 40 โดยมวล จะได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดคือ 1,135 m^2/g ส่วนการสังเคราะห์แบบกระตุ้นด้วยความร้อน เมื่อใช้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 1,062 m^2/g นอกจากนี้ยังพบว่า กรดฟอสฟอริกมีส่วนช่วยในการปรับสภาพพื้นผิวให้มีหมู่ฟังก์ชันของกรด

Yulu Diao และคณะ [17] ได้ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากัญพืชประเภทข้าวสาลีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยการสังเคราะห์ตัวดูดซับจะมี 2 ประเภท คือ การสังเคราะห์แบบ 1 ชั้น และการสังเคราะห์แบบ 2 ชั้น โดยการสังเคราะห์แบบ 1 ชั้น เป็นการสังเคราะห์โดยใช้กรดฟอสฟอริกแล้วทำการกระตุ้นด้วยก๊าซไนโตรเจน ส่วนการสังเคราะห์แบบ 2 ชั้น เป็นการสังเคราะห์ที่นำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันหรือทำให้เป็นถ่านก่อนแล้วจึงไปดำเนินการสังเคราะห์แบบ 1 ชั้น ซึ่งจากผลพบว่า การสังเคราะห์แบบ 1 ชั้น จะได้ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะปานกลางและมีรูพรุนขนาดกลางสูง ส่วนการสังเคราะห์แบบ 2 ชั้น จะได้ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงรวมทั้งมีรูพรุนขนาดกลางสูงเช่นกัน

Yanping Guo และคณะ [18] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านดูดซับจากรำข้าวโดยการสังเคราะห์แบบ 1 ชั้น ด้วยกรดฟอสฟอริกโดยใช้อุณหภูมิในช่วง 170-450 องศาเซลเซียส พบว่า ถ่านดูดซับที่ได้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีหมู่ฟังก์ชันของกรดบนพื้นผิวมากและมีความเป็นกรดเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำ นอกจากนั้นยังพบว่า ถ่านดูดซับจะมีหมู่ฟังก์ชันที่มีหมู่คาร์บอนิลบนพื้นผิวน้อยลงและมีหมู่ฟังก์ชันที่มีฟอสฟอรัสบนพื้นผิวมากขึ้นเมื่อสังเคราะห์ถ่านดูดซับด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดคือถ่านที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 1295 m^2/g

Stephen Bul และคณะ [19] ศึกษาการดูดซับเอทานอลในสารผสมเอทานอล-น้ำ ในสภาวะของเหลว เข้มข้นร้อยละ 8 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส ด้วย Silicalite, Zeolite ZSM-5 และถ่านกัมมันต์ พบว่า Silicalite เป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูดซับเอทานอล โดยความสามารถในการดูดซับเอทานอลของ Silicalite และ ZSM-5 ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของเอทานอล แต่ถ่านกัมมันต์จะมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและจะดูดซับได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Hsisheng Teng และคณะ [20] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านดูดซับจากถ่านหินบิทูมินัสด้วยกรดฟอสฟอริก โดยในส่วนของ การเตรียมถ่านดูดซับจะเริ่มจากการทำอิมเพร็กเนตด้วยกรดฟอสฟอริก แล้วไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง จากผลการวิจัยพบว่า ถ่านดูดซับที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนสูงกว่าการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ซึ่งถ่านดูดซับจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนสูงขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของกรดฟอสฟอริกต่อถ่านหินมากขึ้น โดยถ่านดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนสูงสุด ก็คือถ่านดูดซับที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 854 m²/g และ 0.507 cm³/g ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตตัวดูดซับจากเปลือกของผลยางพาราด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกและการวัดสมมูลการดูดซับ

3.1 การผลิตตัวดูดซับ

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เปลือกผลยางพารา
2. สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 , 50 , 60 และ 70 โดยมวล
3. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Hot plate)
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. ตู้อบ
6. บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
8. น้ำกลั่น

3.1.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. นำเปลือกผลยางพาราไปล้างทำความสะอาดและทำการอบแห้ง หลังจากนั้นจึงนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง โดยที่บดจะมีลักษณะโค้งมน ขนาดประมาณ 1 x 1.5 เซนติเมตร
2. นำเปลือกผลยางพาราในข้อที่ 1. มาแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ในอัตราส่วนของน้ำหนักเปลือกผลยางพาราต่อน้ำหนักสารละลายกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1:3.75 เป็นเวลา 30 นาที
3. กรองสารละลายกรดฟอสฟอริกออกแล้วนำเปลือกผลยางพาราที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ไปล้างกรดออกโดยแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วทำการล้างน้ำจืดที่ผ่านการล้างกรดมีค่า pH ประมาณ 7
5. นำตัวดูดซับที่ผ่านการล้างกรดออกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
6. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเป็นร้อยละ 50 , 60 และ 70 โดยมวล

7. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 2-6 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ เป็น 250 และ 300 องศาเซลเซียส

เพื่อความสะดวกในการรายงานผล จึงกำหนดชื่อของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่สภาวะต่างๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชื่อชนิดของตัวดูดซับที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ

ชนิดตัวดูดซับ	วิธีการเตรียม
4020	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40 wt% อบที่อุณหภูมิ 200 °C
4025	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40 wt% อบที่อุณหภูมิ 250 °C
4030	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40 wt% อบที่อุณหภูมิ 300 °C
5020	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 50 wt% อบที่อุณหภูมิ 200 °C
5025	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 50 wt% อบที่อุณหภูมิ 250 °C
5030	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 50 wt% อบที่อุณหภูมิ 300 °C
6020	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 60 wt% อบที่อุณหภูมิ 200 °C
6025	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 60 wt% อบที่อุณหภูมิ 250 °C
6030	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 60 wt% อบที่อุณหภูมิ 300 °C
7020	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70 wt% อบที่อุณหภูมิ 200 °C
7025	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70 wt% อบที่อุณหภูมิ 250 °C
7030	แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70 wt% อบที่อุณหภูมิ 300 °C

3.2 การวัดสมมูลการดูดซับ

ในขั้นตอนการวัดสมมูลการดูดซับแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การวัดสมมูลการดูดซับน้ำและสมมูลการดูดซับเอทานอล ด้วยตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. ของผสมเอทานอล-น้ำ เข้มข้นร้อยละ 10 , 20 , 30 , 40 และ 50 โดยปริมาตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. บีเปิดขนาด 20 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดความหนาแน่นขนาด 10 มิลลิลิตร

5. เครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเหของแสงแบบพกพา
6. หลอดหยด
7. กระจกทรง

3.2.2 การวัดสมมูลการดูดซับน้ำ

1. นำตัวดูดซับที่เตรียมได้ปริมาณ 8 กรัม บรรจุในขวดรูปชมพู่
2. ผสมน้ำปริมาณ 25 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่เพื่อวัดสมมูลการดูดซับน้ำ โดยทำการเขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที
3. แยกตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับน้ำแล้วมาชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อหาปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับไปทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.2.3 การวัดสมมูลการดูดซับเอทานอล

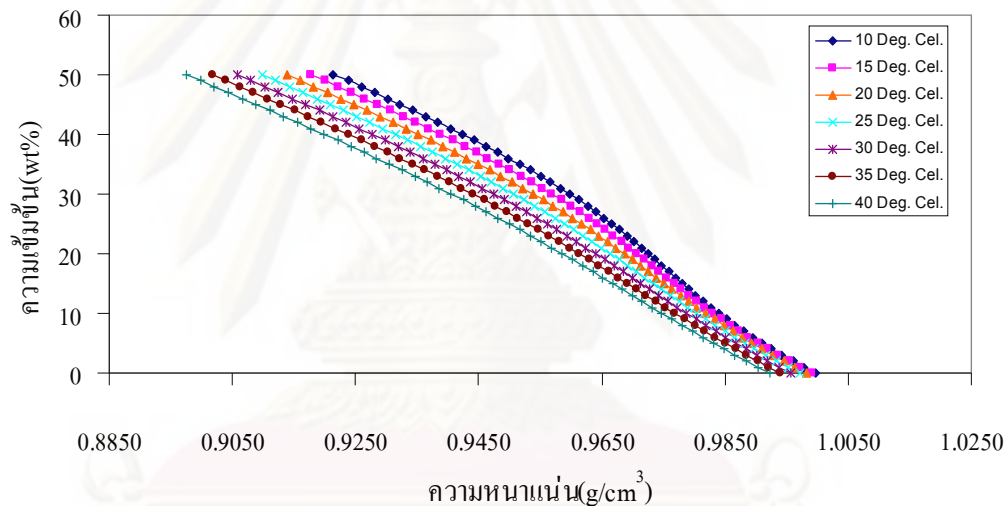
1. เตรียมของผสมเอทานอล-น้ำ โดยนำเอทานอลเข้มข้นประมาณร้อยละ 95 โดยน้ำหนักผสมกับน้ำกลั่น ให้ได้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร แล้วจึงวัดค่าดัชนีหักเหของแสง ความหนาแน่นและอุณหภูมิของสารละลาย
2. นำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ผสมกับของผสมเอทานอล-น้ำ ที่เตรียมได้ในข้อ 1. ลงในขวดรูปชมพู่ โดยใช้น้ำหนักตัวดูดซับต่อน้ำหนักสารละลายเอทานอลในอัตราส่วน 1:3 แล้วทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องและวัดค่าดัชนีหักเหของแสงทุกๆ 30 นาที จนค่าดัชนีหักเหของแสงคงที่
3. กรองตัวดูดซับออกจากสารละลาย ชั่งน้ำหนักตัวดูดซับและน้ำหนักของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งวัดค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหของแสงของสารละลายที่เหลือหลังจากดูดซับที่สมดุล
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมก่อนดูดซับเป็นร้อยละ 20 , 30 , 40 และ 50 โดยปริมาตร
5. นำค่าดัชนีหักเหของแสงที่ได้จากการทดลองไปแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล โดยใช้ Calibration curve ที่สร้างจากข้อมูลการทดลองของชวริน โปยมรัตน์ [1] แล้วนำไปพล็อตกราฟหาแบบจำลองสมมูลดูดซับที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

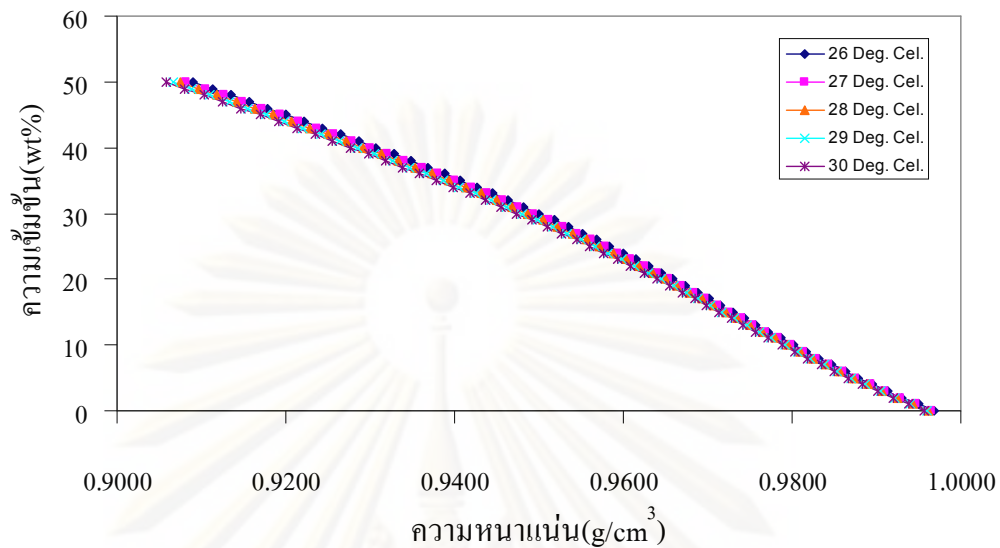
4.1 การหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงกับความเข้มข้นของของผสม เอทานอล-น้ำ

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นเดียวกัน ความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถหาได้จากข้อมูลที่มีผู้รายงานไว้ [10] ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ

จากกราฟรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่างๆกัน เมื่อค่าความเข้มข้นเท่ากันจะมีค่าความหนาแน่นที่ต่างกัน และพบว่า ที่ค่าความเข้มข้นเท่ากันความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ ระบบที่ทำการศึกษามีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ ในช่วงดังกล่าวสามารถหาได้โดยการประมาณค่าระหว่างกลาง (interpolation) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส

จากกราฟรูปที่ 4.2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นและความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 26 ถึง 30 องศาเซลเซียส ได้ดังนี้

$$C = a + b(\ln \rho) + c(\ln \rho)^2 + d(\ln \rho)^3 \quad (4.1)$$

กำหนดให้ C = ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล(wt%)
 ρ = ความหนาแน่นของสารละลายเอทานอล(g/cm^3)
 a, b, c, d = ค่าคงที่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไป

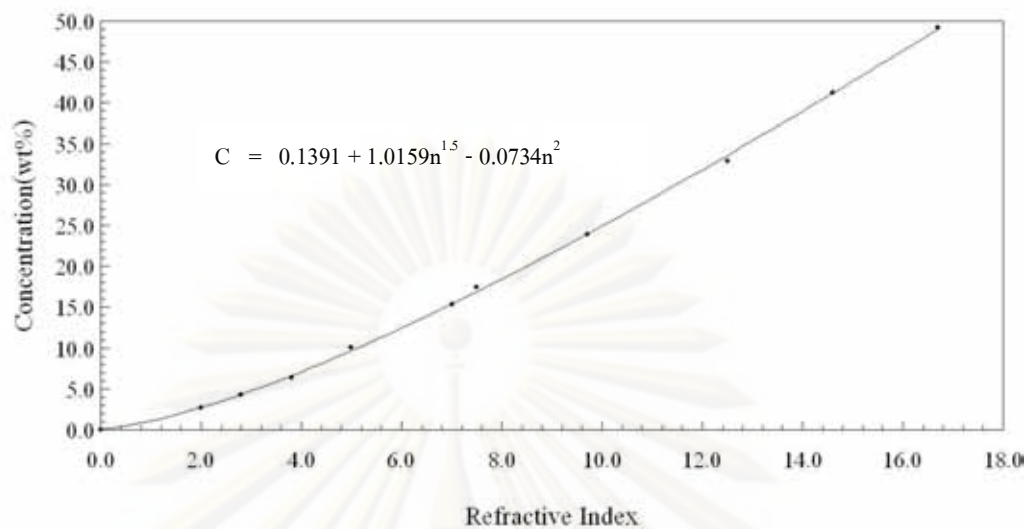
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ต่างๆจากสมการที่ 4.1 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

ค่าคงที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				
	26	27	28	29	30
a	-2.9398	-3.0973	-3.2547	-3.4101	-3.5627
b	-671.3650	-668.5051	-665.9446	-663.3073	-660.6587
c	27.7886	-50.5026	-132.6846	-207.7707	-279.3904
d	13736.8525	12711.0020	11692.9902	10754.5481	9867.2853
R^2	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996

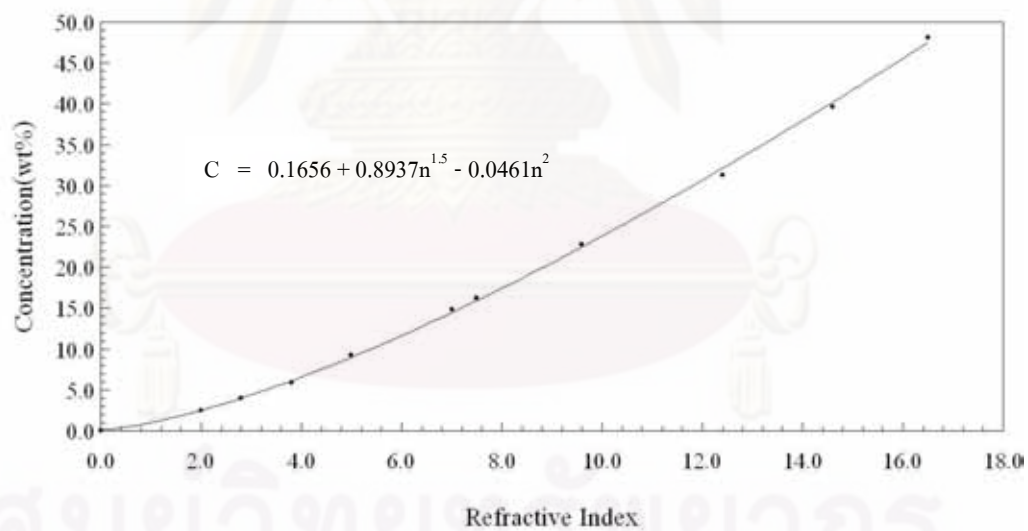
จากการทดลอง เมื่อหาค่าความหนาแน่นของของผสมเอทานอล-น้ำ ได้แล้ว สามารถนำค่าความหนาแน่นที่ได้ไปคำนวณในสมการที่ 4.1 เพื่อหาค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์โดยมวลได้ ซึ่งการคำนวณค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ จากค่าความหนาแน่นจะนำไปใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่ได้จากการวัดค่าดัชนีหักเหของแสง โดยจะตรวจสอบในส่วนของ การเตรียมของผสมเอทานอล-น้ำ เริ่มต้นก่อนดูดซับและการวัดความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ หลังสมดุล

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ (Calibration curve) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

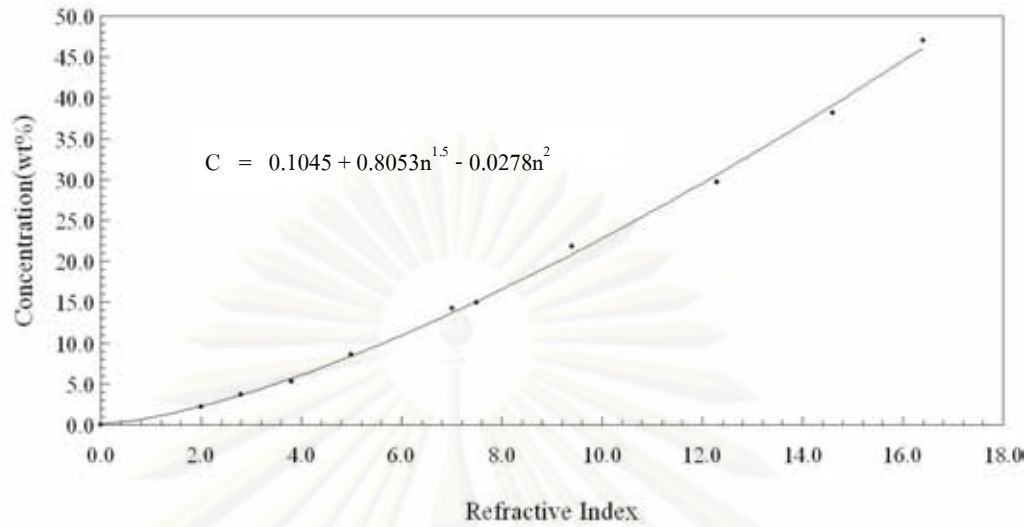
จากผลการทดลองวัดค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 26 , 28 และ 30 องศาเซลเซียส [1] ก็จะสามารถนำค่าความหนาแน่นที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์โดยมวลได้จากสมการ 4.1 ซึ่งจะสามารถนำค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีหักเหของแสงที่อุณหภูมิต่างๆ แต่จากงานวิจัยนี้ อุณหภูมิของระบบที่ทำการศึกษาคืออยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ดังนั้น จะขอแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (wt%) กับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 28 , 29 และ 30 องศาเซลเซียสเท่านั้น และเนื่องจากข้อมูลผลการทดลองวัดค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ [1] มีเพียงข้อมูลที่อุณหภูมิ 28 และ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (wt%) กับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการประมาณค่าระหว่างกลาง (interpolation) ซึ่งจากข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ จะนำไปหาการพอดิเส้นโค้งโดยใช้โปรแกรมคิต้าฟิต (DataFit) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอลน้ำ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอลน้ำ ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความเข้มข้นและค่าดัชนีหักเหของแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ได้ดังนี้

$$C = a + bn^{1.5} + cn^2 \quad (4.2)$$

กำหนด C = ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (wt%)
 n = ค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index)
 a, b, c = ค่าคงที่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ต่างๆจากสมการที่ 4.2 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

ค่าคงที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)		
	28	29	30
a	0.1391	0.1656	0.1045
b	1.0159	0.8937	0.8053
c	-0.0734	-0.0461	-0.0278
R^2	0.9996	0.9993	0.9982

จากค่าดัชนีหักเหของแสงที่ได้จากการทดลองจะสามารถเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยมวลได้จากสมการ 4.2 ซึ่งค่าความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่คำนวณได้จากเครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเหของแสงจะมีความใกล้เคียงกับการใช้ขวดวัดความหนาแน่นในการหาค่าความเข้มข้นจากสมการที่ 4.1 ซึ่งการหาค่าความเข้มข้นโดยใช้การวัดค่าดัชนีหักเหของแสงจะสามารถทำได้รวดเร็วและใช้สารละลายในการวัดในปริมาณที่น้อยกว่าการวัด โดยใช้ขวดวัดความหนาแน่น เนื่องจาก การใช้สารละลายในการวัดหาค่าความเข้มข้นในปริมาณมากจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในส่วนของหาค่าความหนาแน่นเอทานอลที่ถูกดูดซับ ดังนั้น การวัดความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเหของแสงจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

4.2 สมดุลการดูดซับน้ำ

เนื่องจากตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้นั้นจะมีความพรุน น้ำจึงสามารถถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนด้วยหลักการดูดซับด้วยแรงดึงดูด เช่นเดียวกับวัสดุอื่นๆที่มีรูพรุน เช่น ฟองน้ำ เป็นต้น ซึ่งปริมาณการดูดซับน้ำจะเป็นตัวบอกคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวดูดซับที่จะนำไปใช้ในการวัดสมดุลดูดซับของผสมเอทานอล-น้ำ โดยการดูดซับของเหลวจะแตกต่างกับการดูดซับก๊าซ เนื่องจากของเหลวมีค่าการแพร่ต่ำเมื่อเทียบกับการแพร่ของก๊าซ ทำให้การดูดซับน้ำจะต้องใช้เวลาในการดูดซับนานเพื่อให้เกิดสมดุลการดูดซับอย่างแท้จริง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาในการทดลอง จึงต้องทำการวัดสมดุลการดูดซับน้ำเมื่อปริมาณการดูดซับน้ำค่อนข้างคงที่หลังจากเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับจะยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถทำนายหาปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลจากการนำผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในส่วนของภาคผนวก จ. มาหาความสัมพันธ์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_c A} \right) \frac{1}{t} + \frac{1}{q_c} \quad (4.3)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับสมการของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ดังแสดงในสมการ 2.4 ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพื่อที่จะนำไปสู่การหาปริมาณการดูดซับสูงสุดที่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ดังนั้น สมการที่ 4.3 จึงเป็นสมการที่เลียนแบบพฤติกรรมของแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปต่อปริมาณการดูดซับน้ำ โดยปริมาณการดูดซับน้ำจะมีค่ามากขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งเช่นเดียวกันซึ่งเป็นค่าปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลจากสมการ 4.3 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุล (q_c) คำนวณจากจุดตัดแกนตั้งของความสัมพันธ์

เส้นตรงระหว่างส่วนกลับของปริมาณสมมูลดูดซับน้ำจำเพาะ ($1/q$) กับส่วนกลับของเวลา ($1/t$) โดยปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลของตัวดูดซับแต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์จากสมการที่ 4.3

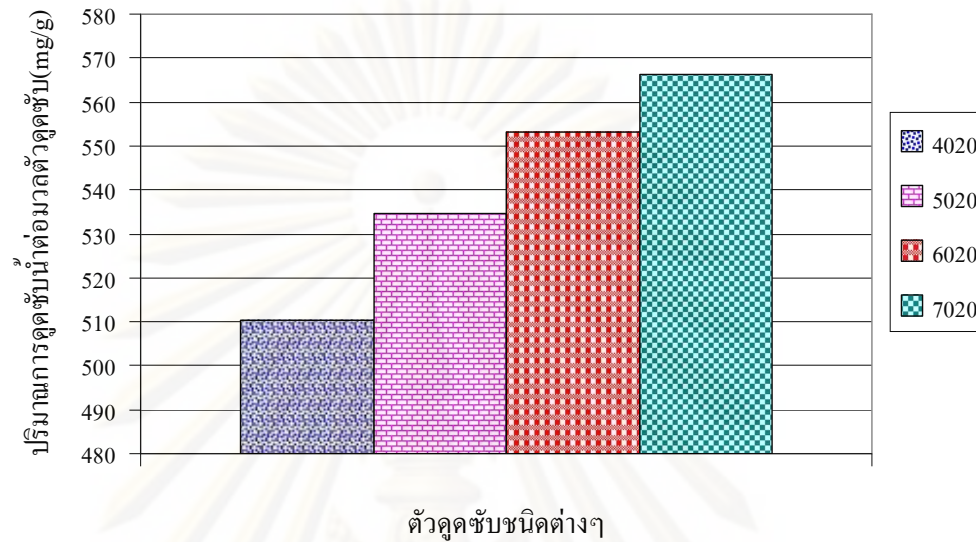
ตัวดูดซับ	q_c (mg/g)
4020	510.31
4025	540.69
4030	582.04
5020	534.73
5025	563.57
5030	593.89
6020	553.04
6025	588.62
6030	615.16
7020	566.19
7025	602.12
7030	634.48

จากผลการทดลองวัดสมมูลการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับขึ้นกับปัจจัย 2 ประการดังนี้

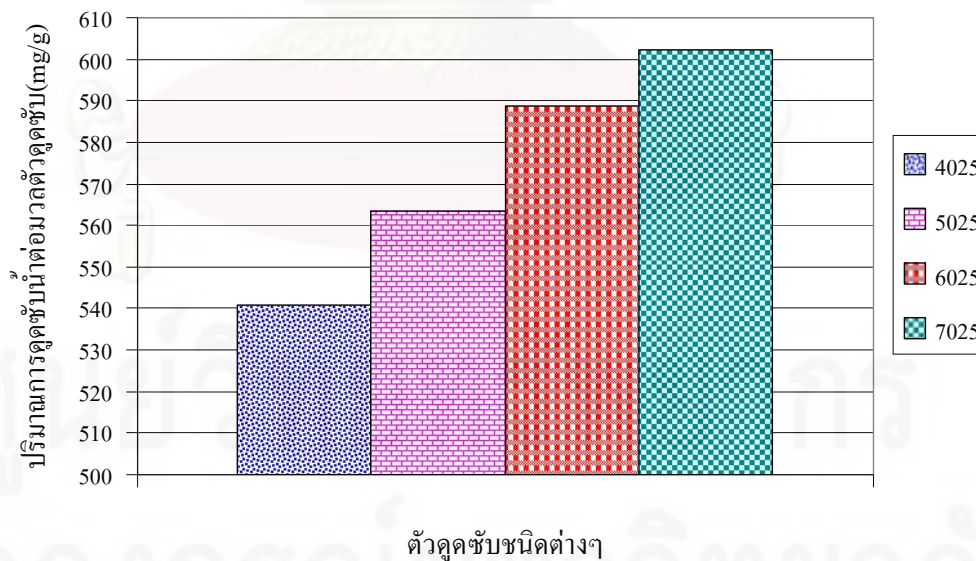
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกพบว่า เมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จะมีปริมาณการดูดซับน้ำมากขึ้น เนื่องจาก กรดฟอสฟอริกเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ เมื่อใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณกรดที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทำให้เปลือกของผลยางพาราเปลี่ยนสภาพ

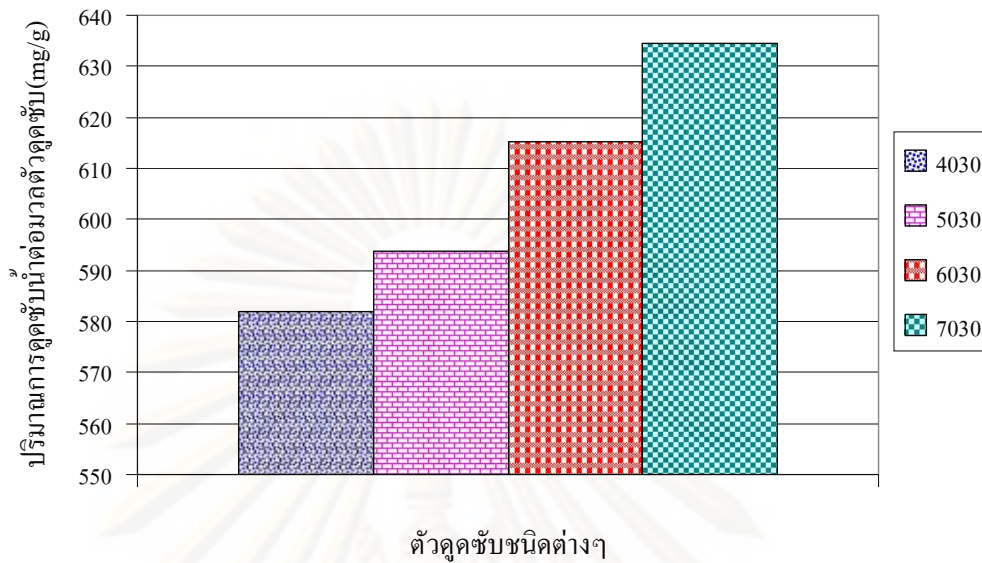
เป็นถ่านได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปมีปริมาณการดูดซับน้ำจำเพาะมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.8



รูปที่ 4.6 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างๆ



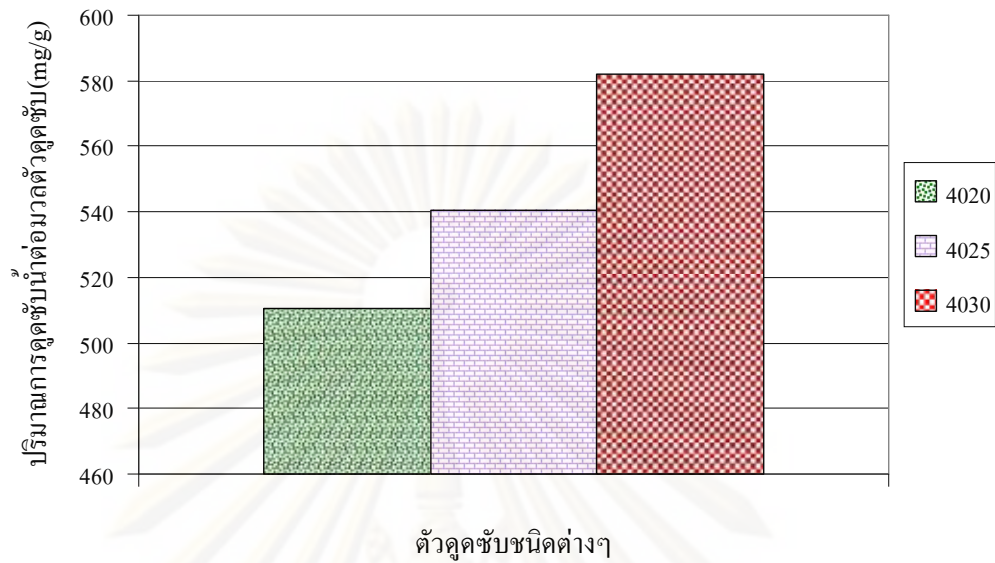
รูปที่ 4.7 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างๆ



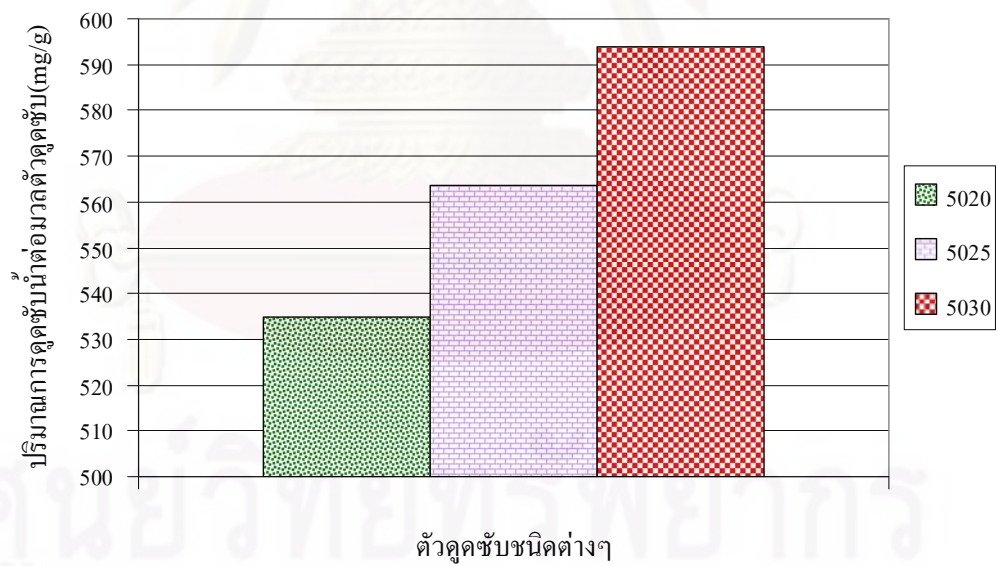
รูปที่ 4.8 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำ

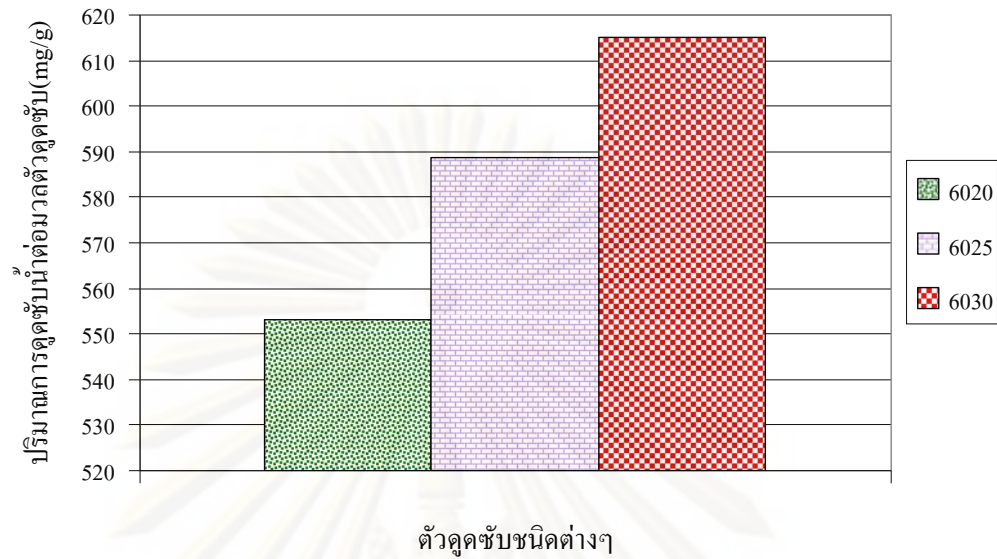
เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ ซึ่งจากงานวิจัยของ วิสรุต โลจนานนท์ [9] แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเปลือกถั่วลิสงกับสารละลายกรดฟอสฟอริกจะเริ่มเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส จึงทำให้ในงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวดูดซับเริ่มต้นที่ 200 องศาเซลเซียส โดยเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับพบว่า เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับสูงขึ้น จะเกิดการแตกตัวของพันธะเซลลูโลสด้วยความร้อน ทำให้อะตอมของธาตุอื่นๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นต้น หรือสารประกอบที่ระเหยง่าย หลุดออกมาในรูปของก๊าซมากขึ้น ทำให้เปลือกของผลของพาราที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นถ่านมากขึ้น จึงส่งผลให้ตัวดูดซับมีปริมาณการดูดซับน้ำมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9-4.12



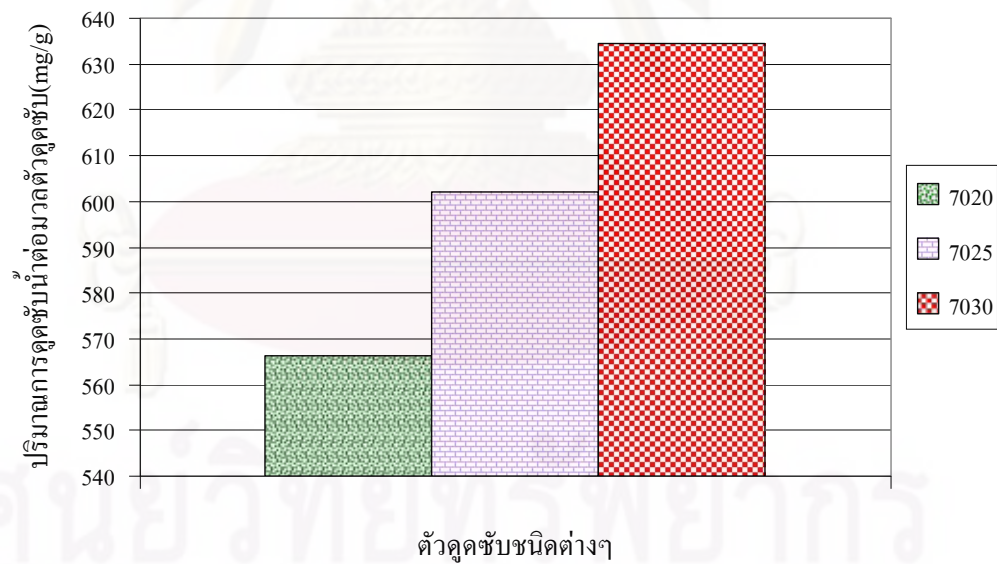
รูปที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น ร้อยละ 40 โดยมวล ด้วยอนุหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น ร้อยละ 50 โดยมวล ด้วยอนุหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.11 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวคูณที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น ร้อยละ 60 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.12 ปริมาณการดูดซับน้ำของตัวคูณที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น ร้อยละ 70 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นจากงานวิจัยนี้ จะพบว่า ตัวดูดซับที่มีปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุดคือตัวดูดซับชนิด 7030 โดยมีปริมาณการดูดซับน้ำเท่ากับ 634.48 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากต้นกล้วยโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [21] จะพบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำของถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากต้นกล้วยไม่ได้มากขึ้นตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่สูงขึ้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับ โดยจะมีปริมาณการดูดซับน้ำสูงสุดเมื่อเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมีค่าเท่ากับ 7,231 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่สูงเกินไปจะทำให้โครงสร้างของถ่านดูดซับถูกทำลาย ทำให้ถ่านดูดซับมีลักษณะเปราะและแตกหักง่าย ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับน้ำของถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากต้นกล้วยกับตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากต้นกล้วยจะมีปริมาณการดูดซับน้ำมากกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ถึง 11 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของต้นกล้วยเป็นเซลลูโลสที่มีความชื้นสูง และมีลักษณะคล้ายผนังเซลล์ที่ถูกแบ่งออกเป็นห้อง เมื่อนำไปสังเคราะห์เป็นถ่านดูดซับโดยคงลักษณะโครงสร้างไว้เช่นเดิมได้จึงทำให้ถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากต้นกล้วยมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำสูงกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้

4.3 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ

จากการวัดสมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ มีค่าต่ำ ตัวดูดซับจะสามารถดูดซับเอทานอลได้น้อย เนื่องจากสารละลายเอทานอลมีส่วนของน้ำในปริมาณมาก ซึ่งตัวดูดซับจะดูดซับเอทานอลเข้าไปในรูพรุนพร้อมไปกับน้ำโดยการถูกดูดซับด้วยแรงตึงผิว แต่เมื่อความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ มีค่าสูงขึ้น จะมีปริมาณของเอทานอลในสารละลายในสัดส่วนที่มากขึ้น ทำให้เอทานอลถูกดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับในปริมาณมากขึ้นเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์ (-COH) และหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์และหมู่คาร์บอกซิลิกที่ผิวของถ่านดูดซับมีความสามารถในการดูดซับเอทานอลได้สูงกว่าน้ำ [15]

จากผลการทดลองที่ได้ เราสามารถนำไปหาความสัมพันธ์กับแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่เหมาะสม ซึ่งแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่ได้จะสามารถใช้ในการทำนายปริมาณการดูดซับเอทานอลและน้ำแทนผลการทดลอง โดยแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่เหมาะสม คือแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด โดยจะพิจารณาหาแบบจำลองสมดุลการดูดซับเอทานอลและน้ำที่เหมาะสมจากค่าผลรวมของผลต่างระหว่างค่าปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมดุลการดูดซับกับค่าปริมาณสมดุลการดูดซับจำเพาะที่ได้จากการทดลองยก

กำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$) โดยแบบจำลองสมมูลดูดซับที่มีค่าผลรวมของผลต่างระหว่างค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมมูลดูดซับกับค่าปริมาณสมมูลดูดซับจำเพาะที่ได้จากการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$) น้อยที่สุดจะเป็นแบบจำลองสมมูลดูดซับที่สอดคล้องและเหมาะสมกับการทดลอง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการสังเคราะห์ตัวดูดซับเป็นจำนวนมากทำให้ยากต่อการรายงานผลทั้งหมด ดังนั้น เพื่อความสะดวกและความกระชับในการรายงานผล จะขอ ยกตัวอย่างการพิจารณาหาแบบจำลองสมมูลดูดซับเอทานอลและน้ำที่เหมาะสมของตัวดูดซับ 7030 ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลดูดซับเอทานอลจำเพาะของตัวดูดซับ 7030 ด้วยแบบจำลองสมมูลดูดซับประเภทต่างๆและผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$)

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.2865	K_L	0.0033215	K_F	3.9849
		q_{max}	666.67	n	0.7962
R^2	0.9895	R^2	0.9916	R^2	0.9965
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
41.047	568.987	63.881	1.040	62.776	4.513
127.973	385.251	165.566	322.746	155.234	58.270
246.835	10.123	259.489	89.716	261.900	141.194
348.440	149.383	315.718	2019.975	344.621	257.303
447.233	364.687	357.263	5023.092	420.393	59.964
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	1478.43	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	7456.57	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	521.24

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชกับผลการทดลองยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรีและแลงมัวร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด จึงสรุปได้ว่า สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับ 7030 มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช โดยสามารถเขียนสมการแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิชได้ดังสมการที่ 4.4

$$q = 3.9849C^{0.7962} \quad (4.4)$$

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับน้ำจำเพาะของตัวดูดซับ 7030 ด้วยแบบจำลอง สมดุลดูดซับประเภทต่างๆและผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$)

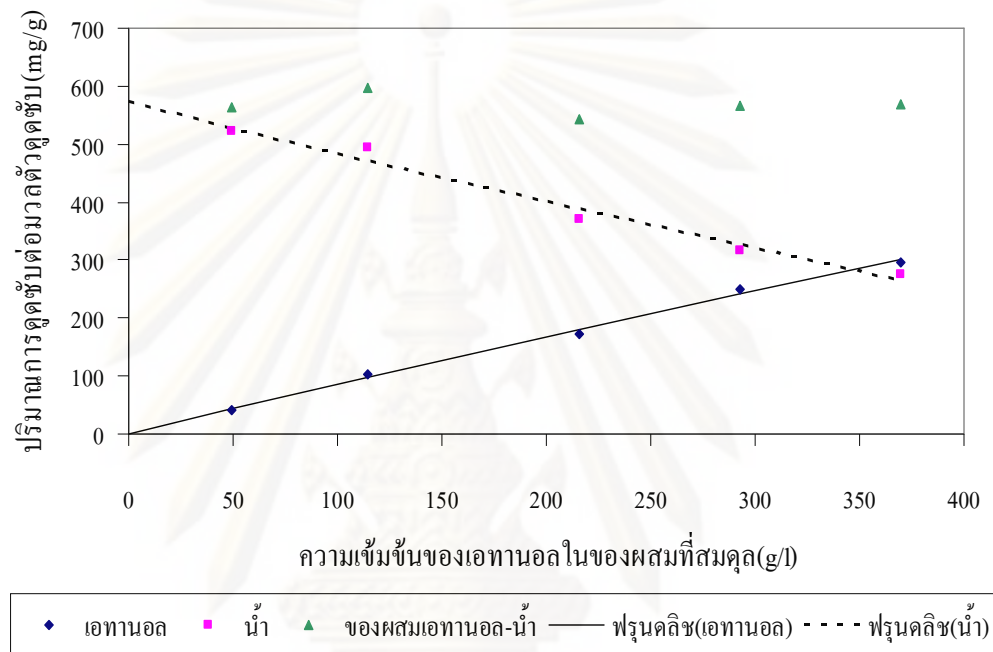
Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	0.6434	K_L	0.000452	K_F	0.021545
		q_{max}	909.09	n	1.5066
R^2	0.8826	R^2	0.9931	R^2	0.9918
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
616.439	2651.734	695.032	734.260	668.556	0.386
565.966	1254.091	600.530	0.720	587.818	183.905
496.679	382.150	487.581	109.221	482.833	32.519
436.676	2908.091	402.592	393.720	397.698	223.455
377.626	2400.481	328.479	0.023	319.514	83.121
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	9596.547	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	1237.944	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	523.387

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลอง สมดุลดูดซับของฟรุนดลิชกับผลการทดลองยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง สมดุลดูดซับของเฮนรีและแลงมัวร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณจากแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด จึงสรุปได้ว่า สมดุลการดูดซับน้ำของตัวดูดซับ 7030 มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช โดยสามารถเขียนสมการแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชได้ดังสมการที่ 4.5

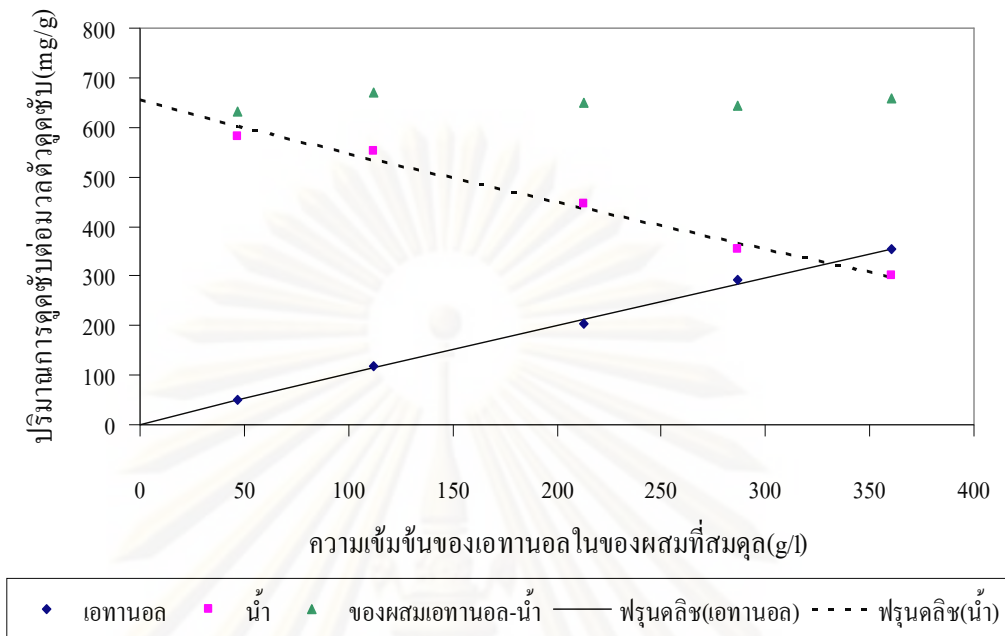
$$q = 0.0215C^{1.5066} \quad (4.5)$$

นอกจากนี้สมดุลการดูดซับเอทานอลและน้ำของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่เหลือมีความสัมพันธ์กับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชเช่นเดียวกัน โดยในส่วนของสมดุลการดูดซับเอทานอลจะมีตัวดูดซับบางชนิดที่มีปริมาณการดูดซับเอทานอลที่ได้จากแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีและแลงมัวร์ใกล้เคียงกับปริมาณการดูดซับเอทานอลที่ได้จากการทดลองเช่นเดียวกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช ซึ่งสามารถเลือกใช้แบบจำลองสมดุลดูดซับได้โดยพิจารณา

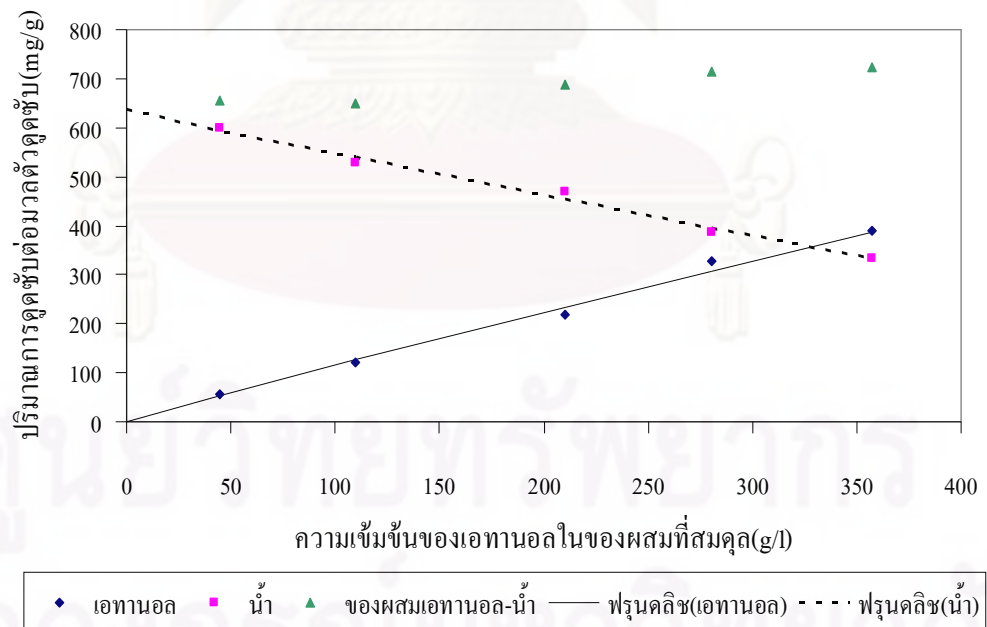
จากข้อมูลผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง ($\Sigma(\Delta q)^2$) ดังแสดงในส่วนของภาคผนวก ข. จึงสรุปได้ว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเปลือกของผลยางพาราตามสถานะที่ศึกษาในงานวิจัยนี้สำหรับการวัดสมมูลการดูดซับเอทานอลและน้ำมีความสอดคล้องและเหมาะสมกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนดลิช โดยสมมูลดูดซับเอทานอล สมมูลดูดซับน้ำและสมมูลดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับแต่ละชนิดจะแสดงดังต่อไปนี้



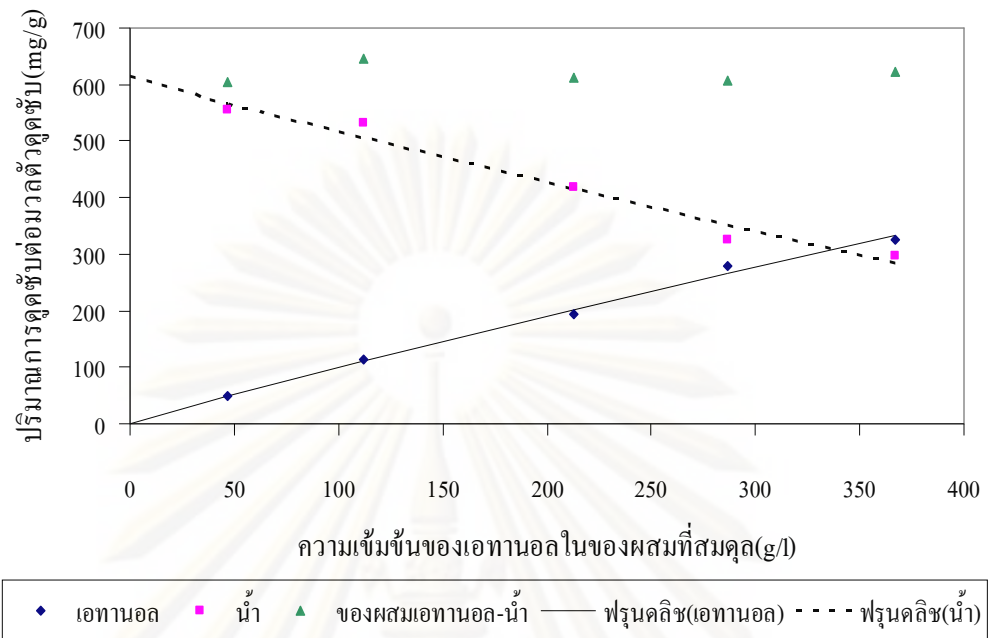
รูปที่ 4.13 สมมูลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4020



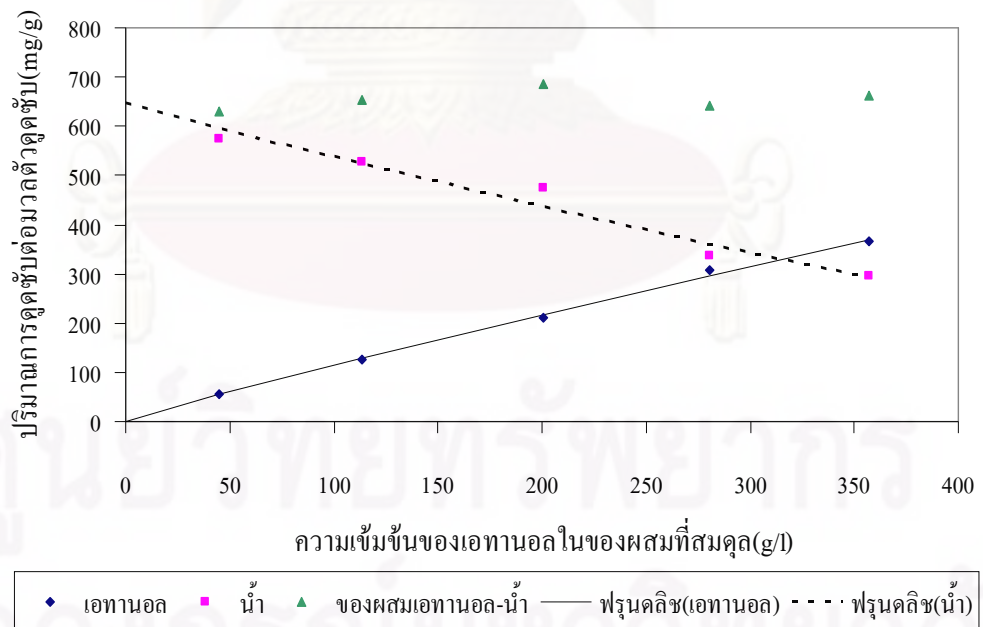
รูปที่ 4.14 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4025



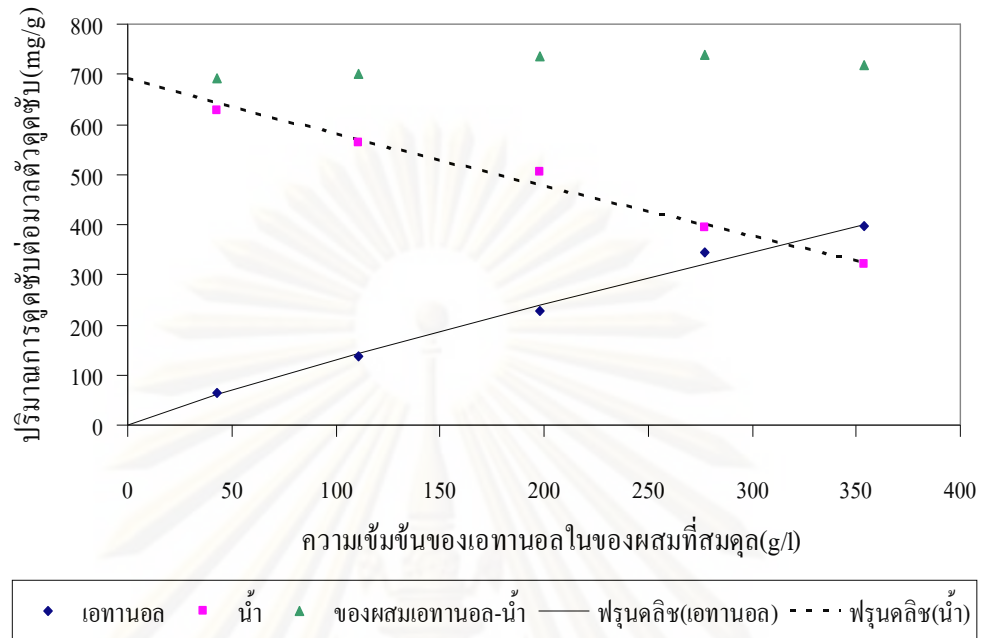
รูปที่ 4.15 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 4030



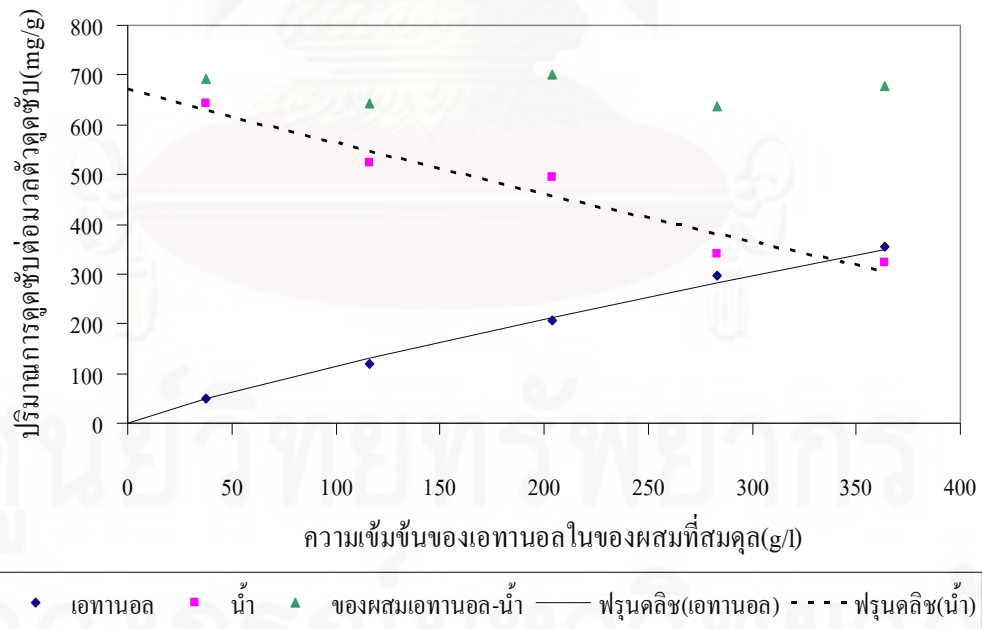
รูปที่ 4.16 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5020



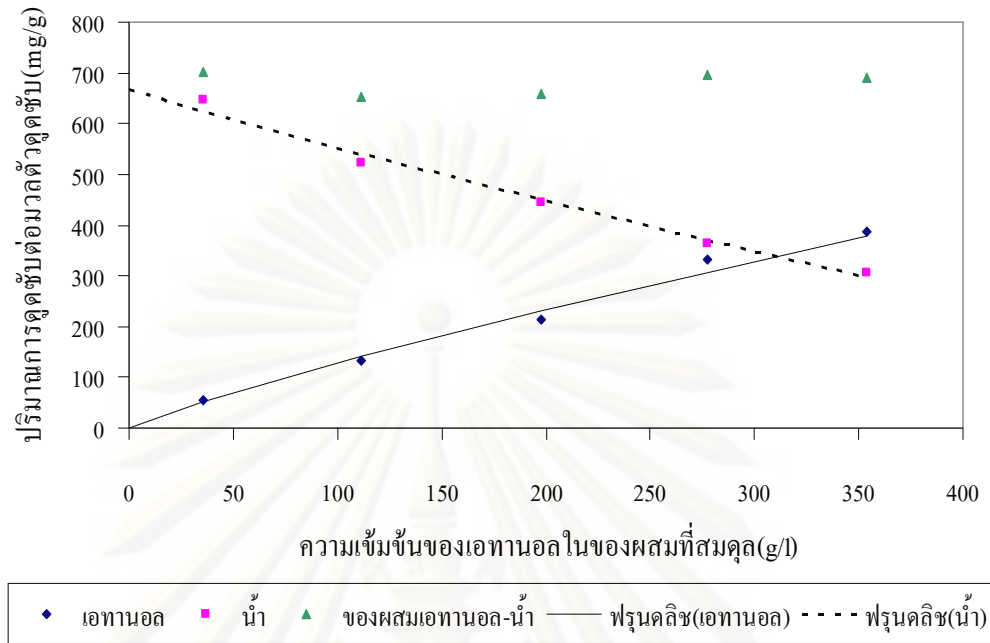
รูปที่ 4.17 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5025



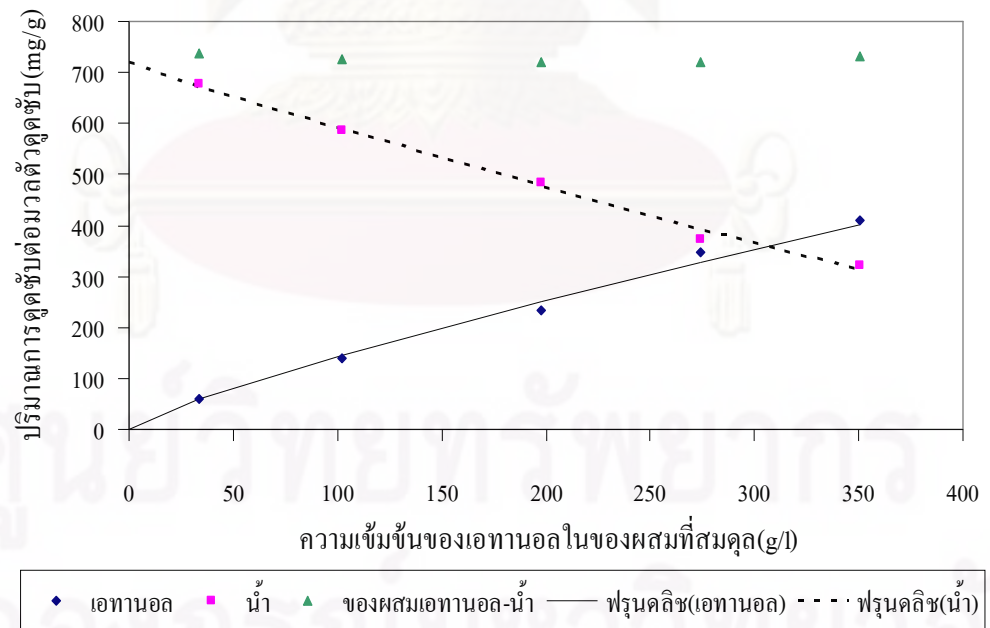
รูปที่ 4.18 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 5030



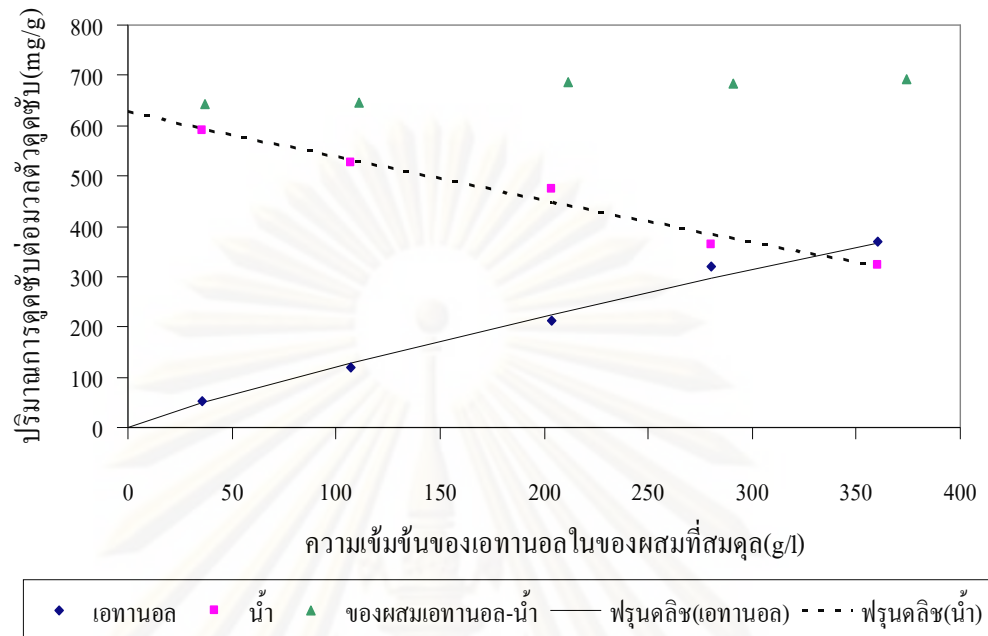
รูปที่ 4.19 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6020



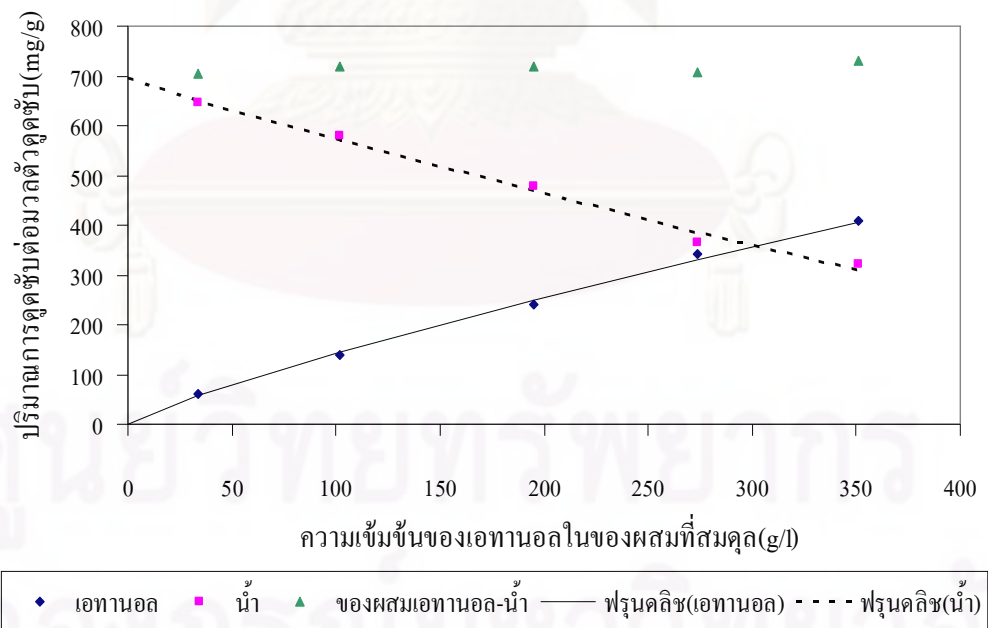
รูปที่ 4.20 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6025



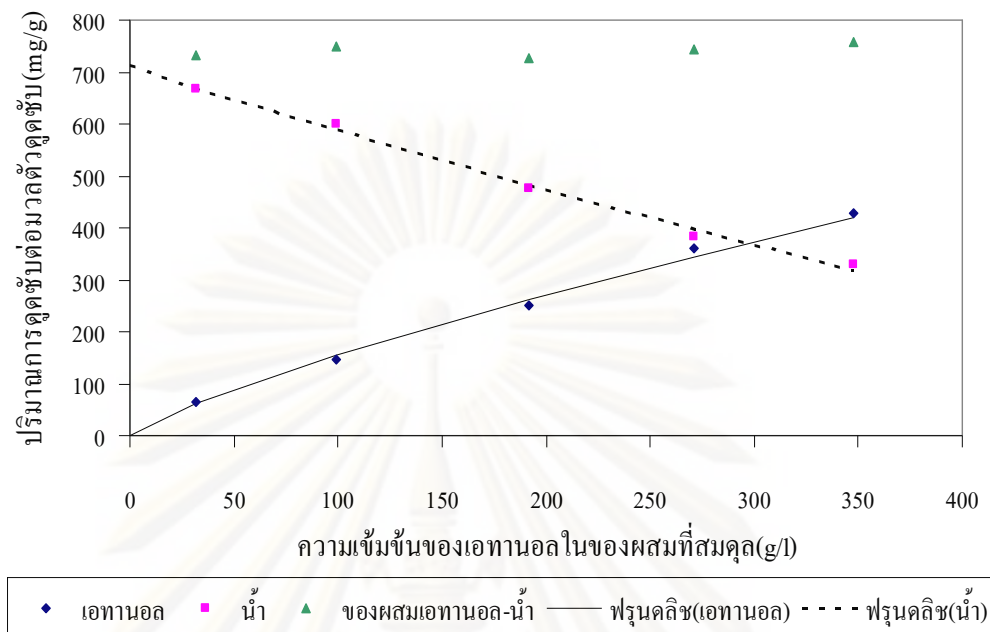
รูปที่ 4.21 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 6030



รูปที่ 4.22 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7020



รูปที่ 4.23 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7025



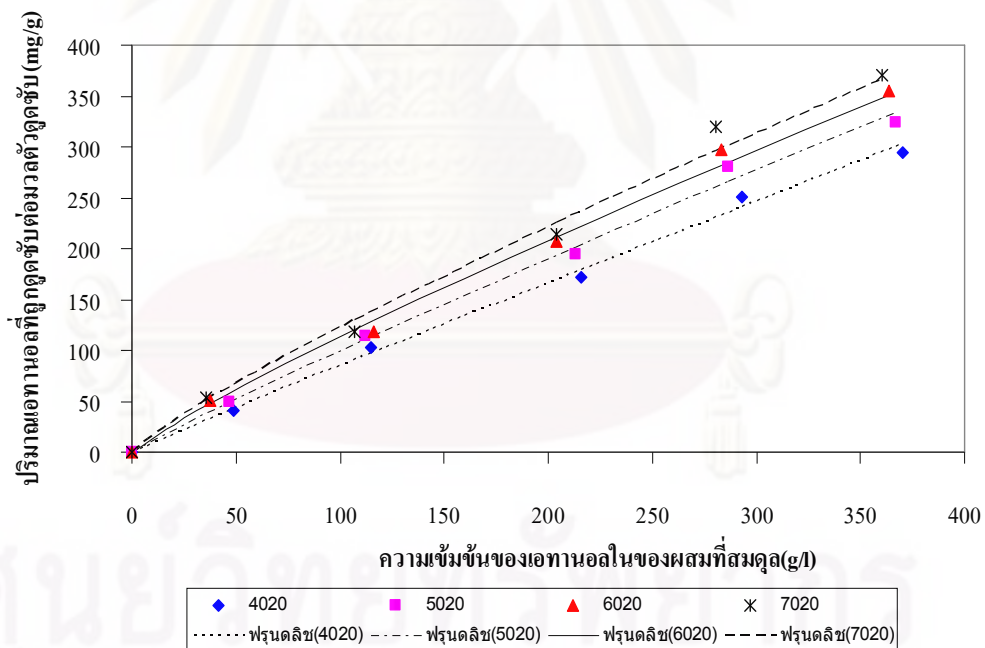
รูปที่ 4.24 สมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับชนิด 7030

จากผลของสมดุลการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ด้วยตัวดูดซับแต่ละชนิดดังแสดงในรูป 4.13-4.24 พบว่า ปริมาณการดูดซับเอทานอลและน้ำ ของตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือ เมื่อความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ มีค่าสูงขึ้น ตัวดูดซับทุกชนิดจะมีแนวโน้มปริมาณการดูดซับเอทานอลที่มากขึ้นและมีปริมาณการดูดซับน้ำน้อยลง และจากงานวิจัยของชวริน โภยมรัตน์[1] พบว่า เมื่อความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ สูงขึ้น ถ่านดูดซับจะมีปริมาณการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ได้น้อยลง เนื่องจาก น้ำมีแรงดึงดูดมากกว่าเอทานอล เมื่อมีปริมาณเอทานอลในของผสมมากขึ้นจะส่งผลให้ของผสมมีแรงดึงดูดน้อยลง ทำให้ถ่านดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ได้น้อยลง แต่จากงานวิจัยนี้ปริมาณการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ไม่เป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยของชวริน โภยมรัตน์ เนื่องจากตัวดูดซับบางชนิดเช่น ตัวดูดซับชนิด 4030 , 7020 , 7025 และ 7030 จะมีปริมาณการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้นสูงขึ้นดังแสดงในภาคผนวก จ. โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากของผสมเอทานอล-น้ำ ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะมีความหนืดมากขึ้นหรืออาจจะเป็นผลจากความหนาแน่นที่ลดลง จึงส่งผลให้ตัวดูดซับชนิดดังกล่าวดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ได้มากขึ้น ซึ่งตัวดูดซับบางชนิดจะมีแนวโน้มการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ไม่เป็นไปในทางเดียวกันกับตัวดูดซับที่กล่าวข้างต้น เนื่องจาก ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้อาจมีคุณสมบัติไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้ตัวดูดซับไม่มี

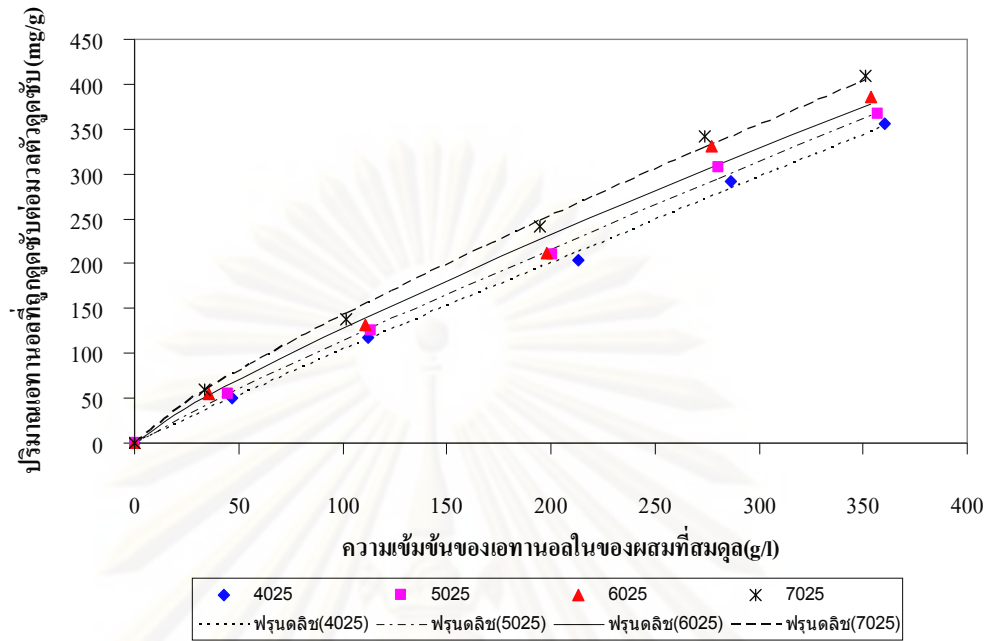
แนวโน้มปริมาณการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ เริ่มต้นสูงขึ้น

4.3.1 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมมูลการดูดซับเอทานอลและสมมูลการดูดซับน้ำ

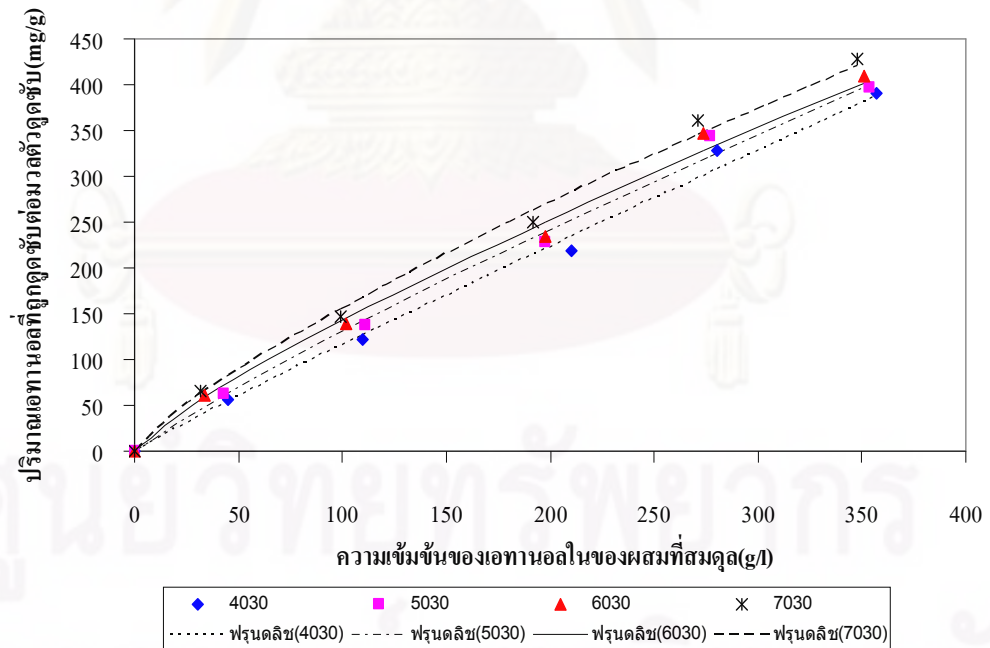
การผลิตถ่านดูดซับ โดยปกติในขั้นตอนของการทำให้เป็นถ่านจะใช้อุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน [22] โดยในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับอยู่ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส ซึ่งการอบโดยไม่ใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกช่วยเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเปลือกของผลยางพาราให้เป็นถ่านได้ ดังนั้น สารละลายกรดฟอสฟอริกจึงมีบทบาทสำคัญที่ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาทำให้เปลือกของผลยางพาราสามารถเปลี่ยนเป็นถ่านได้เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส จากผลของการวัดสมมูลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 , 250 และ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ จะแสดงในรูปที่ 4.25-4.27



รูปที่ 4.25 สมมูลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.26 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

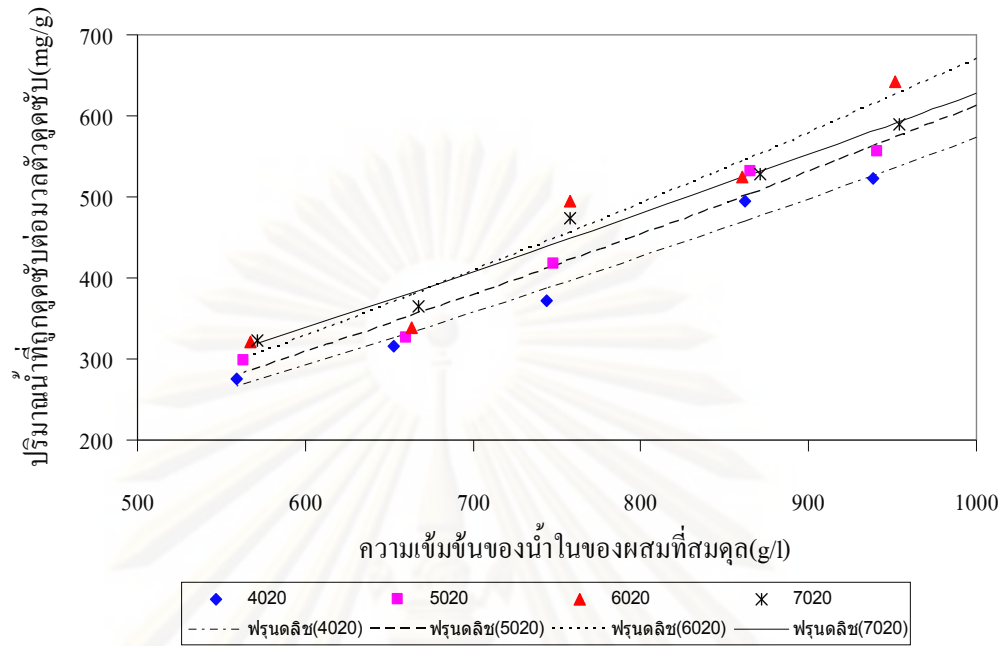


รูปที่ 4.27 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

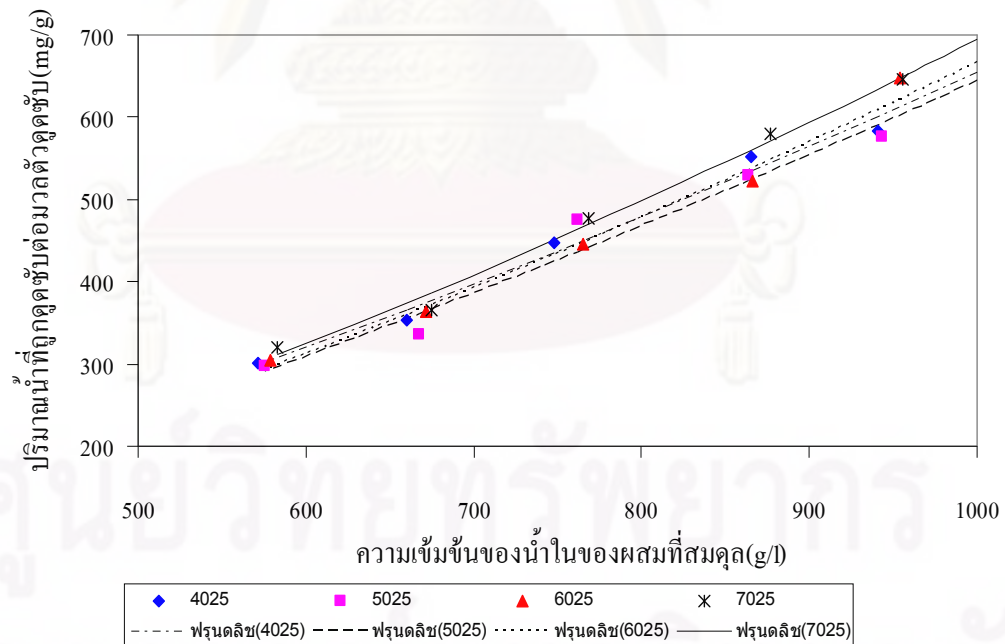
เมื่อพิจารณาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอนุหภูมิ 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมที่สมดุลมีค่าต่ำอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 g/l ปริมาณการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารละลายเอทานอลมีส่วนค่าน้ำในปริมาณมาก ซึ่งตัวดูดซับจะดูดซับเอทานอลเข้าไปในรูพรุนพร้อมกับน้ำทำให้ความสามารถในการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับแต่ละชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับเอทานอล ได้ชัดเจนขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจะสามารถดูดซับเอทานอลได้ในปริมาณมากขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดฟอสฟอริกที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทำให้เปลือกของผลยางพาราเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์และหมู่คาร์บอกซิลิกบนพื้นผิวของตัวดูดซับมากขึ้น จึงส่งผลให้ตัวดูดซับเลือกที่จะดูดซับเอทานอลได้ในปริมาณที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอนุหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าที่ทุกช่วงความเข้มข้นของเอทานอลในของผสม ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆจะมีปริมาณการดูดซับเอทานอลที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการสังเคราะห์ตัวดูดซับจากเปลือกผลยางพาราด้วยอนุหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นอนุหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะสามารถเปลี่ยนเปลือกผลยางพาราให้เป็นถ่านได้ทั้งหมดจึงทำให้ปริมาณการดูดซับเอทานอลใกล้เคียงกัน

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงสมดุลดูดซับเอทานอล-น้ำ ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 5-40 โดยมวล ซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลายในของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อยู่ในสถานะของเหลว จึงยากที่จะหลีกเลี่ยงการดูดซับน้ำเข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับ แม้ว่าตัวดูดซับชนิดถ่านจะเป็นตัวดูดซับชนิดที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้นข้อมูลในส่วนของสมดุลดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ จึงมีความสัมพันธ์กับสมดุลดูดซับเอทานอลจากของผสมเอทานอล-น้ำ โดยผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมดุลดูดซับน้ำจะแสดงดังต่อไปนี้

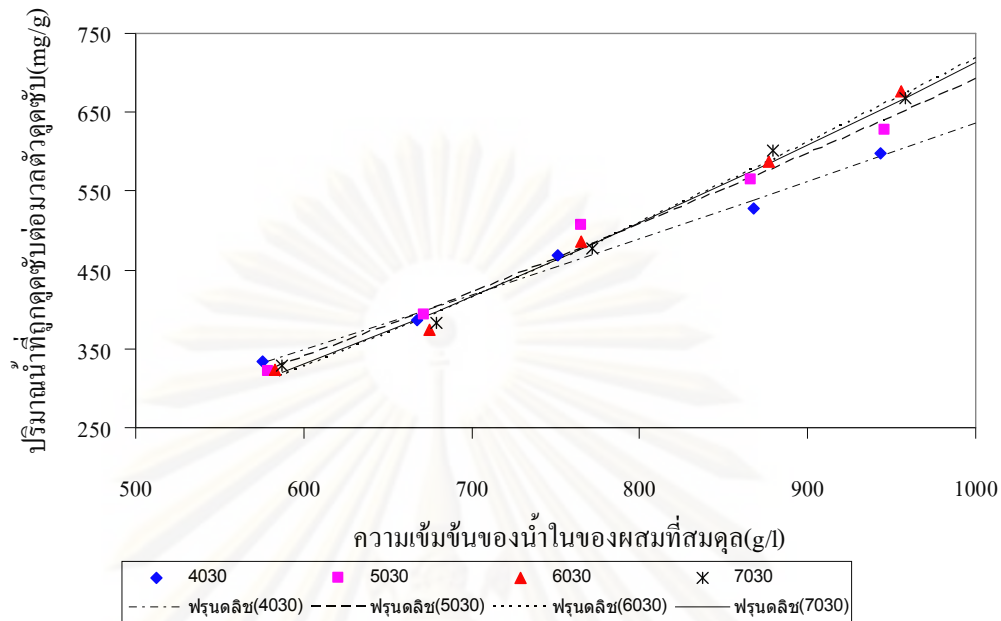
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.29 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.30 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากสมดุลการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะมีแนวโน้มปริมาณการดูดซับน้ำที่มากขึ้นที่ทุกช่วงความเข้มข้นของน้ำในของผสม เนื่องจากปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทำให้เปลือกของผลยางพาราเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านได้มากขึ้นซึ่งทำให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำสูงขึ้น โดยจะมีข้อมูลบางส่วนที่เกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเทียบกับปริมาณเอทานอลที่ถูกดูดซับ รวมทั้งผลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติไม่เท่ากันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อพิจารณาสมดุลการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆจะมีปริมาณการดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกันในช่วงความเข้มข้นของน้ำในของผสมที่สมดุลไม่เกิน 700 g/l และเมื่อมีความเข้มข้นของน้ำในของผสมสูงขึ้นตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะมีแนวโน้มปริมาณการดูดซับน้ำที่มากขึ้น แต่เนื่องจากผลของความคลาดเคลื่อนของปริมาณการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณและคุณสมบัติของตัวดูดซับที่ไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดการแกว่งของข้อมูลบางส่วน ส่งผลให้ไม่สามารถเห็นผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมดุลการดูดซับน้ำได้อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาในส่วนของสมมูลการดูดซับของเอทานอลและสมมูลการดูดซับน้ำที่มีความสอดคล้องกับแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนคลิช ค่าคงที่สมมูลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) และค่าดัชนีกำลัง (n) จะเป็นค่าคงที่ที่สามารถทำนายปริมาณการดูดซับเอทานอลและน้ำได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงค่าคงที่สมมูลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) และค่าดัชนีกำลัง (n) ควบคู่กัน โดยผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อค่าคงที่สมมูลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) และค่าดัชนีกำลัง (n) สำหรับสมมูลดูดซับเอทานอลและน้ำ จะแสดงในตารางที่ 4.6

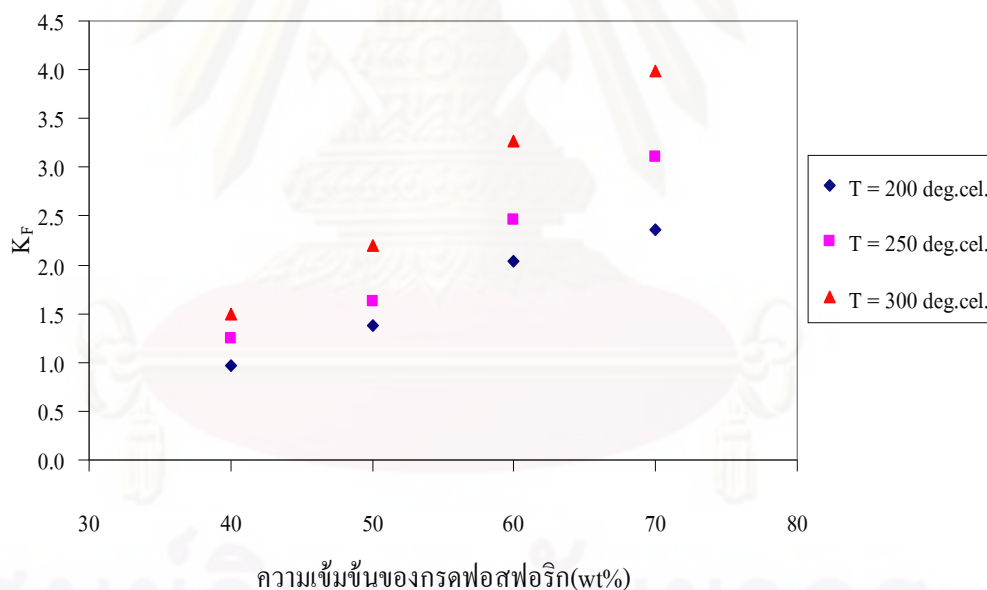
ตารางที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อค่าคงที่สมมูลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) และค่าดัชนีกำลัง (n) สำหรับสมมูลดูดซับเอทานอลและน้ำ

ตัวดูดซับ	สมมูลดูดซับเอทานอล		สมมูลดูดซับน้ำ	
	K_F	n	K_F	n
4020	0.9699	0.9710	0.0625	1.3206
5020	1.3751	0.9304	0.0591	1.3390
6020	2.0383	0.8729	0.0443	1.3938
7020	2.3648	0.8566	0.1442	1.2132
4025	1.2508	0.9587	0.0418	1.3982
5025	1.6336	0.9220	0.0320	1.4351
6025	2.4655	0.8577	0.0247	1.4772
7025	3.1124	0.8306	0.0235	1.4902
4030	1.4980	0.9449	0.1903	1.1748
5030	2.1953	0.8868	0.0484	1.3853
6030	3.2619	0.8213	0.0173	1.5399
7030	3.9849	0.7962	0.0215	1.5066

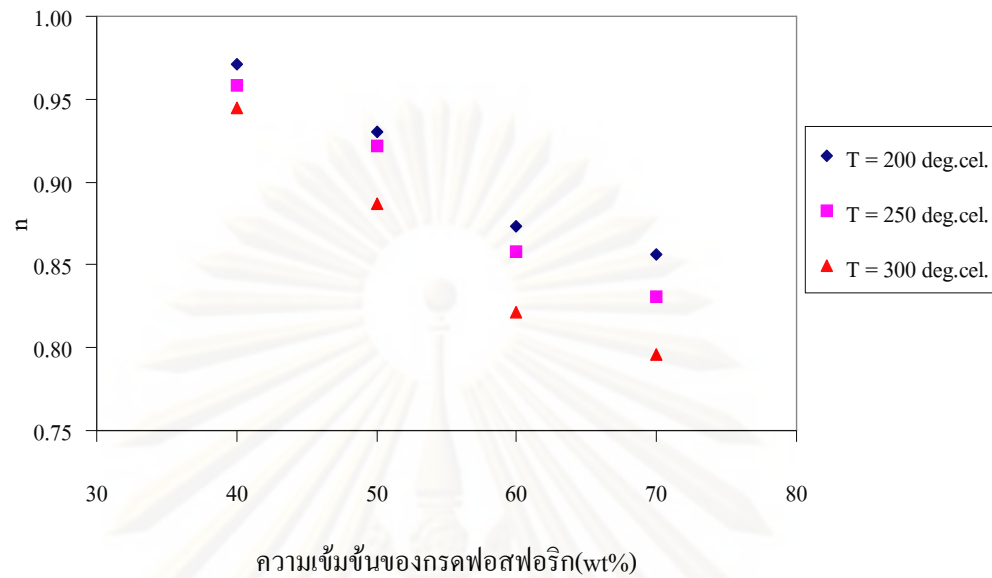
ในกรณีของสมมูลดูดซับเอทานอล เมื่อพิจารณาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิเดียวกันที่อุณหภูมิ 200 , 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ค่าคงที่สมมูลดูดซับของฟรุนคลิช (K_F) จะมีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าดัชนีกำลัง (n) จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการพิจารณาสมมูลดูดซับของเอทานอลที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรุนคลิชของตัวดูดซับแต่ละชนิดจะต้อง

พิจารณาทั้งค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ควบคู่กันและเมื่อพิจารณาในส่วนของสมดุลดูดซับน้ำ พบว่า ค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ไม่เป็นไปตามแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีของสมดุลดูดซับเอทานอล โดยจะมีการแกว่งของข้อมูลบางส่วน ซึ่งคาดว่ามีส่วนมาจากปริมาณการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับเอทานอล รวมทั้งปริมาณการดูดซับของผสมเอทานอล-น้ำ ที่ได้จากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนมาจากคุณสมบัติของตัวดูดซับที่ไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดการแกว่งตัวของข้อมูลในส่วนของค่าคงที่ในแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนคลิชสำหรับสมดุลดูดซับน้ำ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะเน้นในส่วนของสมดุลดูดซับเอทานอลมากกว่าสมดุลดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ จึงจะขอแสดงกราฟความสัมพันธ์ถึงผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยอุณหภูมิต่างๆ ที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



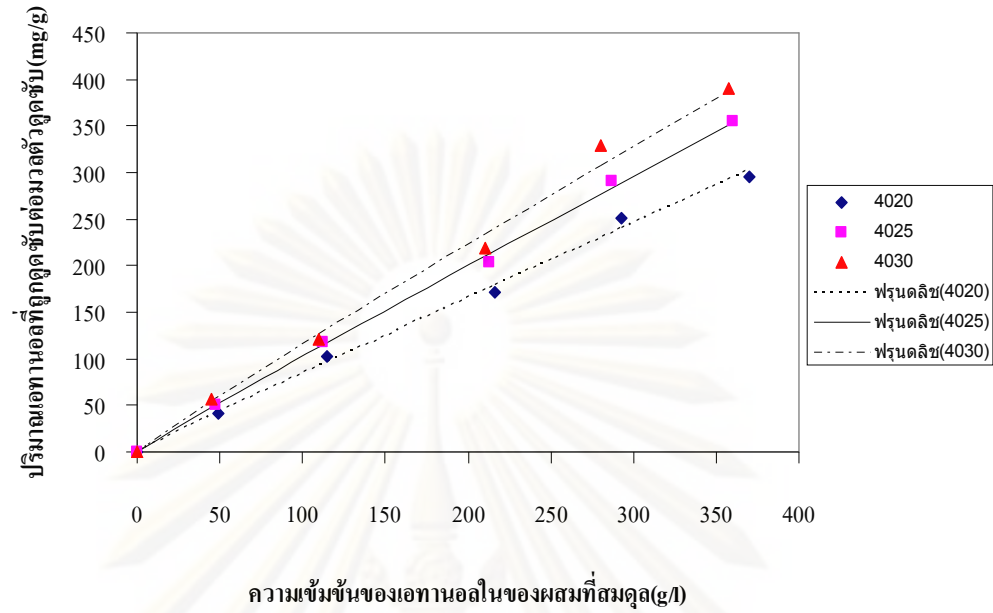
รูปที่ 4.31 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยอุณหภูมิต่างๆ ที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอล



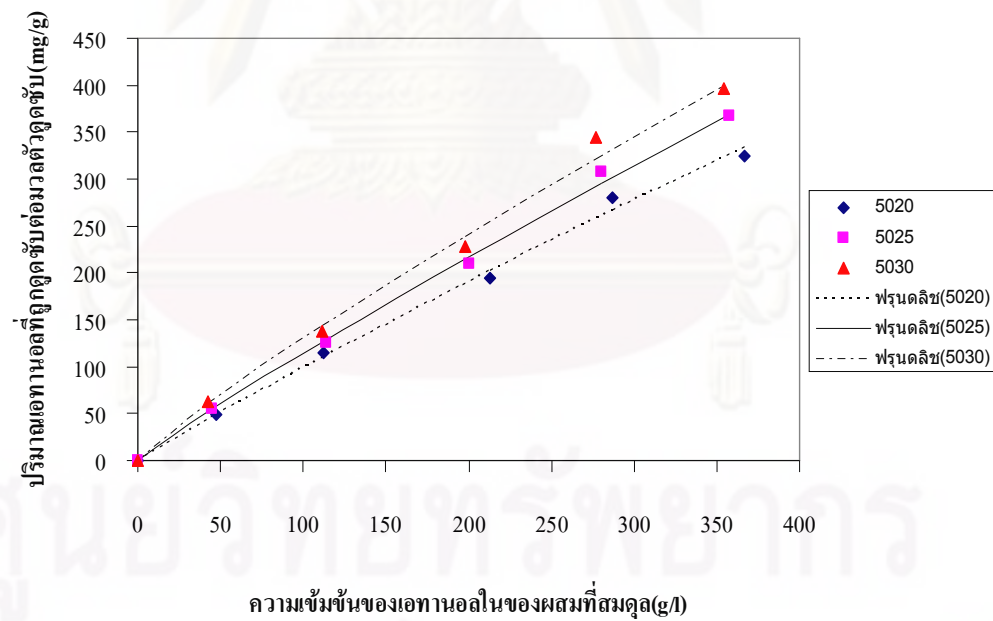
รูปที่ 4.32 ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยอุณหภูมิต่างๆที่มีต่อค่าดัชนีชี้กำลัง(n) สำหรับสมการดูดซับเอทานอล

4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อสมการดูดซับเอทานอลและสมการดูดซับน้ำ

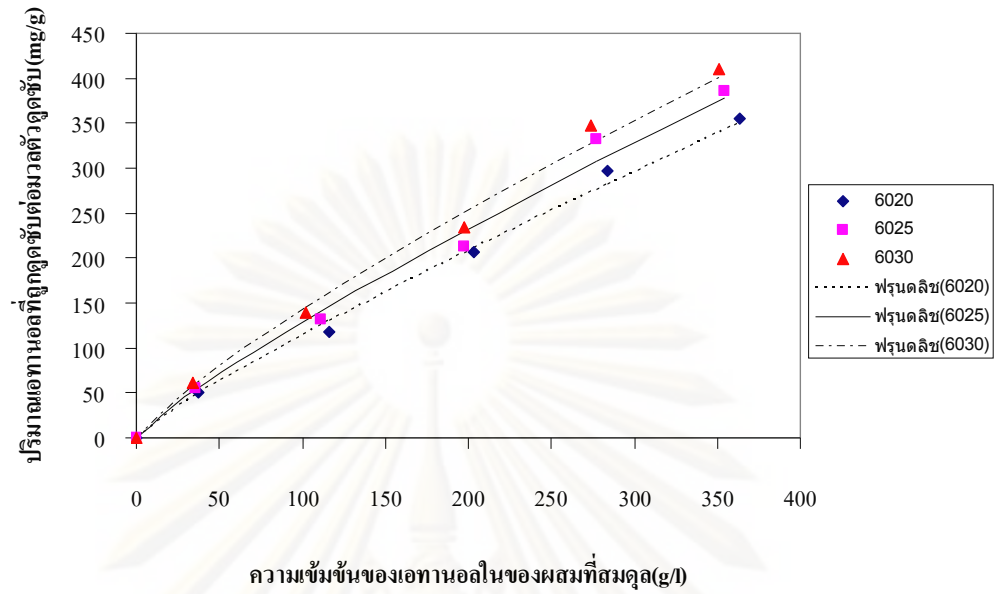
เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับจะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเปลี่ยนแปลงของผลยางพาราให้เป็นถ่าน ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยมวล เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับให้สูงขึ้นจะเกิดการแตกตัวของพันธะเซลลูโลสด้วยความร้อน ทำให้อะตอมของธาตุอื่นๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นต้น หรือสารประกอบที่ระเหยง่าย หลุดออกมาในรูปของก๊าซมากขึ้น เหลือแต่ธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้เปลือกของผลยางพาราที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นถ่านมากขึ้น ทำให้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความสามารถในการดูดซับเอทานอลได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.33-4.36



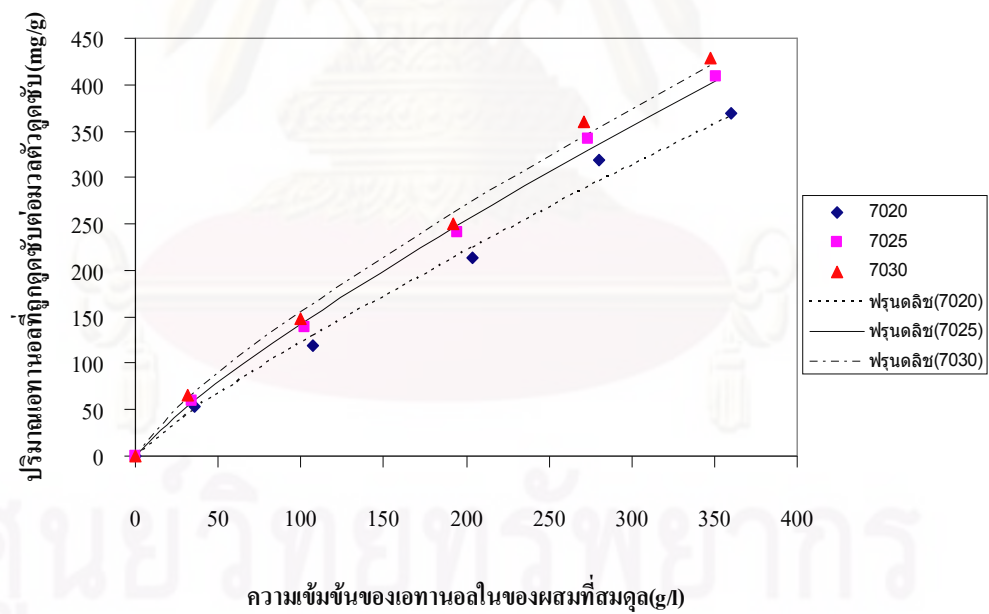
รูปที่ 4.33 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
เข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.34 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
เข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ



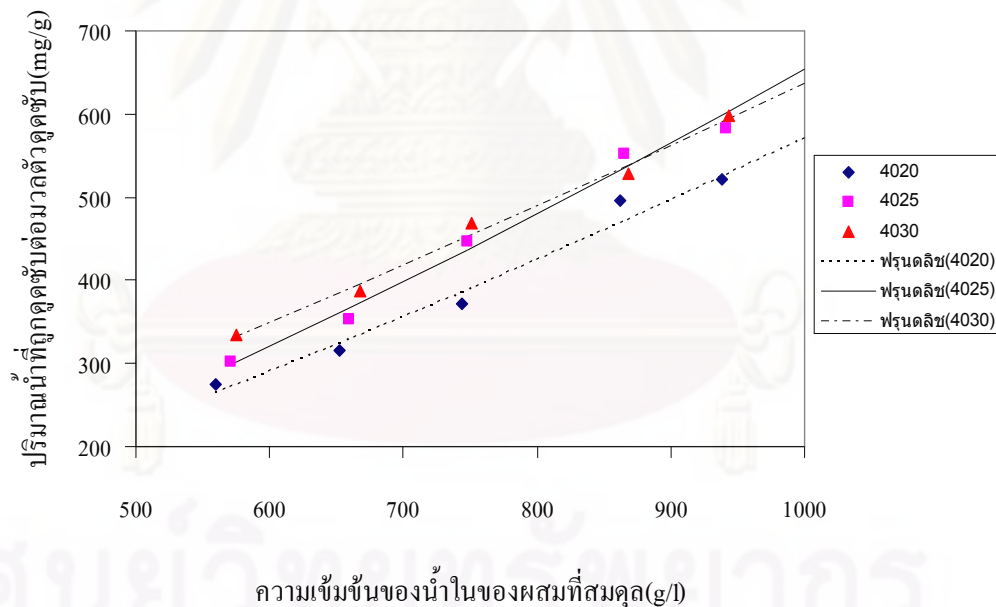
รูปที่ 4.35 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
เข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล ด้วยอนุพันธ์ต่างๆ



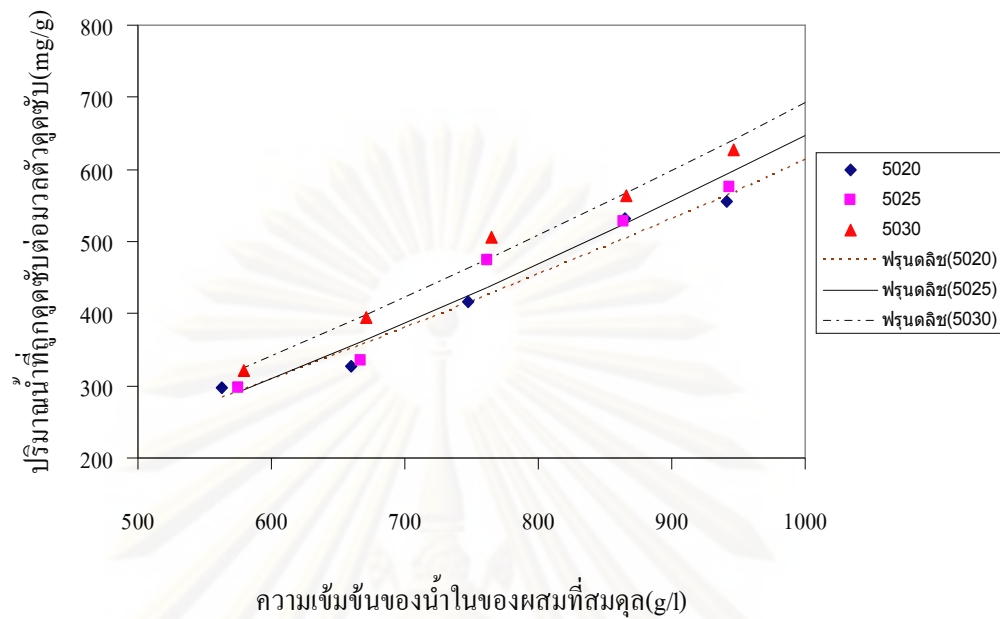
รูปที่ 4.36 สมดุลการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก
เข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล ด้วยอนุพันธ์ต่างๆ

จากรูปที่แสดงข้างต้น จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกทุกความเข้มข้นที่ทำการศึกษา เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมที่ผสมมีค่าต่ำอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 g/l ปริมาณการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอนุหภูมิต่างๆจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารละลายเอทานอลมีส่วนของน้ำในปริมาณมาก ซึ่งตัวดูดซับจะดูดซับเอทานอลเข้าไปในรูพรุนพร้อมกับน้ำทำให้ความสามารถในการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับแต่ละชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นผลของอนุหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับเอทานอลได้ชัดเจนขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอนุหภูมิที่สูงขึ้นจะสามารถดูดซับเอทานอลได้ในปริมาณมากขึ้น เนื่องจาก เมื่อใช้อนุหภูมิในการสังเคราะห์สูงขึ้น เปลือกของผลยางพาราจะเปลี่ยนเป็นถ่านได้มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นรวมทั้งเป็นการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์และหมู่คาร์บอกซิลิกให้กับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับเอทานอลได้สูงกว่าน้ำ

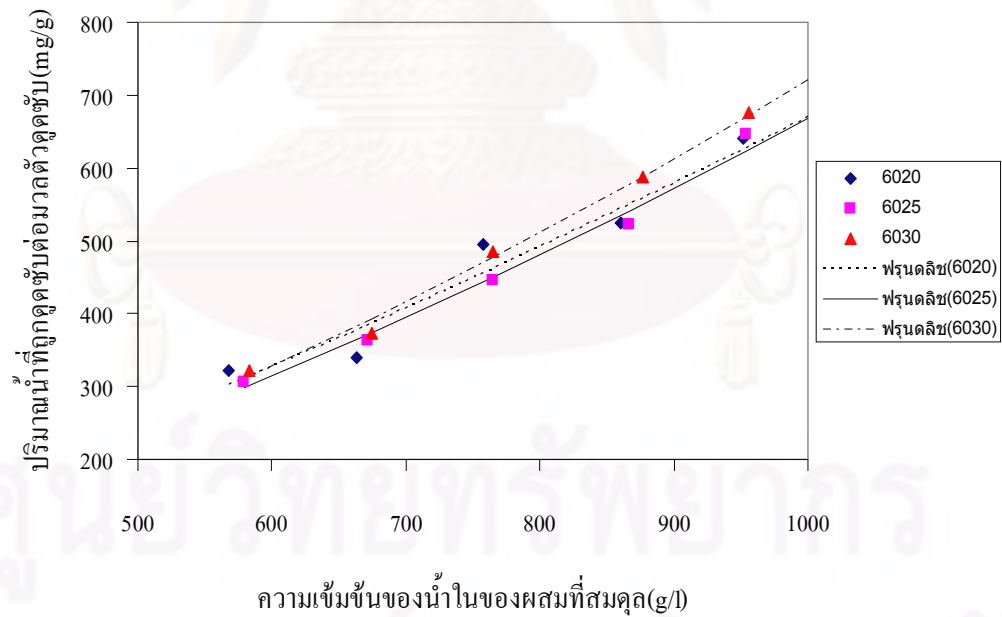
ในส่วนของสมมูลการดูดซับน้ำ ผลของอนุหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ถ่านดูดซับที่มีต่อสมมูลดูดซับน้ำจะแสดงดังต่อไปนี้



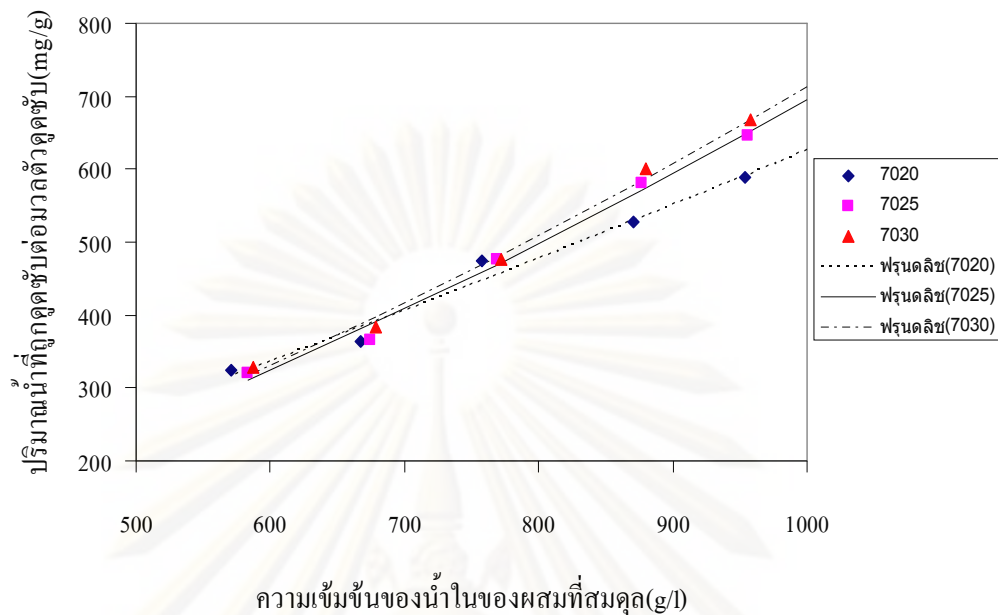
รูปที่ 4.37 สมมูลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล ด้วยอนุหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.38 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.39 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.40 สมดุลการดูดซับน้ำจากของผสมเอทานอล-น้ำ ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล ด้วยอุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟที่แสดงข้างต้น เมื่อพิจารณาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 , 50 และ 60 โดยมวล จะพบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีปริมาณการดูดซับน้ำที่มากขึ้นในทุกช่วงของความเข้มข้นของน้ำในของผสม เนื่องจากความร้อนที่มากขึ้นจะช่วยให้เซลล์เกิดการสลายตัวพร้อมกับทำให้สารที่ระเหยง่ายหลุดออกมาในรูปของก๊าซ ทำให้เปลือกผลยางพาราเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านได้มากขึ้นจึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำสูงขึ้น โดยข้อมูลการทดลองในส่วนนี้จะมีความคลาดเคลื่อนและเกิดการแกว่งของข้อมูล โดยเฉพาะตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล จึงทำให้ไม่สามารถเห็นผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อปริมาณการดูดซับน้ำได้อย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าปริมาณการดูดซับเอทานอลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อพิจารณาในส่วนของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำในของผสมที่สมดุลที่อยู่ในช่วงไม่เกิน 800 g/l ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิต่างๆจะมีปริมาณการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน และเมื่อความเข้มข้นของน้ำสูงขึ้นจะเห็นได้ว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีปริมาณการดูดซับน้ำมากขึ้น

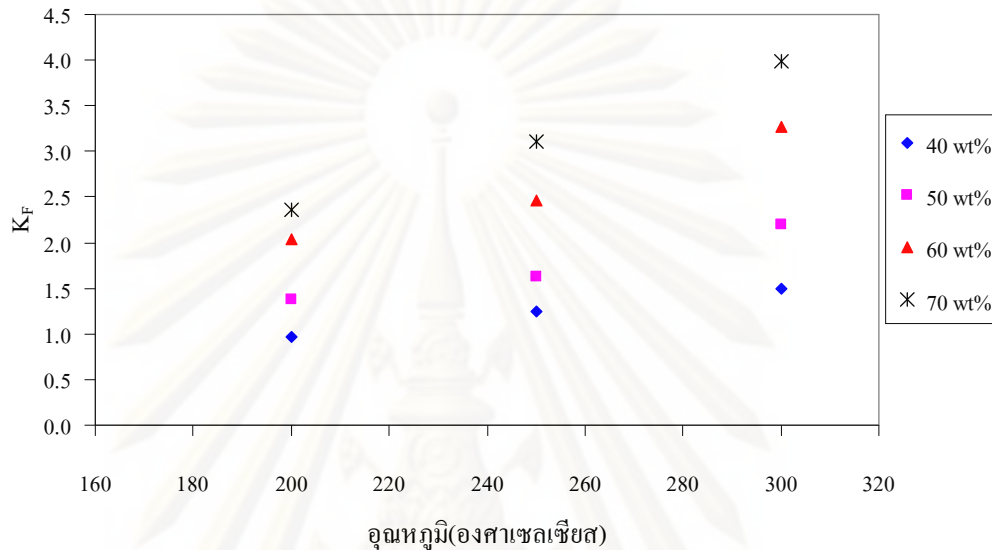
ในส่วน of สมดุลดูดซับเอทานอล เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรุนดลิช (K_f) และดัชนีซีกำลัง (n) จะพบว่า เมื่อ

พิจารณาค่าดัชนีชี้กำลัง (n) จะเห็นได้ว่า ในกรณีที่สังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นเดียวกัน ค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิต่างๆมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) จึงมีบทบาทและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับแต่ละชนิด ซึ่งพบว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 , 50 , 60 และ 70 โดยมวล เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวดูดซับจะทำให้ตัวดูดซับที่ได้มีค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) ของสมดุลดูดซับเอทานอลสูงขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิสูงขึ้นไปจะมีปริมาณการดูดซับเอทานอลมากขึ้น โดยในส่วนของสมดุลดูดซับน้ำ เนื่องจากปริมาณการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนสูงและมีการแกว่งของข้อมูลจึงส่งผลให้ค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ไม่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีสมดุลดูดซับของเอทานอล จึงทำให้ไม่สามารถพิจารณาความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวดูดซับจากค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) ได้เช่นเดียวกับในกรณีของสมดุลดูดซับเอทานอล โดยจะต้องพิจารณาความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวดูดซับแต่ละชนิดจากค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) ควบคู่กัน

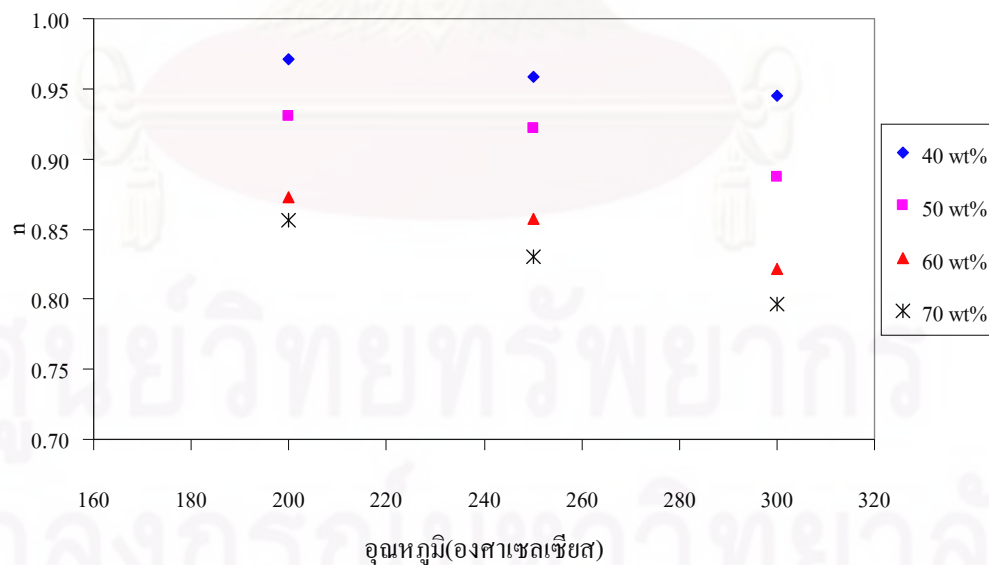
ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของ ฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอลและน้ำ

ตัวดูดซับ	สมดุลดูดซับเอทานอล		สมดุลดูดซับน้ำ	
	K_F	n	K_F	n
4020	0.9699	0.9710	0.0625	1.3206
4025	1.2508	0.9587	0.0418	1.3982
4030	1.4980	0.9449	0.1903	1.1748
5020	1.3751	0.9304	0.0591	1.3390
5025	1.6336	0.9220	0.0320	1.4351
5030	2.1953	0.8868	0.0484	1.3853
6020	2.0383	0.8729	0.0443	1.3938
6025	2.4655	0.8577	0.0247	1.4772
6030	3.2619	0.8213	0.0173	1.5399
7020	2.3648	0.8566	0.1442	1.2132
7025	3.1124	0.8306	0.0235	1.4902
7030	3.9849	0.7962	0.0215	1.5066

โดยกราฟความสัมพันธ์ถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างๆที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) และค่าดัชนีชี้กำลัง (n) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอลจะแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.41 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างๆที่มีต่อค่าคงที่สมดุลดูดซับของฟรอนคลิช (K_F) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอล



รูปที่ 4.42 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับด้วยกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่างๆที่มีต่อค่าดัชนีชี้กำลัง (n) สำหรับสมดุลดูดซับเอทานอล

จากผลการวัดสมมูลดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า ตัวดูดซับที่มีปริมาณการดูดซับเอทานอลสูงสุดคือ ตัวดูดซับชนิด 7030 โดยมีปริมาณดูดซับเอทานอลเท่ากับ 428.14 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของชวริน โปยมรัตน์ [1] ที่ได้ทำการศึกษาถึงสมมูลดูดซับเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10-90 โดยปริมาตรด้วยถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า ฤทธิ์ของถ่านดูดซับแห้ง ความเข้มข้นของเอทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เอทานอลที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์จะสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นก่อนดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ เพิ่มขึ้น ไปอีกปริมาณเอทานอลที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์จะเริ่มคงที่ โดยลักษณะการดูดซับของถ่านดูดซับเปียกก็จะมีลักษณะปริมาณการดูดซับเช่นเดียวกับในกรณีของถ่านดูดซับแห้ง โดยปริมาณการดูดซับเอทานอลสูงสุดของถ่านดูดซับแห้งและถ่านดูดซับเปียกเท่ากับ 482.43 และ 603.31 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า ปริมาณการดูดซับเอทานอลของถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์ในกรณีของถ่านดูดซับแห้งจะมีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ เนื่องจากในงานวิจัยของชวริน ได้ใช้อัตราส่วนของน้ำหนักตัวดูดซับต่อน้ำหนักของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่มากกว่าในงานวิจัยนี้จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับเอทานอลต่อมวลตัวดูดซับของถ่านดูดซับเชิงพาณิชย์และตัวดูดซับจากงานวิจัยนี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ พบว่า เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณกรดที่มากขึ้นจะช่วยเปลี่ยนเปลือกของผลยางพาราให้มีความเป็นถ่านมากขึ้นและจะช่วยให้สามารถดูดซับเอทานอลได้มากขึ้น
2. จากผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เปลือกของผลยางพาราจะเปลี่ยนเป็นถ่านได้มากขึ้นจึงทำให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับเอทานอลได้มากขึ้น
3. สมดุลการดูดซับเอทานอลและน้ำด้วยตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษากระบวนการนำถ่านเอทานอลออกจากตัวดูดซับ ซึ่งการนำถ่านโดยใช้ความร้อนเป็นวิธีที่ใช้พลังงานสูง จึงควรใช้วิธีการนำถ่านด้วยการสกัด
2. ควรมีการศึกษาสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับและระยะเวลาในการแช่กรดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการสังเคราะห์ตัวดูดซับจากเปลือกของผลยางพาราด้วยกรดฟอสฟอริก
3. ควรควบคุมความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนการดูดซับของของผสมเอทานอล-น้ำ ให้มีค่าเท่ากันเพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับเอทานอลของตัวดูดซับแต่ละชนิด

รายการอ้างอิง

- [1] ชวริน โปชมรัตน์. การแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [2] Maeda, Y. and Kai, M. Recent Progress in Pervaporation Membranes for Water/Ethanol Separation Pervaporation Membrane Separation Process 1991 : 391-435.
- [3] คณิตา วัฒนกิจ. การเตรียมถ่านดูดซับจากกะลามะพร้าวด้วยการต้มกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ สำหรับการดูดซับเอทานอลในน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [4] รัตน์ เพชรจันทร์. ยางพารา, 2527 : หน้า 43.
- [5] ปฐมภรณ์ เสวตจินดากร. การเตรียมถ่านดูดซับจากเปลือกผลของยางพาราโดยต้มในสารละลายกรดซัลฟิวริกสำหรับดูดซับก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [6] J.D. Seader and Ernest J. Henley. Separation Process Principles.. 2nd edition.: Wiley, 2006.
- [7] K. -D. Henning J. Degel. PURIFICATION OF AIR, WATER AND OFF GAS · SOLVENT RECOVERY. Activated Carbon for Solvent Recovery 1990.
- [8] เดชา นัตรศิริเวช. กระบวนการดูดซับ(Adsorption Processes). 1,000 เล่ม. ครั้งที่ 1. : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [9] วิศรุต โลจนานนท์. ผลของการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริก ต่อการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [10] Dow W. Green. Perry's chemical engineering Handbook.. seventh edition.. Section 16 Adsorption and Ion Exchange : McGraw-Hill, 1999.
- [11] สุธีรา สมนิยมไชย. การดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์บนถ่านกัมมันต์อิมเพรกเนตด้วยคอสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [12] กฤติยา เสือสีนาค. การดูดซับแก๊สโพรเพนด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าว โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

- [13] Phussadee Patnukao, Prasert Pavasant. Activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn bark using phosphoric acid activation. Bioresource Technology 99(2008) : 8540-8543.
- [14] Badie S. Girgis, Mona F. Ishak. Activated carbon from cotton stalks by impregnation with phosphoric acid. Materials Letters 39(1999) : 107-114.
- [15] R.K.Malik, P.Ghose and T.K.Ghose. Ethanol Separation by Adsorption-Desorption. Biotechnol.Bioeng 25 (April 1983): 2277-2282.
- [16] Jia Guo, Aik Chong Lua. Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation. Materials Chemistry and Physics 80 (2003): 114-119.
- [17] Yulu Diao, W.P. Walawender, L.T. Fan. Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum. Bioresource Technology 81 (2002): 45-52.
- [18] Yanping Guo, David A. Rockstraw. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. Microporous and Mesoporous Materials 100 (2007): 12-19.
- [19] Stephen Bul, Xenophon Veryklos and Raja Mutharasan. In situ Removal of ethanol from fermentation broths. 1. Selective adsorption characteristics. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 24 (1985): 1209-1213.
- [20] Hsisheng Teng, Tien-Sheng Yeh and Li-Yeh Hsu. Preparation of activated carbon from bituminous coal with phosphoric acid activation. Carbon Vol.36, No.9 (1998): 1387-1395.
- [21] ศุภโชค ชนกุลพรรณ. ผลของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่มีต่อการดูดซับน้ำของถ่านดูดซับที่สังเคราะห์จากต้นกล้วย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 (2552): 488-491.
- [22] Wisarut Lochananon, Deacha Chatsiriwech. Effect of phosphoric acid concentration on properties of peanut shell adsorbents. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (2008): 84-88.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1 การคำนวณปริมาณเอทานอลและน้ำที่ถูกดูดซับด้วยถ่านดูดซับ

คำนวณปริมาณการดูดซับของเอทานอลในของผสมเอทานอล-น้ำ ในถ่านดูดซับได้ดังนี้

$$q_{EtOH} = \frac{M_1 C_1 - M_2 C_2}{100M} \quad (ก.1)$$

คำนวณปริมาณการดูดซับของเอทานอลในของผสมเอทานอล-น้ำในถ่านดูดซับได้ดังนี้

$$q_{H_2O} = \frac{M_1(100 - C_1) - M_2(100 - C_2)}{100M} \quad (ก.2)$$

โดย q_{EtOH} คือ มวลเอทานอลที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน
(มิลลิกรัม/กรัมถ่านดูดซับ)

q_{H_2O} คือ มวลน้ำที่ถูกดูดซับต่อมวลถ่าน
(มิลลิกรัม/กรัมถ่านดูดซับ)

M_1 คือ มวลของของผสมเอทานอล-น้ำ ก่อนการดูดซับ (มิลลิกรัม)

M_2 คือ มวลของของผสมเอทานอล-น้ำ หลังการดูดซับ (มิลลิกรัม)

C_1 คือ ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ก่อนการดูดซับ
(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

C_2 คือ ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ หลังการดูดซับ
(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

M คือ มวลถ่านดูดซับ (กรัม)

ก.2 การคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สามารถคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับน้ำ (q_c) ที่สมดุลได้จากความสัมพันธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$q = \frac{q_c A t}{1 + A t} \quad (ก.3)$$

จัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_c A} \right) \frac{1}{t} + \frac{1}{q_c} \quad (ก.4)$$

ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุล (q_c) คำนวณจากจุดตัดแกนตั้งของความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่างส่วนกลับของปริมาณสมดุลดูดซับน้ำจำเพาะ ($1/q$) กับส่วนกลับของเวลา ($1/t$)

- โดย
- q คือ ปริมาณการดูดซับน้ำที่ได้จากการทดลอง
(มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ)
 - q_c คือ ปริมาณการดูดซับน้ำที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านดูดซับ)
 - A คือ ค่าคงที่
 - t คือ เวลา (นาที)

ภาคผนวก ข
แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

ข.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับเอทานอล

1. แบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรีแสดงดังสมการ

$$q = K_H C_e \quad (\text{ข.1})$$

2. แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์แสดงดังสมการ

$$q = \frac{q_{mx} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{ข.2})$$

จัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_{mx} K_L} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{mx}} \quad (\text{ข.3})$$

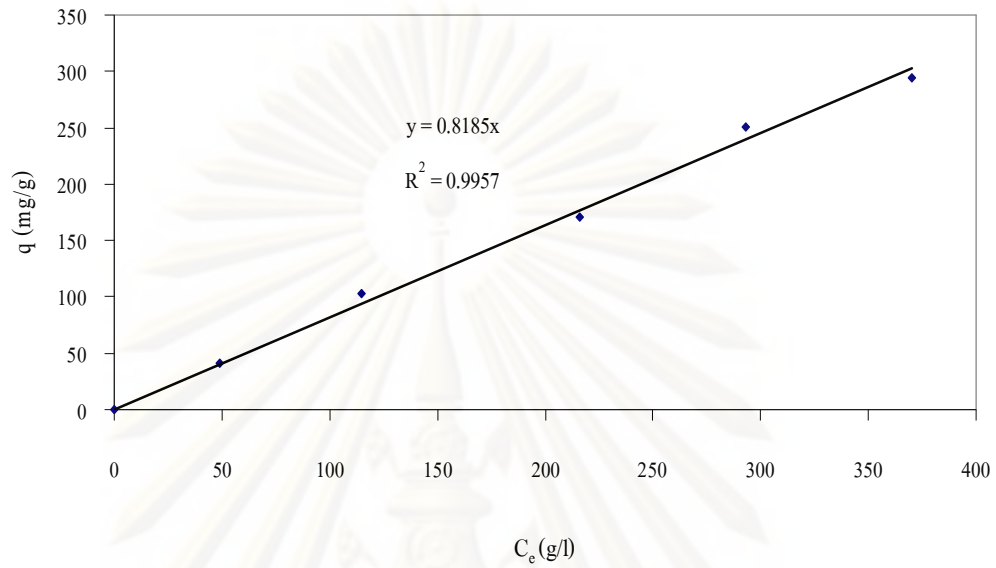
3. แบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรุนดลิชแสดงดังสมการ

$$q = K_F C_e^n \quad (\text{ข.4})$$

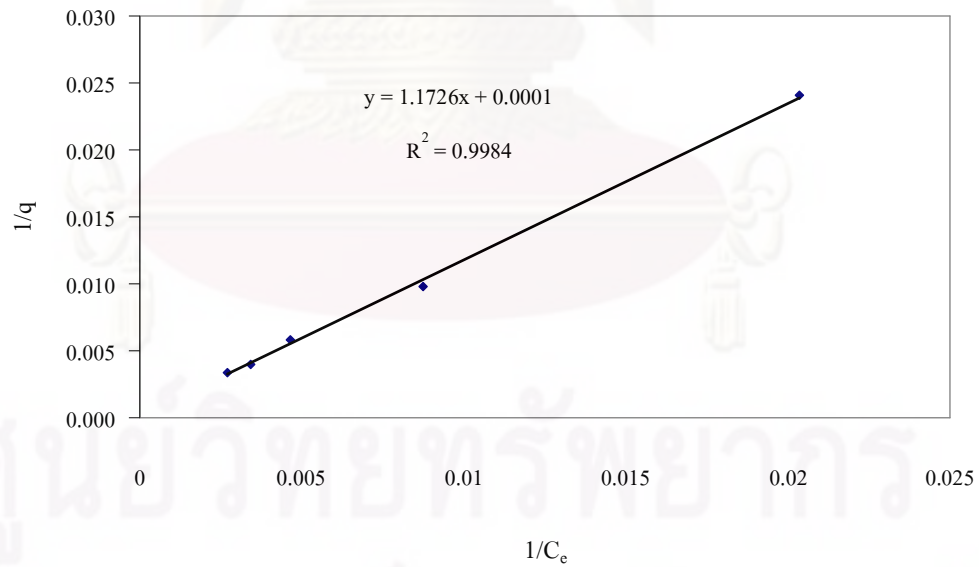
จัดรูปสมการได้ดังนี้

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

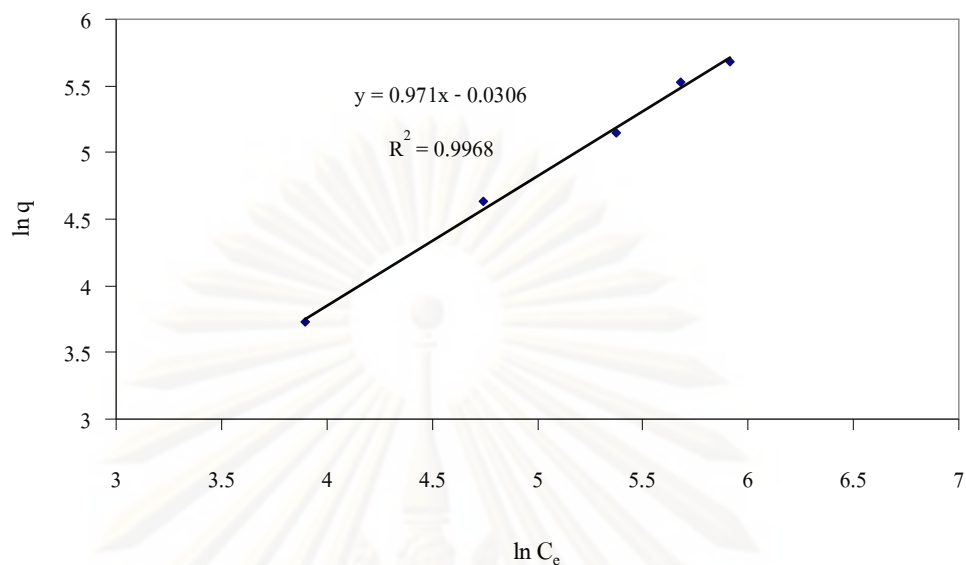
ข.2 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 4020



รูปที่ ข.1 การพลอตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 4020



รูปที่ ข.2 การพลอตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 4020

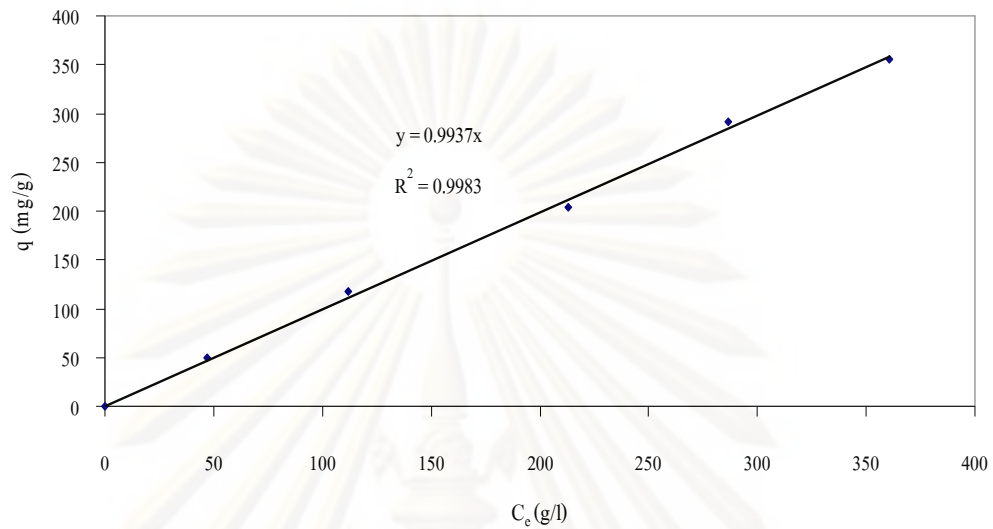


รูปที่ ข.3 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบ Freundlich ของตัวดูดซับ 4020

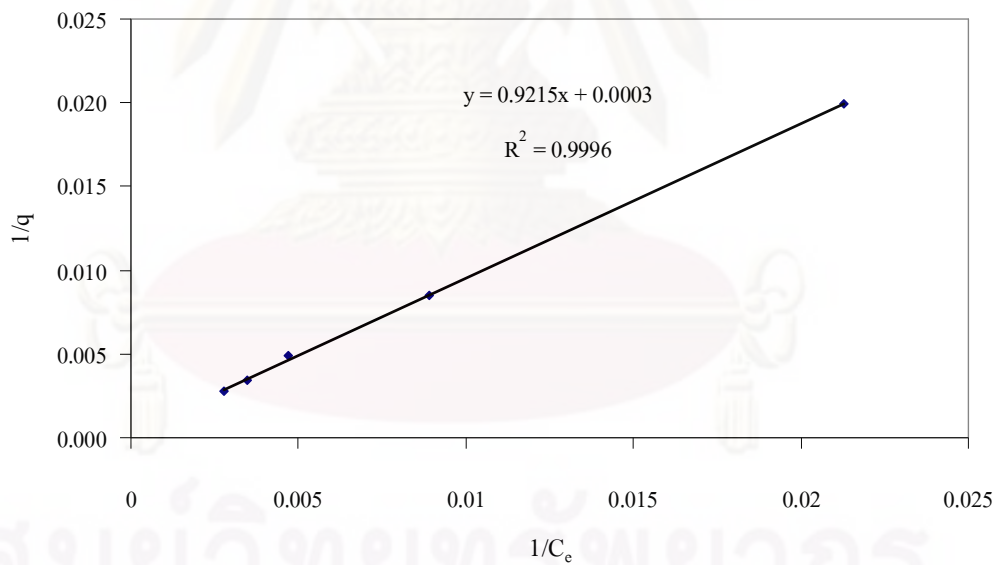
ตาราง ข.1 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 4020 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของ Freundlich และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	0.8185	K_L	0.0000853	K_F	0.9699
		q_{max}	10000	n	0.971
R^2	0.9957	R^2	0.9984	R^2	0.9968
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
40.249	1.656	41.760	0.051	42.597	1.127
93.806	74.546	96.792	31.903	96.874	30.985
176.807	30.923	180.885	92.913	179.263	64.274
239.759	118.683	243.720	48.073	240.952	94.111
302.875	66.998	305.916	126.019	302.327	58.317
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	292.806	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	298.960	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	248.815

ข.3 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 4025

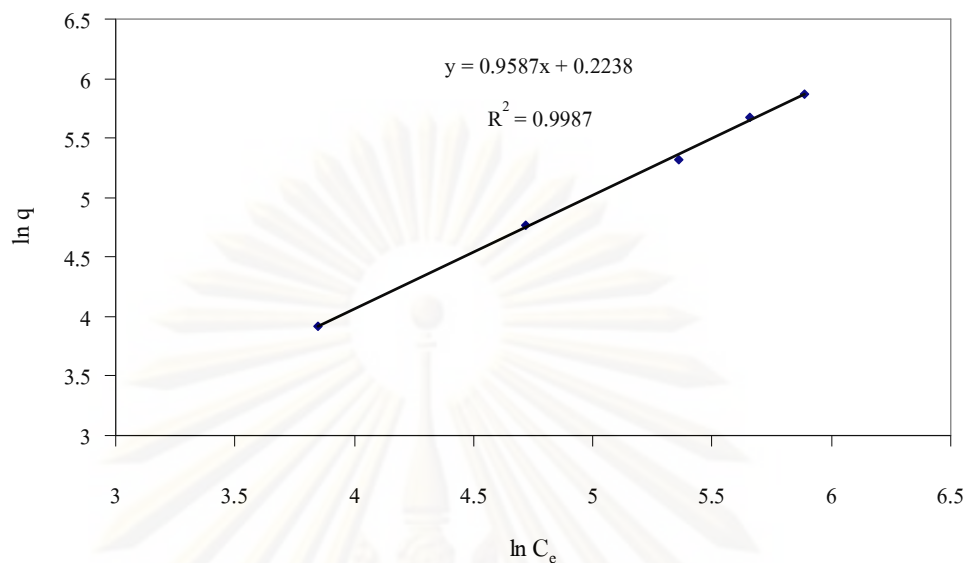


รูปที่ ข.4 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 4025



รูปที่ ข.5 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 4025

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

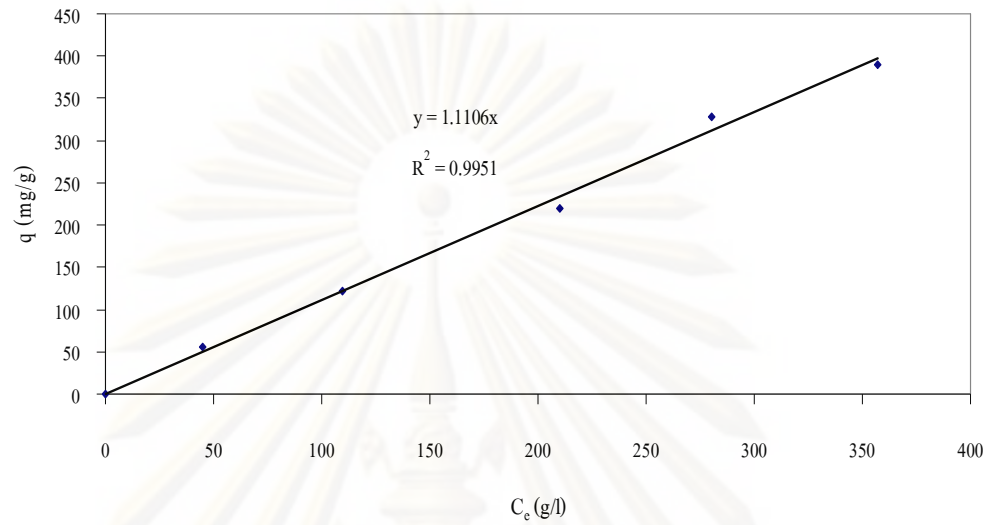


รูปที่ ข.6 การพอดิเส้น โท้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ4025

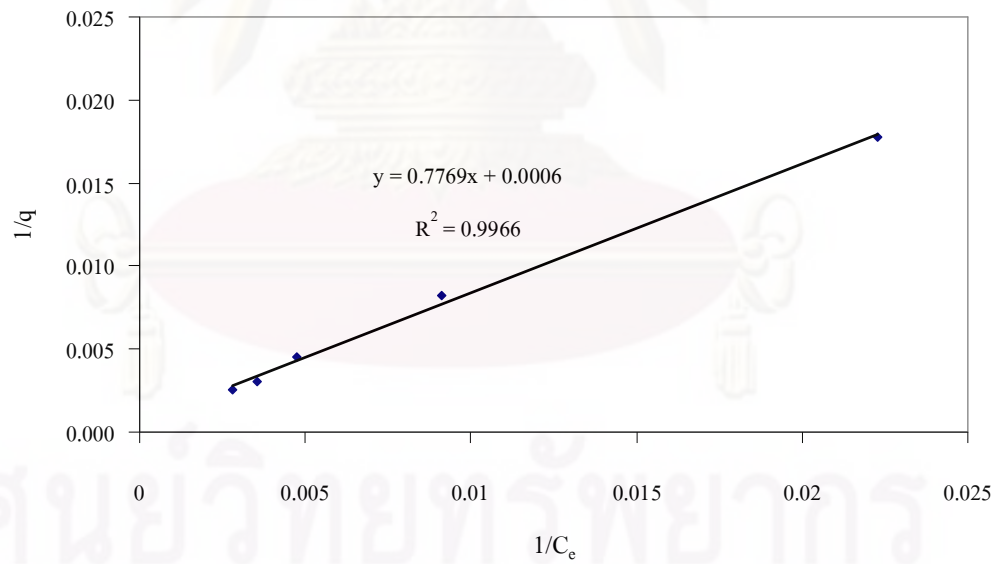
ตาราง ข.2 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 4025 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	0.9937	K_L	0.0003256	K_F	1.2508
		q_{max}	3333.33	n	0.9587
R^2	0.9983	R^2	0.9996	R^2	0.9987
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
46.707	11.962	50.238	0.005	50.149	0.000
111.339	34.320	117.310	0.013	115.331	3.482
211.657	67.770	216.155	162.055	213.506	101.636
284.783	41.275	284.462	45.506	283.772	55.292
358.167	6.363	350.065	31.133	353.532	4.464
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	161.689	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	238.713	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	164.874

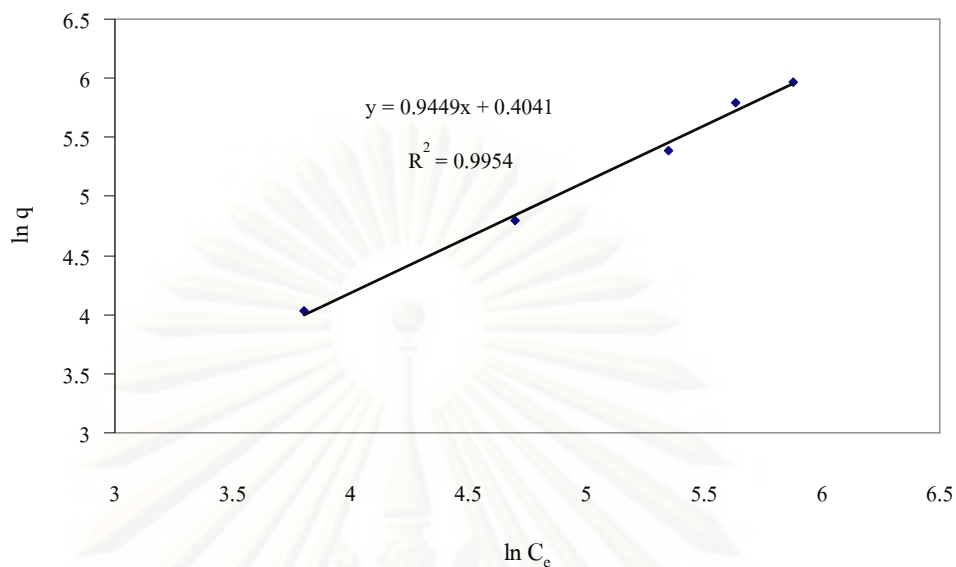
ข.4 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 4030



รูปที่ ข.7 การพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 4030



รูปที่ ข.8 การพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 4030

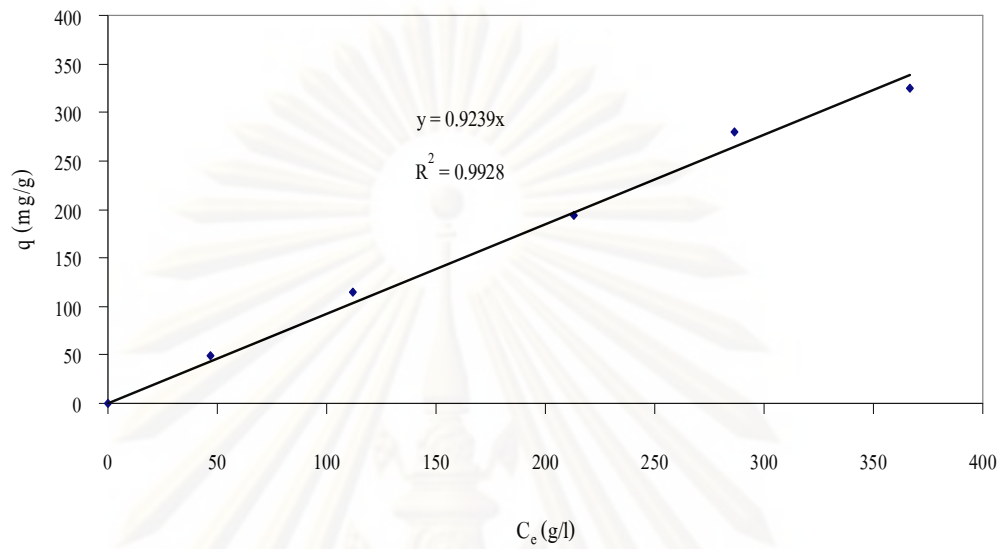


รูปที่ ข.9 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนดลิชของตัวดูดซับ 4030

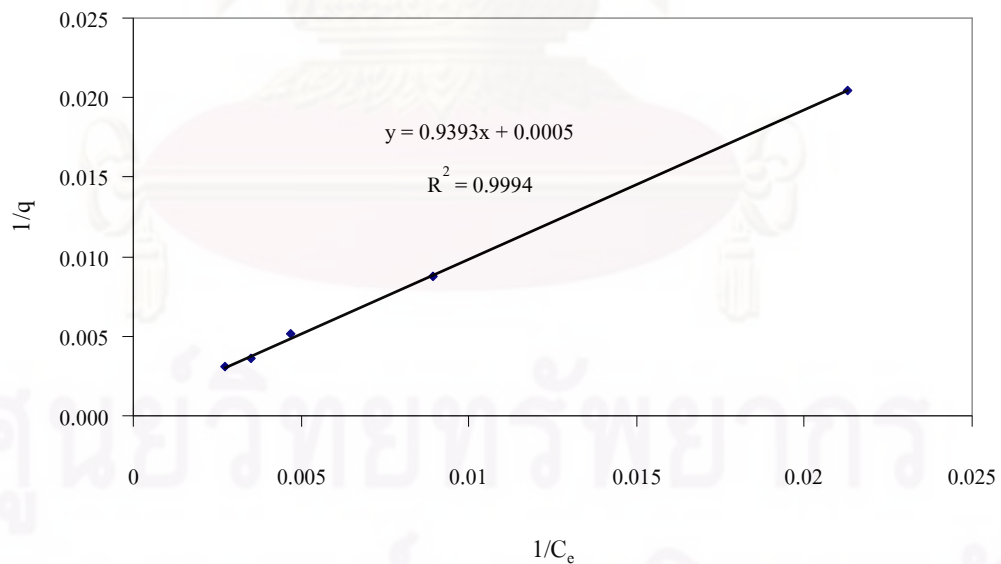
ตาราง ข.3 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 4030 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนดลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.1106	K_L	0.0007723	K_F	1.4980
		q_{max}	1666.67	n	0.9449
R^2	0.9951	R^2	0.9966	R^2	0.9954
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
49.821	42.172	55.809	0.257	54.493	3.322
121.609	0.030	129.953	72.528	126.629	26.964
233.217	188.964	232.576	171.756	234.287	219.517
311.271	304.632	296.565	1034.251	307.764	439.354
396.748	41.076	360.394	896.717	387.068	10.697
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	576.874	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	2175.509	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	699.854

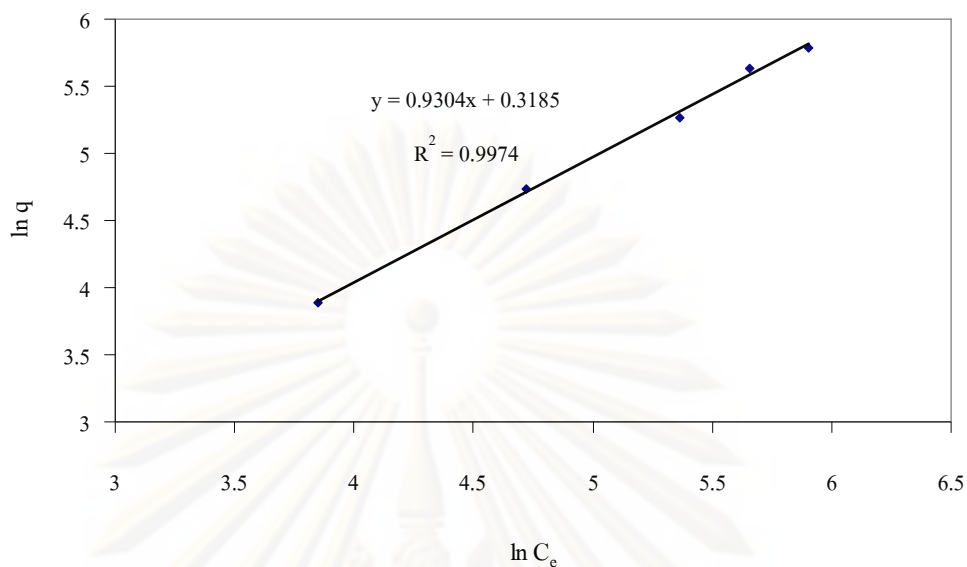
ข.5 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 5020



รูปที่ ข.10 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 5020



รูปที่ ข.11 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 5020

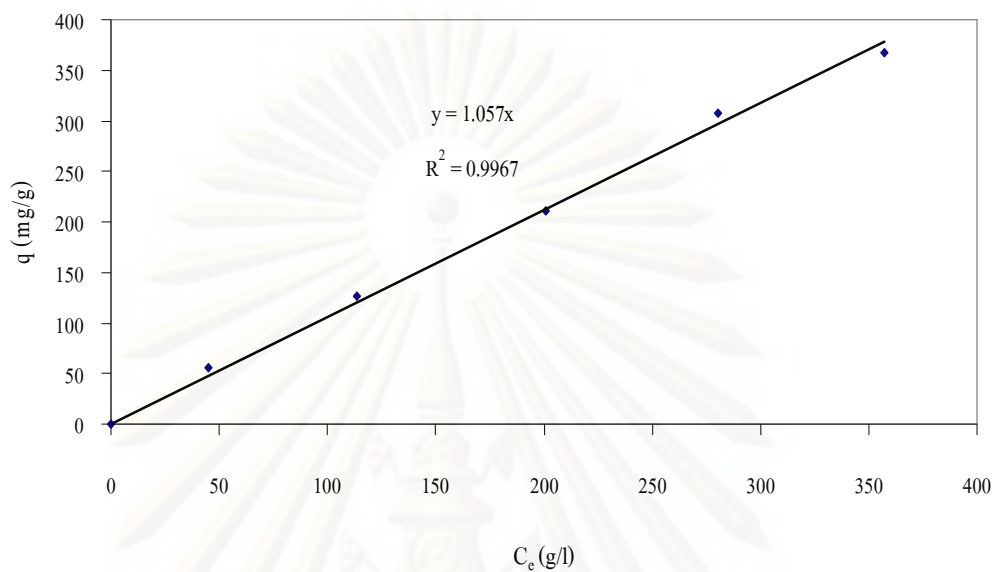


รูปที่ ข.12 การพอดิเส้น โท้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 5020

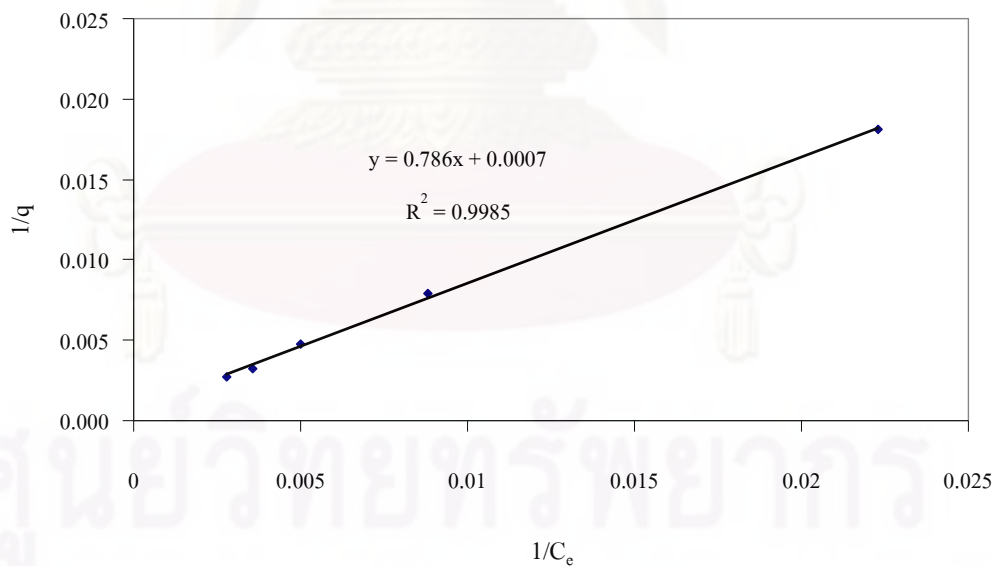
ตาราง ข.4 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 5020 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	0.9239	K_L	0.0005323	K_F	1.3751
		q_{max}	2000	n	0.9304
R^2	0.9928	R^2	0.9994	R^2	0.9974
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
43.426	28.968	48.819	0.000	49.439	0.398
103.518	114.161	112.571	2.662	110.937	10.665
196.789	6.326	203.671	88.293	201.672	54.721
264.779	236.476	264.724	238.179	265.801	206.094
338.922	210.036	326.741	5.344	334.434	100.090
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	595.967	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	334.477	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	371.967

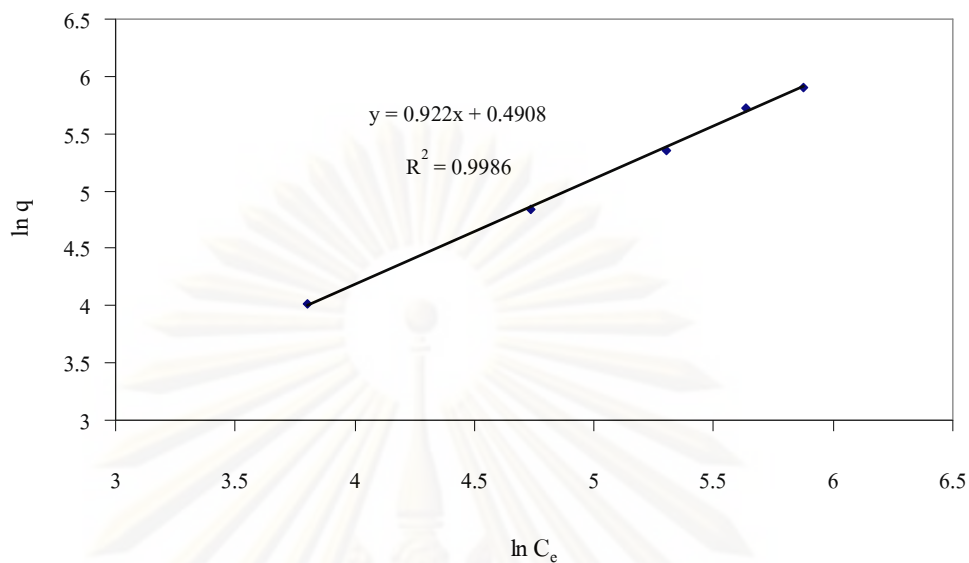
ข.6 แบบจำลองสมดุลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 5025



รูปที่ ข.13 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 5025



รูปที่ ข.14 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 5025

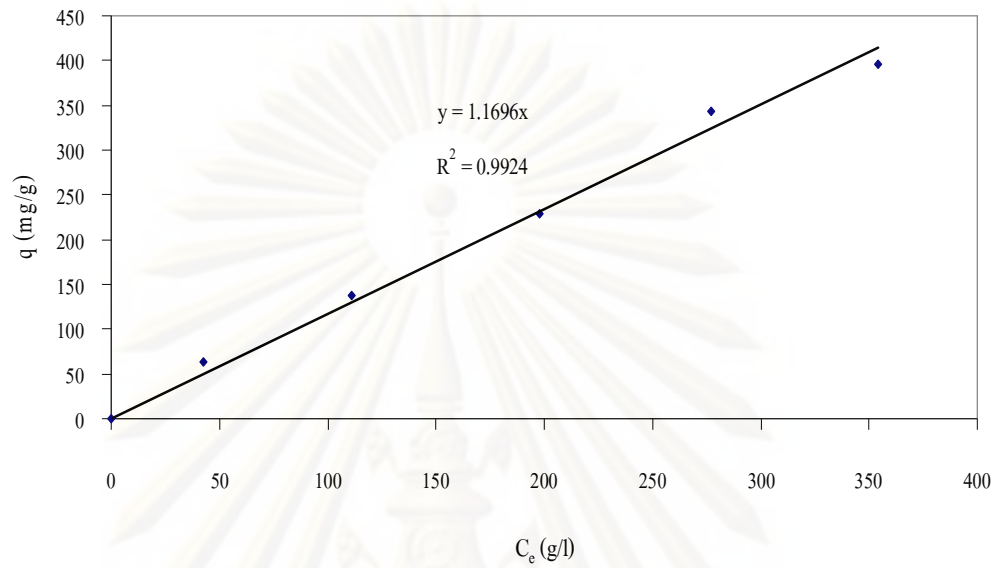


รูปที่ ข.15 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 5025

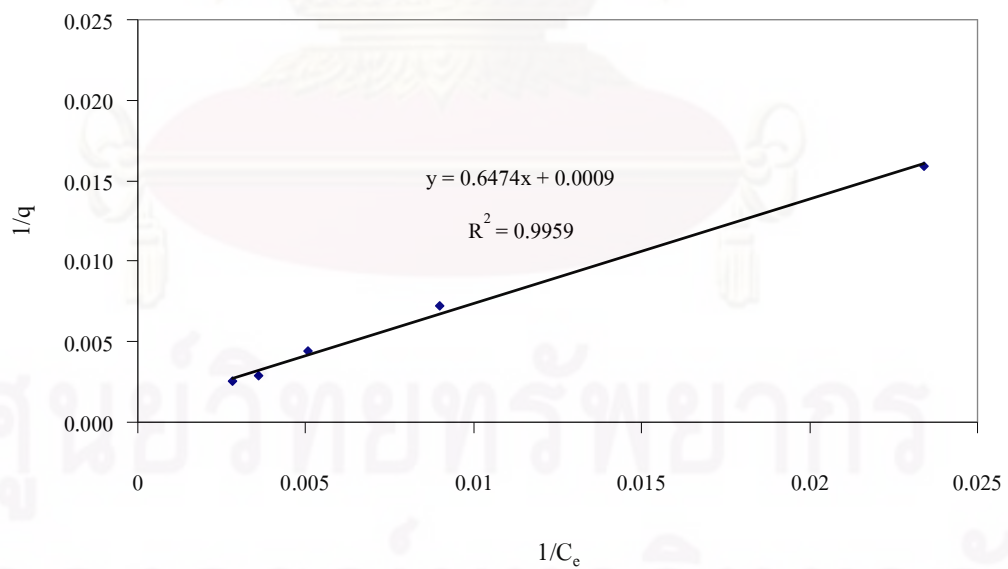
ตาราง ข.5 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 5025 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.0570	K_L	0.0008906	K_F	1.6336
		q_{max}	1428.57	n	0.922
R^2	0.9967	R^2	0.9985	R^2	0.9986
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
47.417	61.942	54.881	0.165	54.471	0.666
120.231	31.775	131.405	30.662	128.448	6.661
212.120	3.294	216.607	39.712	216.802	42.209
296.249	128.901	285.355	494.938	295.000	158.816
377.600	114.607	344.801	488.085	368.959	4.262
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	340.520	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	1053.561	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	212.614

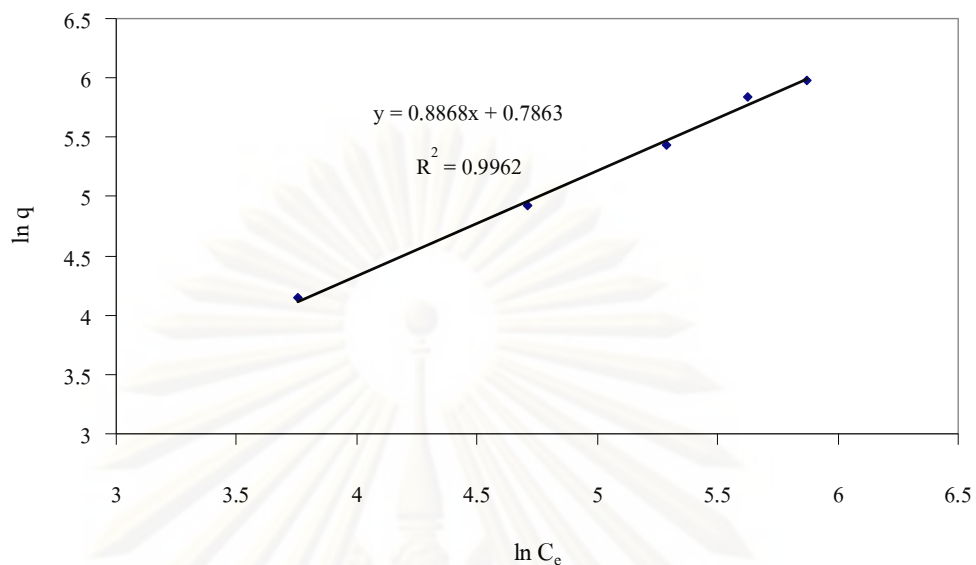
ข.7 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 5030



รูปที่ ข.16 การพหิตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 5030



รูปที่ ข.17 การพหิตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 5030

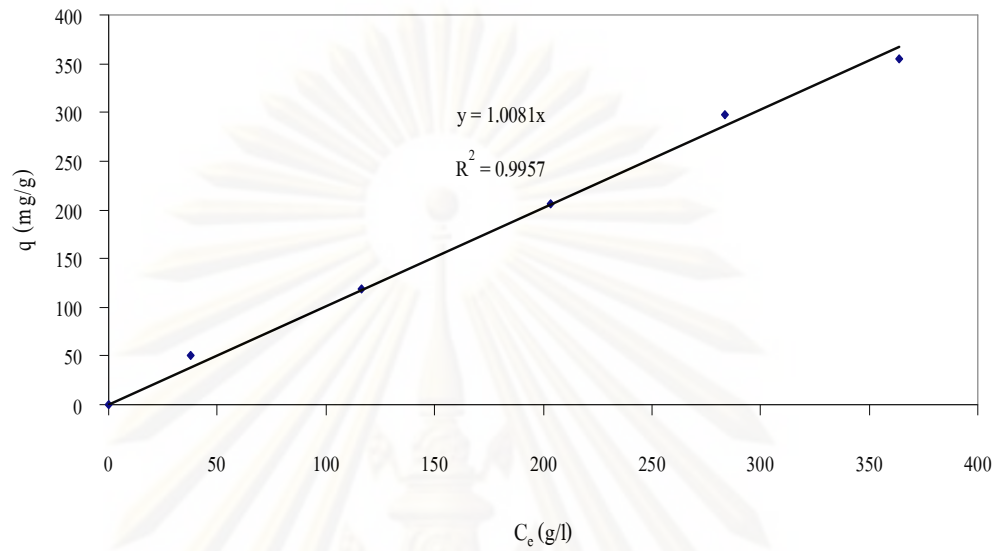


รูปที่ ข.18 การพอดิเส้น โกงข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 5030

ตาราง ข.6 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 5030 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.1696	K_L	0.0013902	K_F	2.1953
		q_{max}	1111.11	n	0.8868
R^2	0.9924	R^2	0.9959	R^2	0.9962
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
49.994	167.357	62.322	0.371	61.341	2.527
129.984	60.260	148.692	119.793	143.136	29.041
231.268	9.544	239.572	129.796	238.588	108.347
324.124	383.816	309.010	1204.447	321.847	478.237
414.081	310.301	366.485	898.843	399.928	11.986
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	931.278	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	2353.250	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	630.138

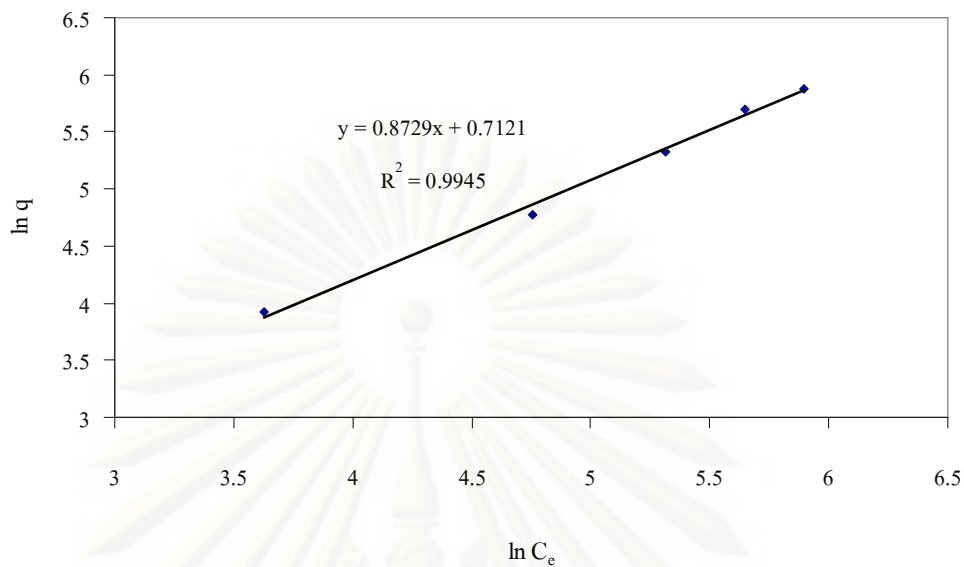
ข.8 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 6020



รูปที่ ข.19 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 6020



รูปที่ ข.20 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 6020

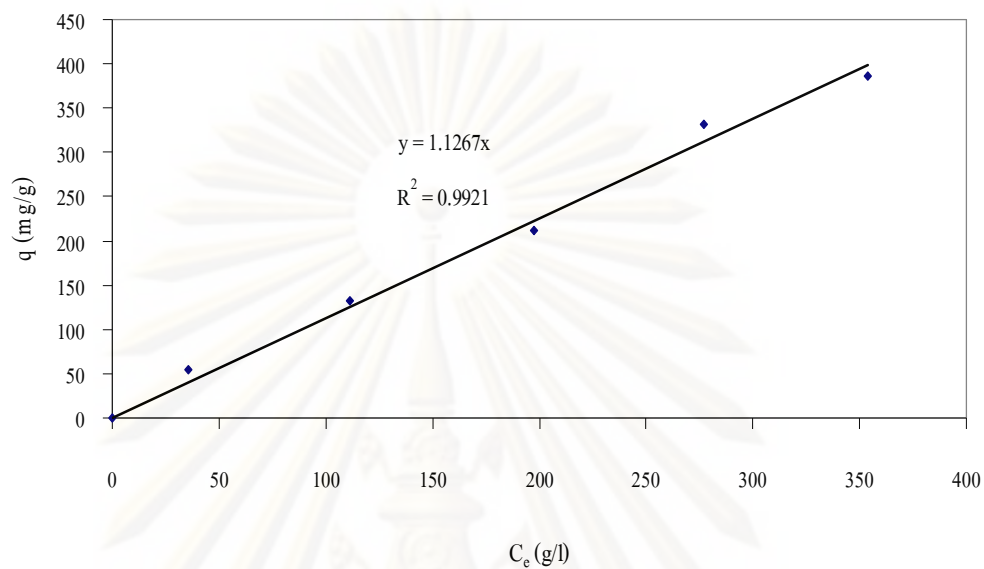


รูปที่ ข.21 การพล็อตเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 6020

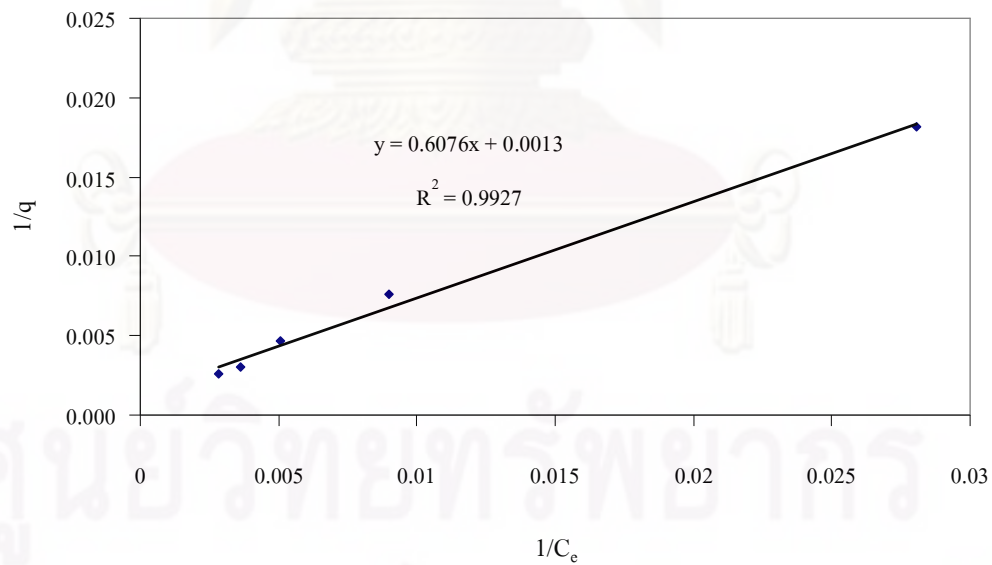
ตาราง ข.7 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 6020 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.0081	K_L	0.0018482	K_F	2.0383
		q_{max}	769.23	n	0.8729
R^2	0.9957	R^2	0.9918	R^2	0.9945
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
37.835	159.783	49.896	0.336	48.256	4.929
117.316	1.175	136.160	315.389	129.582	125.035
205.289	1.748	210.343	13.926	211.187	20.936
285.724	131.712	264.427	1074.076	281.837	236.025
366.583	128.965	309.182	2120.159	350.323	24.046
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	423.383	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	3523.886	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	410.971

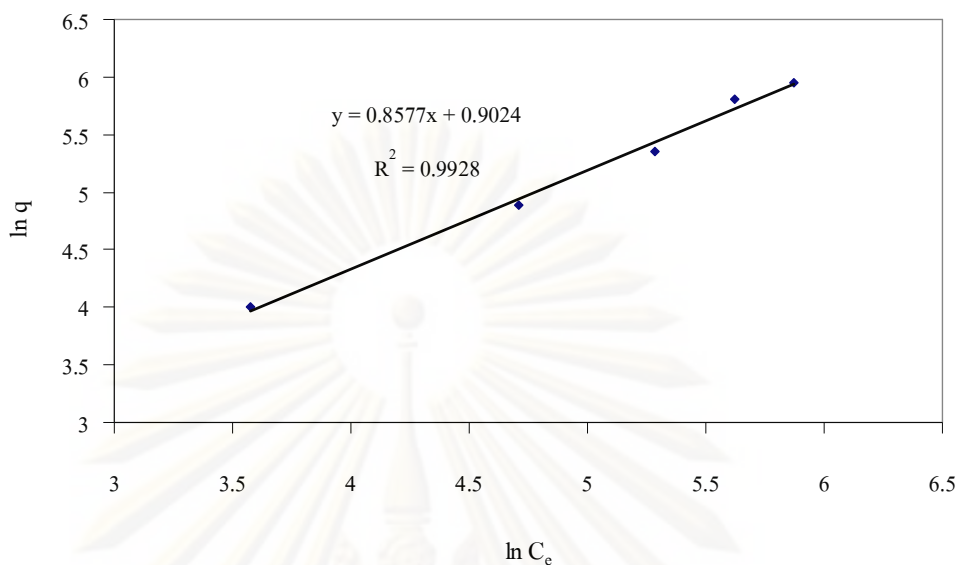
ข.9 แบบจำลองสมดุลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 6025



รูปที่ ข.22 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 6025



รูปที่ ข.23 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 6025

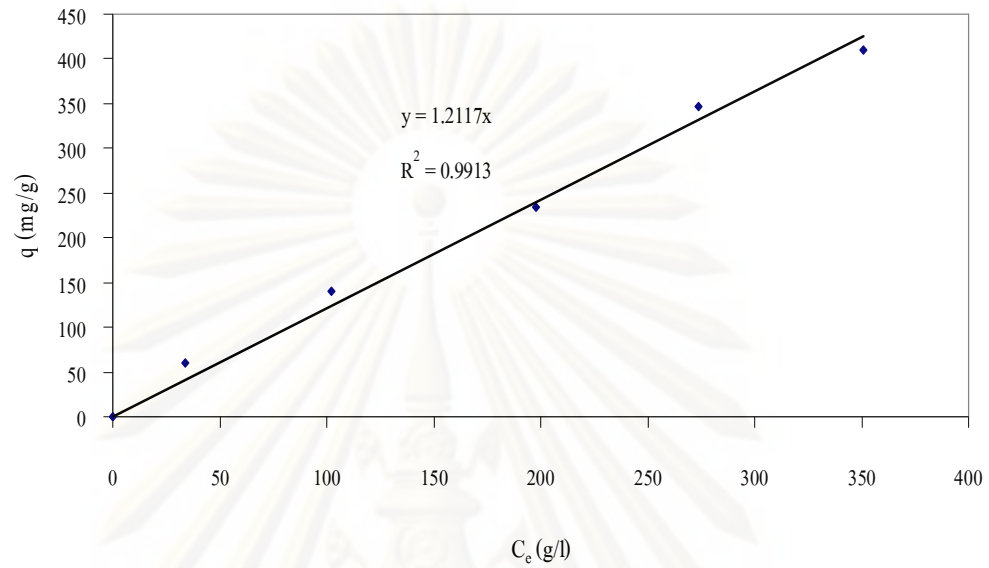


รูปที่ ข.24 การพหุคูณเส้น โท้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนดลิชของตัวดูดซับ 6025

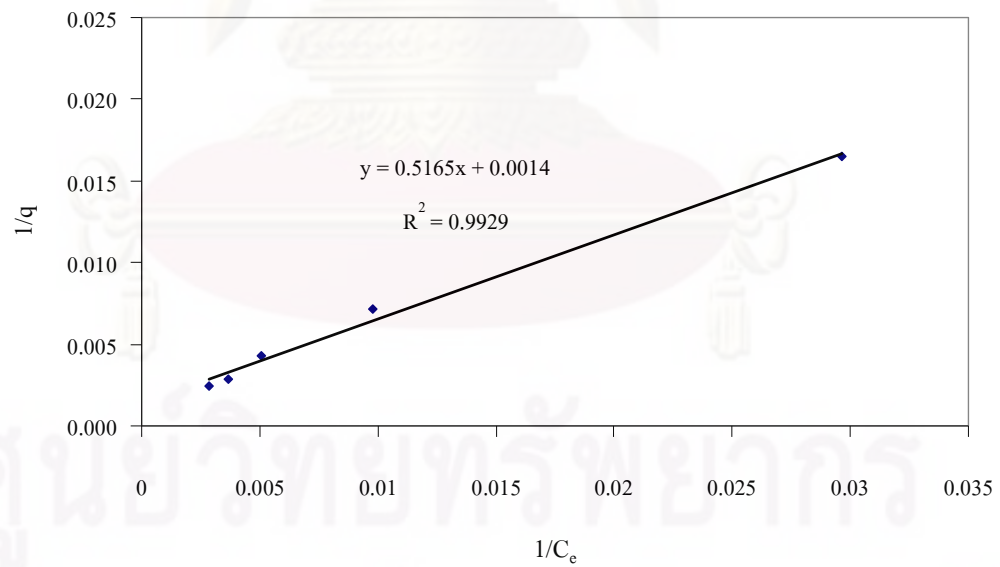
ตาราง ข.8 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 6025 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนดลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.1267	K_L	0.0021396	K_F	2.4655
		q_{max}	769.23	n	0.8577
R^2	0.9921	R^2	0.9927	R^2	0.9928
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
40.139	223.335	54.480	0.364	52.826	5.094
125.216	46.054	147.772	248.659	140.164	66.601
222.786	106.794	228.685	263.516	229.749	299.212
312.235	371.869	286.326	2042.432	306.894	606.397
398.893	167.662	331.542	2959.603	378.639	53.364
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	915.712	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	5514.574	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	1030.668

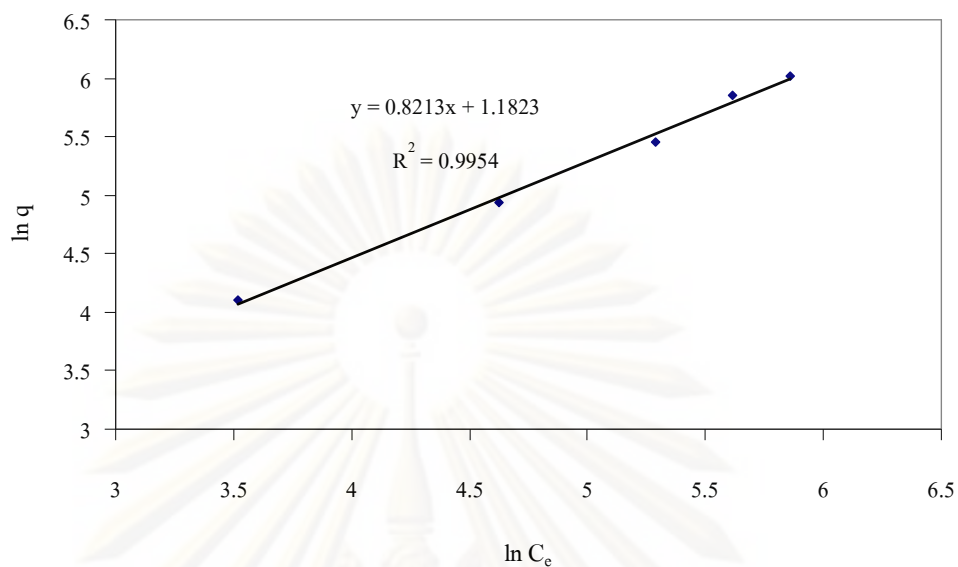
ข.10 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 6030



รูปที่ ข.25 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 6030



รูปที่ ข.26 การพอดิเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 6030

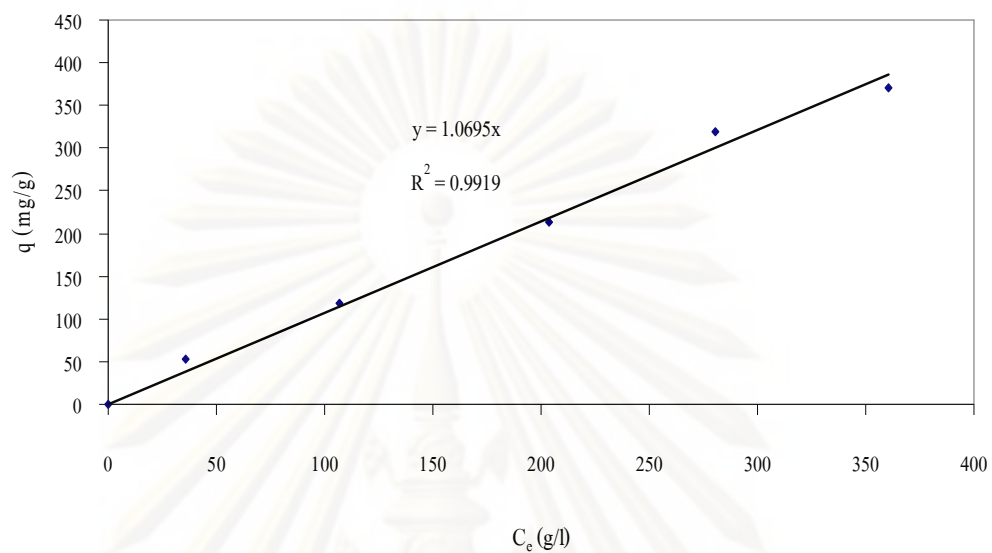


รูปที่ ข.27 การพหุคูณเส้น โคงงข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบฟรอนดลิชของตัวดูดซับ 6030

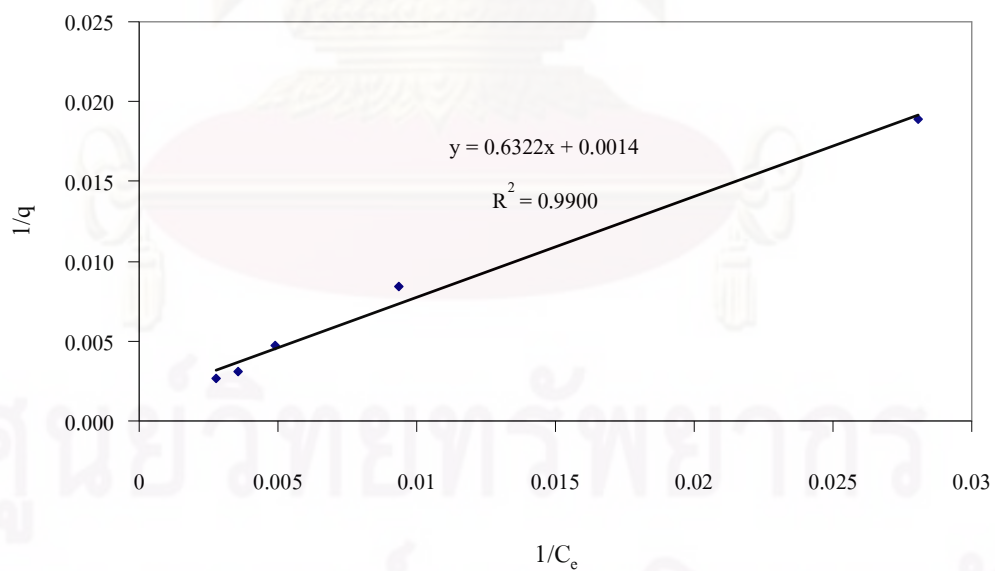
ตาราง ข.9 ผลการคำนวณปริมาณสมมูลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 6030 ด้วยแบบจำลองสมมูลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมมูลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมมูลดูดซับของฟรอนดลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.2117	K_L	0.0027106	K_F	3.2619
		q_{max}	714.29	n	0.8213
R^2	0.9913	R^2	0.9929	R^2	0.9954
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
40.894	390.735	59.866	0.632	58.699	3.850
123.539	255.457	154.656	229.044	145.536	36.177
239.593	26.464	249.246	218.942	250.748	265.641
331.982	224.016	304.398	1810.602	327.767	367.954
425.108	236.250	348.165	3791.110	401.569	66.721
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	1132.921	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	6050.330	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	740.342

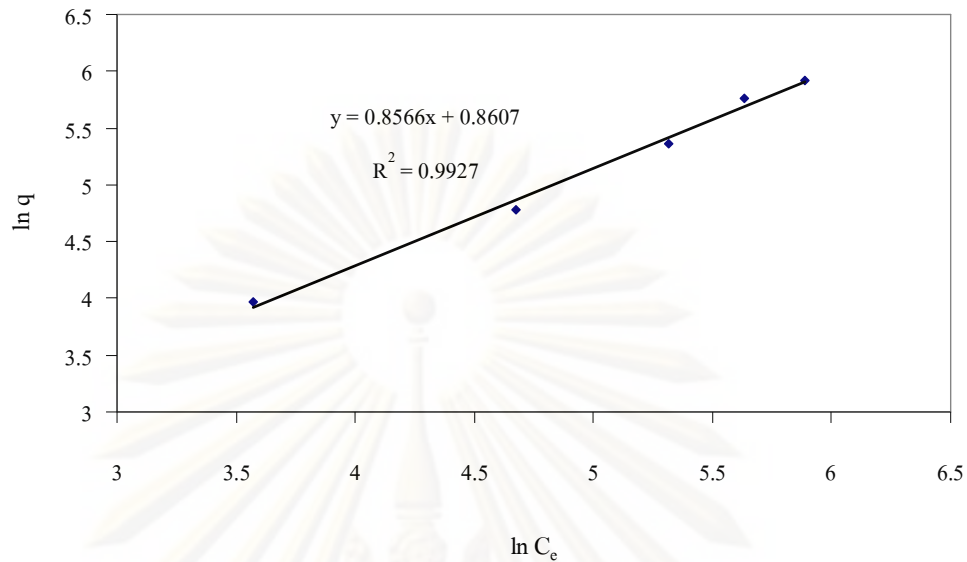
ข.11 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 7020



รูปที่ ข.28 การพหุคูณโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 7020



รูปที่ ข.29 การพหุคูณโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 7020

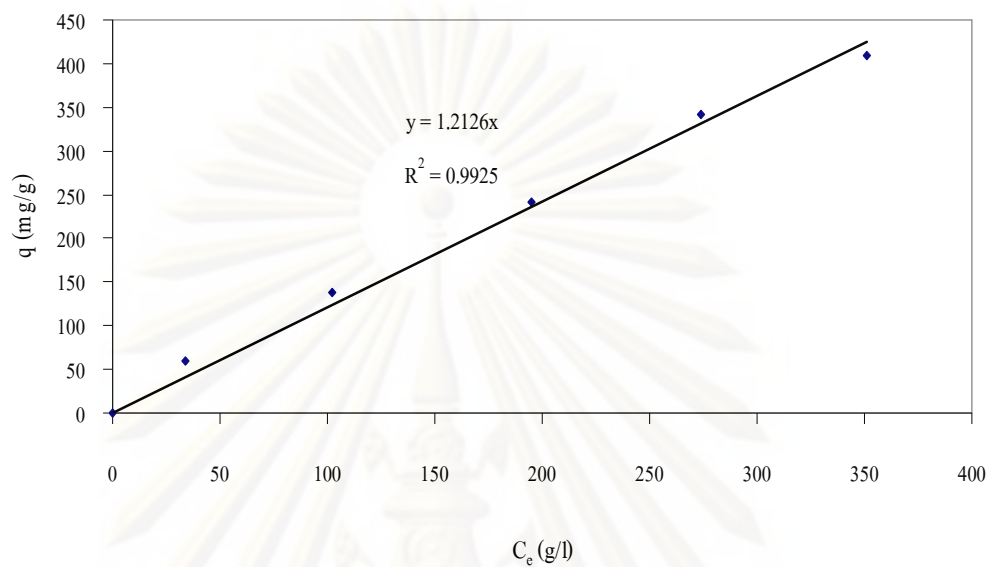


รูปที่ ข.30 การพหุคูณเส้น โคงงข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 7020

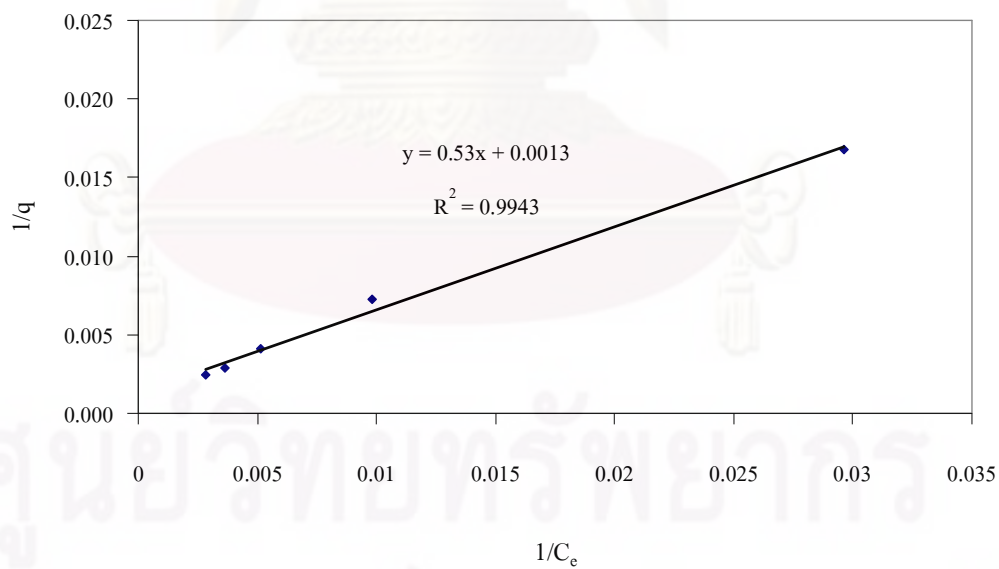
ตาราง ข.10 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 7020 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.0695	K_L	0.0022145	K_F	2.3648
		q_{max}	714.29	n	0.8566
R^2	0.9919	R^2	0.9900	R^2	0.9927
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
56.682	221.942	52.230	0.590	50.470	6.396
127.084	19.569	136.795	322.905	129.436	112.578
228.396	17.961	222.000	71.327	224.682	123.824
341.499	382.386	273.549	2093.805	295.390	572.023
395.570	244.092	317.060	2788.347	366.419	11.873
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	885.950	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	5276.975	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	826.695

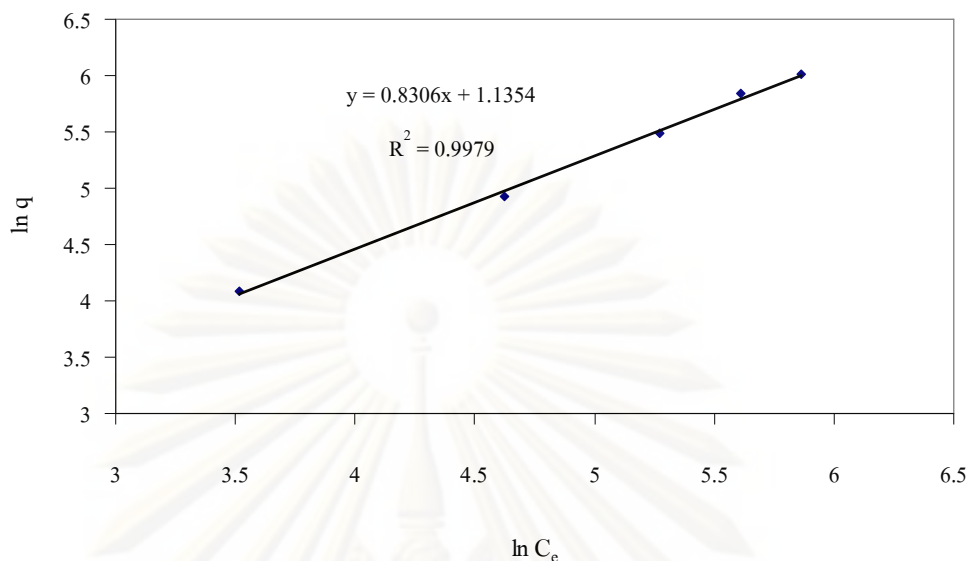
ข.12 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 7025



รูปที่ ข.31 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 7025



รูปที่ ข.32 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 7025

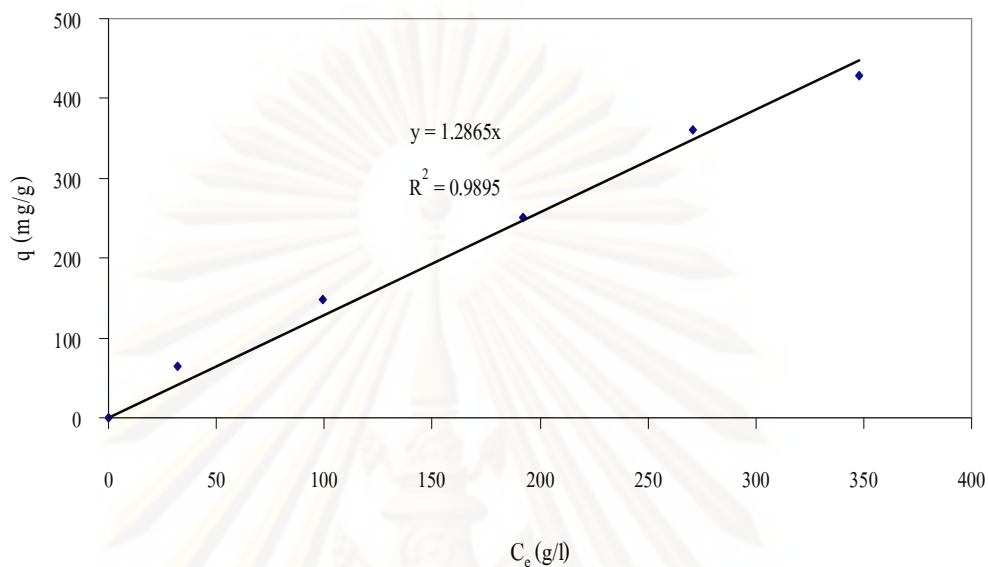


รูปที่ ข.33 การพหุคูณเส้น โคงงข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชของตัวดูดซับ 7025

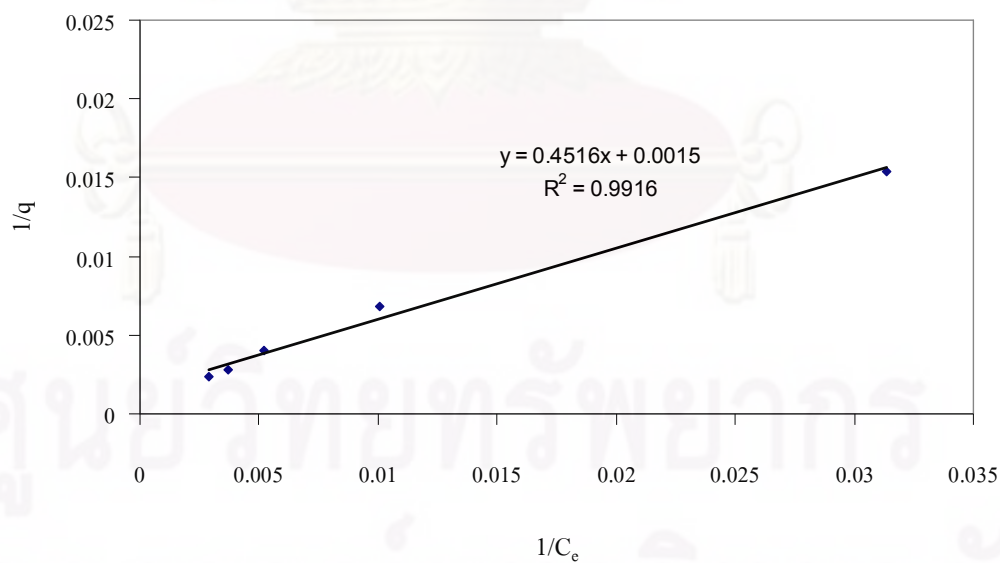
ตาราง ข.11 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 7025 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของฟรอนด์ลิช และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K_H	1.2126	K_L	0.0024528	K_F	3.1124
		q_{max}	769.23	n	0.8306
R^2	0.9925	R^2	0.9943	R^2	0.9979
q_H	$(\Delta q)^2$	q_L	$(\Delta q)^2$	q_F	$(\Delta q)^2$
40.925	344.864	58.810	0.470	57.873	2.631
123.630	222.765	153.885	234.971	144.971	41.157
236.208	23.565	248.706	58.424	248.211	51.100
332.229	99.816	309.172	1092.134	329.509	161.547
425.423	276.144	355.786	2811.110	404.633	17.414
$(\Sigma(\Delta q)^2)$	967.154	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	4197.108	$(\Sigma(\Delta q)^2)$	273.849

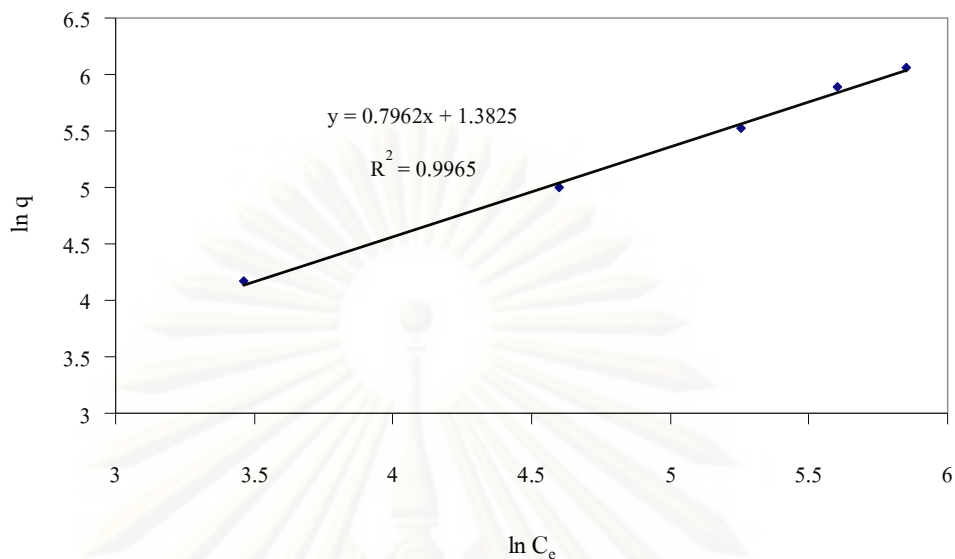
ข.13 แบบจำลองสมมูลการดูดซับเอทานอลด้วยตัวดูดซับ 7030



รูปที่ ข.34 การพหิตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบเฮนรีของตัวดูดซับ 7030



รูปที่ ข.35 การพหิตเส้นโค้งข้อมูลสมมูลการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 7030



รูปที่ ข.36 การพหุคูณเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบ Freundlich ของตัวดูดซับ 7030

ตาราง ข.12 ผลการคำนวณปริมาณสมดุลดูดซับเอทานอลจำเพาะของถ่านดูดซับ 7030 ด้วยแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี แบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และแบบจำลองสมดุลดูดซับของ Freundlich และผลรวมของผลต่างระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลองยกกำลังสอง

Henry		Langmuir		Freundlich	
K _H	1.2865	K _L	0.0033215	K _F	3.9849
		q _{max}	666.67	n	0.7962
R ²	0.9895	R ²	0.9916	R ²	0.9965
q _H	(Δq) ²	q _L	(Δq) ²	q _F	(Δq) ²
41.047	568.987	63.881	1.040	62.776	4.513
127.973	385.251	165.566	322.746	155.234	58.270
246.835	10.123	259.489	89.716	261.900	141.194
348.440	149.383	315.718	2019.975	344.621	257.303
447.233	364.687	357.263	5023.092	420.393	59.964
(Σ(Δq) ²)	1478.430	(Σ(Δq) ²)	7456.568	(Σ(Δq) ²)	521.245

ภาคผนวก ก : ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบความเข้มข้นกับดัชนีหักเหแสง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	10	26.5539	26.5590	26.5591	9.9225	9.9276	9.9277	0.9945	0.9950	0.9951	0.9949	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	9.75	26.5166	26.5151	26.5161	9.8852	9.8837	9.8847	0.9908	0.9906	0.9907	0.9907	3.4924	2.0	2.0	2.0	2.0
0.50	9.50	26.4855	26.4870	26.4850	9.8605	9.8620	9.8600	0.9883	0.9885	0.9883	0.9884	5.1302	2.8	2.8	2.8	2.8
0.75	9.25	26.4538	26.4520	26.4550	9.8288	9.8270	9.8300	0.9851	0.9850	0.9853	0.9851	7.3275	3.8	3.8	3.8	3.8
1.00	9.00	26.3776	26.3641	26.4042	9.7526	9.7391	9.7792	0.9775	0.9762	0.9802	0.9779	12.0879	3.0	3.2	3.1	3.1
1.50	8.50	26.3197	26.3126	26.3157	9.6947	9.6876	9.6907	0.9717	0.9710	0.9713	0.9713	16.3252	6.0	6.0	6.0	6.0
2.00	8.00	26.2995	26.2778	26.3193	9.6681	9.6464	9.6879	0.9690	0.9669	0.9710	0.9690	17.8036	6.2	6.4	6.0	6.2
3.00	7.00	26.0888	26.1105	26.1101	9.4574	9.4791	9.4787	0.9479	0.9501	0.9501	0.9494	29.4501	9.4	10.6	9.6	9.9
4.00	6.00	26.0025	26.0248	26.0555	9.3711	9.3934	9.4241	0.9393	0.9415	0.9446	0.9418	33.6494	12.4	12.4	12.0	12.3
5.00	5.00	25.8185	25.8944	25.8790	9.1871	9.2630	9.2476	0.9208	0.9284	0.9269	0.9254	42.2290	14.6	14.2	14.0	14.3

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส(ต่อ) [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
6.00	4.00	25.6837	25.6728	25.7716	9.0523	9.0414	9.1402	0.9073	0.9062	0.9161	0.9099	49.7434	15.8	16.0	15.6	15.8
7.00	3.00	25.4698	25.5741	25.5015	8.8384	8.9427	8.8701	0.8859	0.8963	0.8891	0.8904	58.4874	17.4	16.6	17.0	17.0
8.00	2.00	25.1830	25.2996	25.2903	8.5516	8.6682	8.6589	0.8571	0.8688	0.8679	0.8646	69.1603	18.4	18.4	18.3	18.4
9.00	1.00	24.9799	25.0587	25.0415	8.3485	8.4273	8.4101	0.8368	0.8447	0.8429	0.8415	78.1937	18.6	19.0	18.7	18.8
10.00	0.00	24.7728	24.7557	24.7689	8.1414	8.1243	8.1375	0.8160	0.8143	0.8156	0.8153	88.3104	18.6	19.0	18.9	18.8

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	10	26.5603	26.5590	26.5599	9.9289	9.9276	9.9285	0.9952	0.9950	0.9951	0.9951	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	9.75	26.5198	26.5211	26.5245	9.8884	9.8897	9.8931	0.9911	0.9912	0.9916	0.9913	2.7312	2.0	2.0	2.0	2.0
0.50	9.50	26.4951	26.4914	26.4932	9.8701	9.8664	9.8682	0.9893	0.9889	0.9891	0.9891	4.2465	2.8	2.8	2.8	2.8
0.75	9.25	26.4624	26.4631	26.4595	9.8374	9.8381	9.8345	0.9860	0.9861	0.9857	0.9859	6.3772	3.8	3.8	3.8	3.8
1.00	9.00	26.4127	26.4133	26.4134	9.7813	9.7819	9.7820	0.9804	0.9804	0.9805	0.9804	10.0103	5.0	5.0	5.0	5.0
1.50	8.50	26.3241	26.3245	26.3231	9.6991	9.6995	9.6981	0.9721	0.9722	0.9720	0.9721	15.3125	7.0	7.0	7.0	7.0
2.00	8.00	26.2829	26.3048	26.2989	9.6515	9.6734	9.6675	0.9674	0.9696	0.9690	0.9686	17.4762	7.4	7.4	7.6	7.5
3.00	7.00	26.1904	26.1891	26.1885	9.5590	9.5577	9.5571	0.9581	0.9580	0.9579	0.9580	23.8668	9.8	9.4	9.8	9.7
4.00	6.00	26.0397	26.0489	26.0025	9.4083	9.4175	9.3711	0.9430	0.9439	0.9393	0.9421	32.8446	12.4	12.5	12.6	12.5
5.00	5.00	25.8816	25.8741	25.8521	9.2502	9.2427	9.2207	0.9272	0.9264	0.9242	0.9259	41.2777	14.4	14.8	14.6	14.6
6.00	4.00	25.7050	25.7135	25.6986	9.0736	9.0821	9.0672	0.9095	0.9103	0.9088	0.9095	49.2260	16.4	16.6	17.0	16.7

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส(ต่อ) [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
7.00	3.00	25.5091	25.5412	25.5283	8.8777	8.9098	8.8969	0.8898	0.8930	0.8917	0.8915	57.3338	17.6	18.0	17.6	17.7
8.00	2.00	25.3031	25.3127	25.2952	8.6717	8.6813	8.6638	0.8692	0.8701	0.8684	0.8692	66.6743	18.4	18.8	19.0	18.7
9.00	1.00	25.0673	25.0594	25.0194	8.4359	8.4280	8.3880	0.8455	0.8447	0.8407	0.8437	76.7434	18.8	19.0	19.1	19.0
10.00	0.00	24.7847	24.8794	24.8215	8.1533	8.2480	8.1901	0.8172	0.8267	0.8209	0.8216	85.2532	18.8	19.0	19.0	18.9

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	10	26.5621	26.5556	26.5456	9.9371	9.9405	9.9305	0.9960	0.9963	0.9953	0.9962	0.00	0	0	0	0.0
0.25	9.75	26.5201	26.5265	26.5260	9.8887	9.8951	9.8946	0.9911	0.9918	0.9917	0.9916	2.20	2.0	2.0	2.0	2.0
0.50	9.50	26.4974	26.4965	26.4941	9.8724	9.8715	9.8691	0.9895	0.9894	0.9892	0.9894	3.67	2.8	2.8	2.8	2.8
0.75	9.25	26.4723	26.4717	26.4721	9.8473	9.8467	9.8471	0.9870	0.9869	0.9870	0.9870	5.27	3.8	3.8	3.8	3.8
1.00	9.00	26.4174	26.4165	26.4113	9.7924	9.8014	9.7962	0.9815	0.9824	0.9819	0.9819	8.58	5.0	5.0	5.0	5.0
1.50	8.50	26.3325	26.3298	26.3341	9.7075	9.7048	9.7091	0.9730	0.9727	0.9731	0.9730	14.28	7.0	7.0	7.0	7.0
2.00	8.00	26.3225	26.3161	26.3061	9.6975	9.7010	9.6910	0.9720	0.9723	0.9713	0.9722	14.77	7.4	7.4	7.6	7.5
3.00	7.00	26.2102	26.2026	26.1926	9.5852	9.5875	9.5775	0.9607	0.9610	0.9600	0.9608	21.61	9.4	9.5	9.4	9.4
4.00	6.00	26.0707	26.0652	26.0552	9.4457	9.4501	9.4401	0.9467	0.9472	0.9462	0.9470	29.52	12.2	12.4	12.3	12.3
5.00	5.00	25.9163	25.9049	25.8949	9.2913	9.2898	9.2798	0.9313	0.9311	0.9301	0.9312	37.92	14.6	14.6	14.6	14.6
6.00	4.00	25.7271	25.7277	25.7177	9.1021	9.1126	9.1026	0.9123	0.9134	0.9124	0.9128	46.98	16.4	16.4	16.4	16.4

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองแสดงความหนาแน่น ความเข้มข้นและดัชนีหักเหแสงของของผสมเอทานอล-น้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส(ต่อ) [1]

สัดส่วนโดยปริมาตร		น้ำหนัก pycnometer + เอทานอล			น้ำหนัก เอทานอล (g)			ความหนาแน่น เอทานอล (g/cm ³)				ความเข้มข้น %weight	ดัชนีหักเหแสง			
เอทานอล	น้ำ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
7.00	3.00	25.5150	25.5261	25.5161	8.8900	8.9110	8.9010	0.8910	0.8932	0.8922	0.8921	56.42	17.4	17.7	17.5	17.5
8.00	2.00	25.3086	25.2960	25.2860	8.6836	8.6809	8.6709	0.8704	0.8701	0.8691	0.8702	65.63	18.6	18.7	18.6	18.6
9.00	1.00	25.0563	25.0714	25.0614	8.4313	8.4563	8.4463	0.8451	0.8476	0.8466	0.8463	75.11	19.2	19.2	19.1	19.2
10.00	0.00	24.7813	24.7806	24.7706	8.1563	8.1655	8.1555	0.8175	0.8184	0.8174	0.8180	86.06	19.2	19.2	19.2	19.2

ตารางที่ ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงกับความเข้มข้นของเอทานอล(wt%) ที่อุณหภูมิ 28 , 29 และ 30 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น (Vol.%)	ค่าดัชนีหักเหของแสง			ความเข้มข้น (Vol.%)	ความเข้มข้น(wt%)		
	T = 28	T = 29	T = 30		T = 28	T = 29	T = 30
0	0.0	0.0	0.0	0	0.00	0.00	0.00
2.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.73	2.47	2.20
5.0	2.8	2.8	2.8	5.0	4.25	3.96	3.67
7.5	3.8	3.8	3.8	7.5	6.38	5.83	5.27
10	5.0	5.0	5.0	10	10.01	9.30	8.58
15	7.0	7.0	7.0	15	15.31	14.80	14.28
20	7.5	7.5	7.5	20	17.47	16.21	14.94
30	9.7	9.6	9.4	30	23.87	22.82	21.78
40	12.5	12.4	12.3	40	32.84	31.25	29.66
50	14.6	14.6	14.6	50	41.28	39.69	38.10
60	16.7	16.5	16.4	60	49.23	48.14	47.06

ภาคผนวก ง : ผลการทดลองสมดุลการดูดซับเอทานอล-น้ำ

ตารางที่ ง.1 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 4020

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
5.430	4.979	24089.4	19544.1	41.54	522.01
12.821	11.734	24041.5	19209.4	102.44	495.12
24.147	22.498	24068.0	19686.0	171.25	371.42
33.512	30.989	24016.0	19439.2	250.65	316.11
42.089	39.814	24028.1	19447.8	294.69	274.77

ตารางที่ ง.2 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 4025

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
5.430	4.757	24052.0	18941.3	50.17	583.00
12.821	11.467	24053.7	18658.3	117.20	552.32
24.147	22.172	24032.8	18829.1	203.42	446.59
33.512	30.279	24017.8	18812.7	291.21	353.12
42.089	38.688	24024.8	18725.4	355.64	301.64

ตารางที่ ง.3 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 4030

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	$q_{\text{H}_2\text{O}}$ (mg/g)
5.430	4.539	24084.9	18810.5	56.32	597.91
12.821	11.202	24080.8	18865.1	121.44	528.66
24.147	21.847	24085.4	18556.3	219.47	469.22
33.512	29.573	24008.8	18227.0	328.73	387.02
42.089	38.314	24055.3	18228.5	390.34	333.86

ตารางที่ ง.4 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 5020

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	$q_{\text{H}_2\text{O}}$ (mg/g)
5.430	4.757	24032.3	19141.9	48.81	556.54
12.821	11.467	24030.3	18812.4	114.20	530.86
24.147	22.172	24002.1	19057.1	194.27	417.41
33.512	30.279	24015.2	19140.0	280.16	326.20
42.089	39.438	24026.9	19010.5	324.43	297.83

ตารางที่ ๓.5 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 5025

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
5.430	4.539	24097.3	19012.7	55.29	575.70
13.310	11.640	24073.8	18775.9	125.87	528.72
23.115	20.854	24030.0	18519.1	210.31	474.50
33.512	29.573	24022.8	18839.4	307.60	335.56
42.089	38.314	24024.8	18681.3	366.89	296.71

ตารางที่ ๓.6 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 5030

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
5.430	4.324	24059.5	18493.5	62.93	628.12
13.310	11.368	24022.0	18370.8	137.75	564.20
23.115	20.537	24025.8	18147.8	228.18	506.16
33.512	29.222	24033.3	18100.5	343.72	393.89
42.089	37.941	24037.6	18283.9	396.47	320.85

ตารางที่ ๗.7 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 6020

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.794	24066.9	18523.7	50.48	641.58
13.310	11.914	24041.4	18888.1	118.40	524.14
23.115	21.173	24089.2	18423.1	206.61	495.49
33.512	29.925	24011.2	18882.5	297.20	339.00
42.089	39.062	24034.5	18617.1	355.23	321.51

ตารางที่ ๗.8 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 6025

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.601	24075.8	18401.2	55.08	647.31
13.310	11.368	24027.1	18735.6	132.00	521.91
23.115	20.537	24063.9	18777.5	212.45	445.90
33.512	29.222	24028.0	18457.0	331.52	363.15
42.089	37.941	24034.8	18460.4	385.94	305.39

ตารางที่ ง.9 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 6030

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.410	24065.2	18115.6	60.66	676.90
12.547	10.417	24065.7	18234.1	139.52	586.92
23.443	20.537	24048.0	18241.2	234.45	485.35
33.512	28.872	24081.0	18278.5	346.95	373.97
42.089	37.569	24045.7	18129.7	409.74	322.70

ตารางที่ ง.10 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 7020

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.601	24049.3	18879.8	53.00	589.29
12.547	10.938	24037.3	18843.1	118.83	527.58
23.443	21.173	24093.9	18556.9	213.55	474.21
33.512	29.573	24013.7	18495.0	319.31	364.28
42.089	38.688	24074.2	18485.0	369.86	323.56

ตารางที่ ง.11 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 7025

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.410	24058.8	18354.9	59.50	646.21
12.547	10.417	24043.8	18265.4	138.56	580.13
23.443	20.221	24020.7	18222.1	241.06	477.08
33.512	28.872	24029.4	18316.8	342.22	365.03
42.089	37.569	24053.4	18171.3	408.81	320.51

ตารางที่ ง.12 ผลความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังดูดซับของตัวดูดซับ 7030

ความเข้มข้นเริ่มต้น(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	EtOH Sol.ก่อนดูดซับ(mg)	EtOH Sol. หลังดูดซับ(mg)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{H_2O} (mg/g)
4.600	3.223	24070.9	18184.7	64.90	667.93
12.547	10.159	24068.4	18049.9	147.60	601.38
23.443	19.907	24039.3	18167.0	250.02	477.13
33.512	28.523	24034.8	18037.7	360.66	382.75
42.089	37.198	24054.9	17982.6	428.14	328.63

ภาคผนวก จ : ผลการคำนวณความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ

ตารางที่ จ.1 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 4020

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
5.430	4.979	41.535	522.006	7.370	0.5727
12.821	11.734	102.440	495.119	17.143	0.6172
24.147	22.498	171.246	371.416	31.557	0.5743
33.512	30.989	250.653	316.112	44.225	0.6166
42.089	39.814	294.690	274.765	51.749	0.6309

ตารางที่ จ.2 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 4025

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
5.430	4.757	50.166	582.997	7.923	0.6440
12.821	11.467	117.197	552.315	17.505	0.6919
24.147	22.172	203.425	446.591	31.295	0.6876
33.512	30.279	291.207	353.116	45.196	0.7027
42.089	38.688	355.645	301.637	54.108	0.7326

ตารางที่ จ.3 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวคูดซับ 4030

ความเข้มข้นก่อนคูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวคูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกคูดซับ(ml/g)
5.430	4.539	56.315	597.906	8.608	0.6661
12.821	11.202	121.437	528.665	18.680	0.6731
24.147	21.847	219.471	469.222	31.868	0.7293
33.512	29.573	328.725	387.021	45.928	0.7821
42.089	38.314	390.339	333.856	53.900	0.8067

ตารางที่ จ.4 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวคูดซับ 5020

ความเข้มข้นก่อนคูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวคูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกคูดซับ(ml/g)
5.430	4.757	48.808	556.537	8.063	0.6158
12.821	11.467	114.203	530.858	17.704	0.6668
24.147	22.172	194.274	417.413	31.760	0.6476
33.512	30.279	280.157	326.196	46.204	0.6630
42.089	39.438	324.429	297.829	52.137	0.6901

ตารางที่ ๑.5 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 5025

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
5.430	4.539	55.287	575.697	8.762	0.6426
13.310	11.640	125.867	528.720	19.229	0.6781
23.115	20.854	210.305	474.500	30.710	0.7241
33.512	29.573	307.602	335.563	47.826	0.7065
42.089	38.314	366.894	296.713	55.288	0.7418

ตารางที่ ๑.6 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 5030

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
5.430	4.324	62.931	628.120	9.107	0.7041
13.310	11.368	137.747	564.205	19.623	0.7276
23.115	20.537	228.179	506.158	31.073	0.7770
33.512	29.222	343.715	393.892	46.599	0.8074
42.089	37.941	396.466	320.846	55.271	0.8018

ตารางที่ จ.7 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 6020

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.794	50.476	641.576	7.294	0.7034
13.310	11.914	118.401	524.140	18.427	0.6647
23.115	21.173	206.611	495.491	29.428	0.7406
33.512	29.925	297.200	338.996	46.715	0.6966
42.089	39.062	355.227	321.508	52.491	0.7511

ตารางที่ จ.8 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 6025

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.601	55.083	647.306	7.842	0.7145
13.310	11.368	132.003	521.915	20.186	0.6784
23.115	20.537	212.452	445.896	32.270	0.6982
33.512	29.222	331.519	363.154	47.723	0.7628
42.089	37.941	385.944	305.385	55.826	0.7739

ตารางที่ จ.9 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 6030

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.410	60.661	676.898	8.225	0.7508
12.547	10.417	139.522	586.922	19.206	0.7528
23.443	20.537	234.449	485.346	32.572	0.7638
33.512	28.872	346.949	373.966	48.126	0.7925
42.089	37.569	409.737	322.704	55.941	0.8202

ตารางที่ จ.10 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 7020

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.601	52.999	589.287	8.252	0.6538
12.547	10.938	118.825	527.581	18.382	0.6690
23.443	21.173	213.554	474.212	31.050	0.7277
33.512	29.573	319.307	364.276	46.711	0.7485
42.089	38.688	369.865	323.559	53.339	0.7713

ตารางที่ จ.11 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 7025

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.410	59.495	646.206	8.431	0.7186
12.547	10.417	138.556	580.133	19.279	0.7449
23.443	20.221	241.062	477.075	33.568	0.7635
33.512	28.872	342.220	365.030	48.387	0.7781
42.089	37.569	408.806	320.513	56.053	0.8169

ตารางที่ จ.12 ความเข้มข้นของของผสมเอทานอล-น้ำ ภายในตัวดูดซับ 7030

ความเข้มข้นก่อนดูดซับ(wt%)	ความเข้มข้นสมดุล(wt%)	q_{EtOH} (mg/g)	q_{Water} (mg/g)	ความเข้มข้นในตัวดูดซับ(wt%)	ปริมาตรของผสมที่ถูกดูดซับ(ml/g)
4.600	3.223	64.900	667.934	8.856	0.7467
12.547	10.159	147.600	601.379	19.707	0.7768
23.443	19.907	250.017	477.131	34.383	0.7743
33.512	28.523	360.662	382.750	48.514	0.8182
42.089	37.198	428.136	328.631	56.574	0.8488

ภาคผนวก ก : ผลการทดลองสมมูลการดูดซับน้ำ

ตารางที่ ก.1 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 4020

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	469.097	0.4709
60	484.290	0.4861
90	495.096	0.4970
120	501.402	0.5033
150	502.075	0.5040
180	502.374	0.5043

ตารางที่ ก.2 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 4025

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	484.749	0.4866
60	501.348	0.5032
90	516.444	0.5184
120	529.328	0.5313
150	530.508	0.5325
180	530.868	0.5329

ตารางที่ ก.3 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 4030

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	527.104	0.5291
60	545.485	0.5475
90	560.260	0.5624
120	570.430	0.5726
150	571.416	0.5736
180	571.878	0.5740

ตารางที่ ๑.4 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5020

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	490.057	0.4919
60	505.309	0.5072
90	519.136	0.5211
120	524.748	0.5267
150	525.702	0.5277
180	526.148	0.5281

ตารางที่ ๑.5 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5025

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	518.410	0.5204
60	534.602	0.5366
90	546.020	0.5481
120	553.798	0.5559
150	554.770	0.5569
180	555.331	0.5574

ตารางที่ ๑.6 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 5030

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	537.394	0.5394
60	554.630	0.5567
90	570.142	0.5723
120	582.079	0.5843
150	583.494	0.5857
180	584.139	0.5863

ตารางที่ ๑.7 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6020

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	510.839	0.5128
60	525.635	0.5276
90	538.344	0.5404
120	543.475	0.5455
150	544.493	0.5465
180	545.139	0.5472

ตารางที่ ๑.8 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6025

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	532.994	0.5350
60	552.275	0.5544
90	568.676	0.5708
120	575.860	0.5780
150	577.444	0.5796
180	577.967	0.5801

ตารางที่ ๑.9 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 6030

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	559.884	0.5620
60	577.077	0.5793
90	592.801	0.5950
120	603.857	0.6061
150	604.816	0.6071
180	605.090	0.6074

ตารางที่ ๑.10 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7020

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	518.753	0.5207
60	534.023	0.5360
90	548.243	0.5503
120	556.022	0.5581
150	557.033	0.5591
180	557.433	0.5595

ตารางที่ ๑.11 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7025

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	540.004	0.5420
60	560.602	0.5627
90	577.599	0.5798
120	587.979	0.5902
150	590.288	0.5925
180	590.810	0.5930

ตารางที่ ๑.12 ปริมาณการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของตัวดูดซับ 7030

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (mg/g)	ปริมาณการดูดซับน้ำ (ml/g)
30	573.642	0.5758
60	591.173	0.5934
90	607.793	0.6101
120	622.292	0.6246
150	623.690	0.6260
180	624.139	0.6265

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุภโชค ธนกุลพรรณ เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมวัดมกุฏกษัตริย์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย