

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี
สำหรับการดูดซับฟีนอล

SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELL BY
CHEMICAL ACTIVATION FOR THE ADSORPTION OF PHENOL



ธีระโชติ ศรีธีระวีโรจน์

THEERACHOTE SRITHEERAWIROJANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

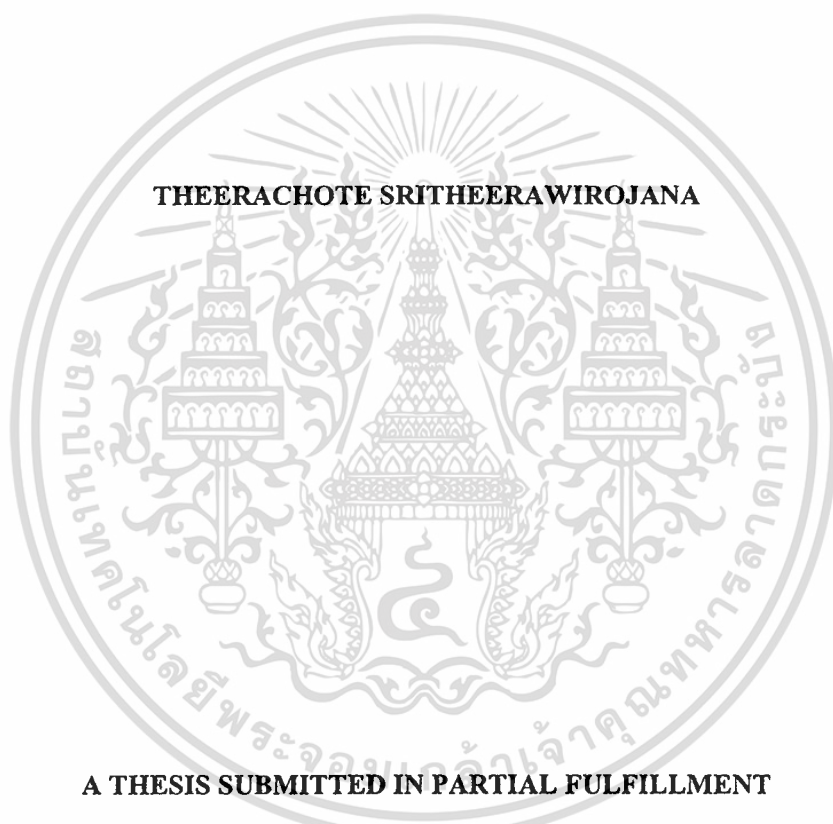
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....48905
วัน, เดือน, ปี 12 มี.ค. 2547

ISBN 974-325-780-7

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELL BY
CHEMICAL ACTIVATION FOR THE ADSORPTION OF PHENOL**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-325-780-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยวิธีการ
กระตุ้นทางเคมีสำหรับการดูดซับฟีนอล

นักศึกษา

นายธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์

รหัสประจำตัว

42061216

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมปิโตรเคมี

พ.ศ.

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร วิเคราะห์สภาพพื้นผิว พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรรูพรุนรวมของคาร์บอนกัมมันต์ จากการทดลองพบว่าสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสม คือ ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากสภาวะการกระตุ้นนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,193 ตารางเมตร/กรัม มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 13.92 อังสตรอม มีปริมาตรรูพรุนรวม 0.544 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม สามารถดูดซับปริมาณฟีนอลที่ทุกค่าความเข้มข้นสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ตัวอย่างอื่น และมีปริมาณการดูดซับใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,160 ตารางเมตร/กรัม มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 14.02 อังสตรอม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.510 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม จากการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมนี้เท่ากับ 25.02 มิลลิกรัม/กรัม และ 103.63 มิลลิกรัม/กรัม คิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับ 99.71 % และ 94.93 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis of Activated Carbon from Coconut Shell by Chemical Activation for the Adsorption of Phenol
Student	Mr. Theerachote Sritheerawirojana
Student ID.	42061216
Degree	Master of Engineering
Programme	Petrochemical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum
Thesis Co-advisor	Assoc. Prof. Dr-Ing. Gobboon Lothongkum Department of Metallurgical, Faculty of Engineering Chulalongkorn University

ABSTRACT

This work synthesized activated carbon from coconut shell by chemical activation using the solutions of zinc chloride 60 wt %, saturated sodium chloride and the mixture of both solutions at weight ratios of 1:1 and 1:2. The adsorption of phenol solutions at concentrations of 100-500 mg/l, surface of activated carbon, specific surface area, pore size diameter and total pore volume were studied. The optimum activation condition is using 60-wt% zinc chloride solution at weight ratio of coconut shell to activating agent 1:2, activation temperature at 800 °C and activation time 60 min. The activated carbon synthesized at this condition has specific surface area of 1,193 m²/g, mean micropore diameter of 13.92 Å and total pore volume of 0.544 cm³/g. This activated carbon gave the highest adsorption capacity at all phenol concentrations comparing with the other synthesized activated carbons. Its adsorption capacity was nearly the same as that of the commercial one (HRO CH M325-60), with specific surface area of 1,160 m²/g, mean micropore diameter of 14.02 Å and total pore volume of 0.510 cm³/g. The adsorption capacity at phenol concentrations of 100 mg/l and 500 mg/l were 25.02 mg/g and 103.63 mg/g, corresponding to 99.71% and 94.93% efficiency, respectively.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 แนวคิดในการศึกษา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.4 ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 คาร์บอนกัมมันต์.....	5
2.2 การผลิตคาร์บอนกัมมันต์.....	7
2.2.1 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization).....	7
2.2.2 การกระตุ้น (Activation).....	8
2.3 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์.....	13
2.3.1 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ.....	13
2.3.2 แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ.....	14
2.3.3 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น.....	16
2.3.4 แบ่งตามขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์.....	16
2.4 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์.....	16
2.5 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีการดูดซับ.....	27
3.1 กลไกการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์.....	27
3.2 ปฏิกิริยาการดูดซับ.....	27
3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	27
3.2.2 การดูดซับทางเคมี.....	28
3.3 ตัวดูดซับ.....	29
3.3.1 ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว.....	29
3.3.2 ตัวดูดซับแบบมีขั้ว.....	30
3.3.3 ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี.....	30
3.4 สมดุลของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ (Equilibrium adsorption and adsorption isotherm).....	30
3.5 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับ.....	32
3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	35
3.7 ฟีนอล.....	37
บทที่ 4 เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย.....	40
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแบบประมาณ.....	40
4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง.....	40
4.1.2 วิธีการทดลอง.....	40
4.2 การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....	42
4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง.....	42
4.2.2 วิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....	43
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์.....	43
4.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ.....	43
4.3.2 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน.....	43
4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer: TGA.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope: SEM.....	50
4.6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม.....	52
4.7 วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค Electron probe microanalysis: EPMA.....	53
4.8 การทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล.....	54
บทที่ 5 ผลการทดลองและการอภิปราย.....	59
5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ.....	59
5.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน.....	60
5.3 ค่าร้อยละผลผลิตของการบอณกัมมันต์ที่ได้.....	60
5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าร้อยละผลผลิตของการบอณกัมมันต์.....	60
5.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของการบอณกัมมันต์.....	61
5.4.1.1 ชนิดของสารกระตุ้น.....	61
5.4.1.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น.....	62
5.4.1.3 อุณหภูมิการกระตุ้น.....	63
5.4.1.4 เวลาการกระตุ้น.....	63
5.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตของการบอณกัมมันต์.....	65
5.4.2.1 ชนิดของสารกระตุ้น.....	65
5.4.2.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น.....	65
5.4.2.3 อุณหภูมิการกระตุ้น.....	65
5.4.2.4 เวลาการกระตุ้น.....	65
5.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง TGA.....	66
5.6 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM.....	70
5.7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม.....	74
5.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค EPMA.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.9 การทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล.....	79
5.9.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ.....	79
5.9.2 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับ.....	81
5.9.3 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ.....	81
5.9.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich...	83
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	91
6.1 สรุป.....	91
6.1.1 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....	91
6.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติ.....	91
6.1.3 การดูดซับสารละลายฟีนอล.....	92
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
เอกสารอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง.....	99
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า.....	171
ประวัติผู้เขียน.....	172

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....2
2.1	ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์.....6
2.2	องค์ประกอบของกะลามะพร้าว.....6
2.3	องค์ประกอบของถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ.....7
2.4	การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).....14
2.5	สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....24
3.1	คุณสมบัติทางกายภาพของฟีนอล.....37
3.2	ปริมาณฟีนอลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ.....38
4.1	สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ 42
4.2	ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน.....48
5.1	ผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ.....60
5.2	สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์.....66
5.3	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม.....74
5.4	ค่าตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการของ Langmuir และ Freundlich.....90
6.1	ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์.....93
ก.1	ปริมาณร้อยละของความชื้นของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์.....99
ก.2	ปริมาณร้อยละของสารระเหยของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์.....100
ก.3	ปริมาณร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์.....101
ก.4	ปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัวของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์.....102
ก.5	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....103
ก.6	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น.....105
ก.7	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	109
ก.9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของกะลามะพร้าว และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า.....	111
ก.10 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	118
ก.11 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	120
ก.12 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	122
ก.13 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	124
ก.14 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม ..	132
ก.15 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	133
ก.16 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น	134
ก.17 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	135
ก.18 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	136
ก.19 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม	137
ก.20 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม ..	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.21 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	139
ก.22 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	140
ก.23 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	141
ก.24 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	142
ก.25 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม.....	143
ก.26 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม...	144
ก.27 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	145
ก.28 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	146
ก.29 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	147
ก.30 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	148
ก.31 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม	149
ก.32 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม...	150
ก.33 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.34 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	152
ก.35 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	153
ก.36 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	154
ก.37 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม	155
ก.38 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง..	156
ก.39 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	157
ก.40 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น	158
ก.41 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	159
ก.42 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลาย โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	160
ก.43 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม	161
ก.44 ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลที่สถานะสมดุลการดูดซับ.....	162
ก.45 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการ ของ Langmuir และ Freundlich ของกะลามะพร้าว.....	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.46 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น	166
ก.47 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	167
ก.48 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	167
ก.49 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	168
ก.50 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60).....	168
ก.51 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีน.....	169
ก.52 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล.....	170
ข.1 คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60).....	171

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์.....	15
2.2 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ.....	15
2.3 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์.....	17
3.1 รูปแบบไอโซเทอมการดูดซับแบบต่าง ๆ.....	31
3.2 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir.....	33
3.3 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich.....	34
3.4 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ BET.....	35
3.5 สูตรโครงสร้างของฟินอล.....	37
4.1 เครื่อง TGA รุ่น Pyris1 TGA บริษัท PerkinElmer.....	50
4.2 เครื่อง SEM รุ่น JEOL JSM-5800LV.....	52
4.3 เครื่อง รุ่น Autosorb 1 ของบริษัท Quantachrome Corporation.....	53
5.1 กราฟ TGA ของกะลามะพร้าว.....	68
5.2 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก.....	68
5.3 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิ่มตัว.....	69
5.4 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก.....	69
5.5 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก.....	70
5.6 รูป SEM ของกะลามะพร้าว ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	71
5.7 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	71
5.8 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	72
5.10 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	73
5.11 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ที่กำลังขยาย 250 เท่า..	73
5.12 องค์ประกอบของธาตุในกะลามะพร้าว.....	76
5.13 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก.....	77
5.14 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว..	77
5.15 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก.....	78
5.16 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก.....	78
5.17 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60).....	79
5.18 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 125 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง.....	80
5.19 ไอโซเทอมการดูดซับสารละลายฟีนอล.....	82
5.20 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟีนอล.....	82
5.21 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของกะลามะพร้าว.....	84
5.22 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของกะลามะพร้าว.....	84
5.23 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	85
5.24 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.25 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	86
5.26 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น.....	86
5.27 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	87
5.28 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	87
5.29 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	88
5.30 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่าง ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น.....	88
5.31 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60).....	89
5.32 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60).....	89
ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....	114
ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....	114
ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....	114
ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....115
ก.6	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....115
ก.7	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....116
ก.8	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....116
ก.9	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....116
ก.10	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....117
ก.11	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....117
ก.12	ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....117
ก.13	ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....126
ก.14	ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....126
ก.15	ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.16 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....	127
ก.17 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....	127
ก.18 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....	127
ก.19 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....	128
ก.20 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....	128
ก.21 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....	128
ก.22 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส.....	129
ก.23 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส.....	129
ก.24 คำร้อยละผลผลิตของการบดนมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส.....	129
ค.25 กราฟมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน.....	169
ก.26 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล.....	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

มลพิษทางน้ำเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่ง น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำนั้น ๆ เสื่อมลงซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ และเป็นปัญหาต่อประชาชนที่ใช้แหล่งน้ำนั้น น้ำเสียยังส่งผลกระทบต่อ การปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อใช้ทำน้ำใช้ในอุตสาหกรรมหรือใช้สำหรับชุมชน เพราะต้องสิ้นเปลืองสารเคมีต่าง ๆ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพิ่มมากขึ้น [1] ประเทศไทยกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรมจึงมีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเหล่านี้นอกจากจะมีสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ปนอยู่แล้ว ยังอาจมีสารพิษเกินมาตรฐานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ฟีนอลเป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่พบในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมหลายชนิด แหล่งน้ำทิ้งที่มีฟีนอลส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมประเภท โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานถ่านหิน โรงงานผลิตฟีนอลิกเรซิน โรงงานผลิตพลาสติก โรงงานผลิตสีย้อมผ้า โรงงานผลิตไนลอน ฟีนอลจะเป็นอันตรายต่อปลา ที่ความเข้มข้น 5-25 มิลลิกรัม/ลิตร และอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จะต้องมียปริมาณฟีนอลไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร [2-4]

คาร์บอนกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ดี เพราะมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง มีการนำคาร์บอนกัมมันต์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดความขุ่น สี กลิ่น และรส ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในระบบการบำบัดน้ำเสียจะใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

งานวิจัยนี้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและหาได้ง่ายโดยการกระตุ้นด้วยสารเคมีต่าง ๆ และทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล ซึ่งอาจพัฒนาไปสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมและสามารถช่วยลดการนำเข้าคาร์บอนกัมมันต์จากต่างประเทศที่มีราคาแพงได้ และยังเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกะลามะพร้าว

1.2 แนวคิดในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว กะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก การศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ผ่านมาพบว่า ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่ดีในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์แต่มีราคาแพงและมีสมบัติในการกักกร่อนสูง ดังนั้นภาชนะและกระบวนการที่ใช้ในการผลิตจะต้องมีความทนทานเป็นพิเศษทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้อาจมีสารเคมีตกค้างแนวทางหนึ่งที่สำคัญ คือ การหาสารกระตุ้นที่มีราคาถูก มีสมบัติในการกักกร่อนน้อยกว่าซิงค์คลอไรด์และไม่เป็นอันตราย งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบการดูดซับฟีนอลของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ซึ่งเป็นสารกระตุ้นที่ดีและใช้กันมากกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัวที่มีราคาถูกและไม่กักกร่อน และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัว ตามสภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสมจากงานวิจัยของ ชีระโชติ และอัญชลีพร [5] ดังตารางที่ 1.1 คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณเพื่อหาค่าร้อยละของความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว หลังจากนั้นวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer: TGA วิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope: SEM วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย ปริมาตรของรูพรุนรวม ด้วยเครื่อง Autosorb วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค Electron probe microanalysis: EPMA และเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายฟีนอลของคาร์บอนกัมมันต์จากงานวิจัยนี้กับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ซึ่งผลิตจากกะลามะพร้าวเช่นกัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ [5]

สารกระตุ้น	อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการกระตุ้น (°C)	เวลาการกระตุ้น (นาท)
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1:2	800	60
NaCl อิมิตัว	1:3	800	90
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมิตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	1:3	600	90
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมิตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	1:2	600	60

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว

1.3.2 วิเคราะห์สภาพพื้นผิว พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวมของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

1.3.3 ศึกษาการดูดซับสารละลายฟีนอลด้วยกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้าซึ่งผลิตจากกะลามะพร้าว

1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

1.4.1 การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์

สารกระตุ้น และสภาวะการสังเคราะห์ที่ใช้

- สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที
- สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:3 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 90 นาที
- สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:3 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 90 นาที
- สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวที่อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที

1.4.2 การดูดซับสารละลายฟีนอล

- ก. เวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที
- ข. ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล คือ 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร
- ค. ชนิดของตัวดูดซับ คือ
 - กะลามะพร้าว
 - คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
 - คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวด้วยตัวแปรในหัวข้อ 1.4.1

1.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) เพื่อหาค่าร้อยละของความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว

1.5.3 หาค่าการดูดซับไอโอดีนของกะลามะพร้าว และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

1.5.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก สภาพพื้นผิว พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย ปริมาตรของรูพรุนรวม และองค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

1.5.5 ทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มของกะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยการสังเคราะห์เป็นคาร์บอนกัมมันต์และใช้เป็นตัวดูดซับ

1.6.2 ทราบสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การบอนกัมมันต์

การบอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี [6]

ในศตวรรษที่ 17 และ 18 ได้มีการผลิตถ่านขึ้นมาใช้โดยนำไม้มาเผาบริเวณที่มีอากาศจำกัด ถ่านที่ได้จะนำไปใช้ในโรงงานถลุงแร่ และใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อน พบว่าถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี การใช้ถ่านปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกำจัดสี และกลิ่นในของเหลวชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น ในอุตสาหกรรมทำไวน์และน้ำตาล การทำให้ถ่านมีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นต้องผ่านกระบวนการกระตุ้นซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ [7]

วัตถุดิบสำหรับการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไม่ว่าจะได้จากสัตว์ พืช และแร่ธาตุ เช่น เลือด กระดูก กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ เมล็ดผลไม้ เมล็ดกาแฟ ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ลิกนิน ฟิท ลิกไนต์ บิทูมินัส ถากปีโตรเลียม เป็นต้น [7-8] เมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่า ไม้ กระดูก ลิกนิน และฟิท เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในของเหลว ส่วนกะลามะพร้าว ถ่านหิน ถากปีโตรเลียม เหมาะสำหรับการเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ วัตถุดิบที่เข่นนำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ประเทศที่ผลิตมะพร้าวเพื่อบริโภคและส่งออกจะมีกะลามะพร้าวเป็นผลพลอยได้ กะลามะพร้าวเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในบ้านเรือน แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อกำเนิดไอน้ำ องค์ประกอบของกะลามะพร้าวคล้ายกับไม้เนื้อแข็ง ต่างกันที่กะลามะพร้าวมีเซลลูโลสต่ำกว่าแต่มีลิกนินสูงกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแสดงดังตารางที่ 2.2

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ได้จากกะลามะพร้าว คือ ถ่านจากกะลามะพร้าว ซึ่งให้ค่าความร้อนสูงถึง 7,500-7,600 แคลอรี/กรัม ถ่านกะลามะพร้าวที่มีคุณสมบัติที่ดี คือ มีสีดำตลอด เมื่อหักแล้วรอยหักจะเป็นเงา ไม่แตกหักง่าย ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง มีความชื้นต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 การใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนนั้นไม่เหมาะสมแม้ว่าจะให้ค่าความร้อนสูงก็ตาม เนื่องจากเมื่อเผากะลามะพร้าวให้เป็นถ่านแล้วจะเกิดการหดตัวทำให้เกิดรูพรุนมาก เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจะถูกไหม้เร็วเพราะอากาศแพร่เข้าไปในรูพรุนได้สะดวก ทำให้เปลวไฟมอดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [8]

ขานอ้อย (Bagases)	เขม่า (Lampblack)
กากของบีท (Beet-sugar sludges)	กากหนัง (Leather waste)
เลือด (Blood)	กากน้ำตาล (Molasses)
กระดูก (Bones)	เปลือกลูกนัท (Nut shell)
สารจำพวกแป้ง (Carbohydrates)	ลิกนิน (Lignin)
เมล็ดพืช (Cereals)	ถ่านหิน
กะลามะพร้าว (Coconut shell)	ถ่านลิกไนต์
เมล็ดกาแฟ (Coffee beans)	ถ่านหินฟิทร่วน
ซังข้าวโพด (Corncobs and corn stalks)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coke)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hull)	หินน้ำมัน (Oil shale)
ของเสียโรงกลั่นสุรา (Distillery waste)	กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum acid sludge)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue dust)	ของเสียจากเยื่อกระดาษ (Pulp-mill waste)
เมล็ดผลไม้ (Fruit pits)	ของเสียจากยาง (Rubber waste)
แกรไฟต์ (Graphite)	ขี้เลื่อย (Sawdust)
วัชพืชทะเล (Kelp and seaweed)	ไม้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกะลามะพร้าว [9]

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	8.4
เถ้า	0.6
ตัวถูกละลายที่สกัดได้ (Extractive solvent)	4.2
ลิกนิน	29.4
เซลลูโลส	26.6
เพนโตซาน (Pentosans)	27.7
ยูโรนิคแอนไฮไดรด์ (Uronic anhydrides)	3.1

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ [10]

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	0.5
เถ้า	1.7
สารระเหยได้	26.33
คาร์บอนคงตัว	71.47

2.2 การผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [7-8, 11]

การผลิตคาร์บอนกัมมันต์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการ และวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ วิธีการโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และการกระตุ้น (Activation)

2.2.1 การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) [7]

ขั้นตอนนี้เป็นการนำวัตถุดิบมาเผาในสถานะที่มีออกซิเจนอยู่น้อย (Pyrolysis) ทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมี สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึก (Microcrystalline) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผา องค์ประกอบ และโครงสร้างของวัตถุดิบ เมื่อเผาวัตถุดิบ ผลึกคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะ โคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ วัตถุดิบซึ่งมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบเมื่อถูกเผาจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ถ่านที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะมีสีดำตลอด เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา ปลายที่หักจะแหลมคม ปราศจากผงฝุ่นและเถ้า

ในทางการค้าผู้ผลิตถ่านจากกะลามะพร้าวมักจะพิจารณาค่าต่อไปนี้

- ปริมาณความชื้น (Moisture)
- สารระเหย (Volatile matters)
- ปริมาณเถ้า (Ash)
- น้ำหนักของคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ถ่านที่ดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง และมีปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า น้อย ถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะว่าการทำให้เป็นถ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันไวสาหรับการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส จึงยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) ตกค้างอยู่ในรูปพูนหรือเกาะอยู่ตามผิว การนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

2.2.2 การกระตุ้น (Activation) [7]

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้ความพรุนและพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากน้ำมันดินถูกกำจัดให้หลุดออกมาด้วยวิธีการทางกายภาพหรือวิธีการทางเคมี ทำให้ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย จึงมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น การกระตุ้นมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activation) และการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical activation)

2.2.2.1 การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

วิธีนี้ใช้ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรืออากาศ ไปออกซิไดส์น้ำมันดินและอะตอมของคาร์บอนบางตัวในโครงสร้างผลึก ก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดส์จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันดินและอะตอมของคาร์บอนดังสมการที่ 2.2-2.5 ทำให้น้ำมันดินถูกกำจัดออก คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จึงมีรูพรุนกว้างมากขึ้น และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น

2.2.2.1.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation)

ปฏิกิริยานี้ใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดส์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 760-950 องศาเซลเซียส ดังสมการ



อัตราการออกซิไดส์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ขนาดและความพรุนของอนุภาคลดลง

2.2.2.1.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide activation)

ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์และเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนดังสมการ



จากค่า $\Delta \bar{H}$ จะเห็นว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า คือ ประมาณ 850-1,100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ด้วยในการปฏิบัติทางเทคนิคแล้วจะใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งจะเกิดทั้งไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะเติมไอน้ำเข้าไปด้วยเพื่อเป็นการกระตุ้นโดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

2.2.2.1.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ (Air activation)

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดส์คาร์บอน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการ



การใช้อากาศกระตุ้นใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่าปฏิกิริยาคายความร้อน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านไหม้

การกระตุ้นทางกายภาพมีข้อดี คือ หลังจากกระตุ้นแล้วสามารถนำคาร์บอนกลับมาใช้ได้ทันที ส่วนข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าวิธีการกระตุ้นทางเคมี คาร์บอนกลับมาใช้ได้อาจมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี รูพรุนที่ได้เป็นแบบไมโครพอร์ เหมาะสำหรับดูดกลืน ไอ หรือก๊าซพิษ

2.2.2.2 การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

วิธีนี้เป็นการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบผสมกับสารเคมีที่เรียกว่า สารกระตุ้น (Activating agent) เมื่อให้ความร้อนสารกระตุ้นจะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำมันดินจะถูกกำจัดให้น้อยลง ปริมาณสารที่ระเหยได้ก็มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเผาให้เป็นถ่านธรรมดา สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นเกลืออนินทรีย์ ตัวอย่างสารกระตุ้น เช่น

กรดบอริก (H ₃ BO ₃)	โพแทสเซียมไธโอโซยาเนต (K ₂ S ₂ O ₃)
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl ₂)	แมงกานีสคลอไรด์ (MnCl ₂)
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH) ₂)	แมงกานีสซัลเฟต (MnSO ₄)
แคลเซียมฟอสเฟต (Ca(PO ₃) ₂)	กรดไนตริก (HNO ₃)
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
ปูนโคโลไมต์ (CaMg(CO ₃) ₂)	โซเดียมซัลเฟต (Na ₂ SO ₄)

เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_2)กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)

หลักการของวิธีนี้ คือ นำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบผสมกับเกลืออนินทรีย์ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ และเผาในที่อับอากาศ จะทำให้วัตถุดิบที่สลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายวัตถุดิบให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังลดปริมาณน้ำมันดินและสารระเหยได้ เนื่องจากเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง จึงยังคงสภาพอยู่รอบ ๆ ผิวถ่านและแทรกอยู่ภายใน ทำให้การหดตัวของถ่านเกิดได้จำกัด เมื่อสกัดสารอนินทรีย์ออกก็จะเกิดช่องว่างหรือรูพรุนขึ้น [12]

ข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี คือ ใช้อุณหภูมิต่ำ และได้ผลผลิตมากกว่าการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ ส่วนข้อเสีย คือ สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นมีราคาที่สูงแพง และบางชนิดยังกัดกร่อนภาชนะหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นลง นอกจากนี้จำเป็นต้องล้างสารเคมีออกจากคาร์บอนกัมมันต์ไม่ให้เหลือตกค้างเพื่อความปลอดภัยก่อนนำไปใช้งาน จึงสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เวลา และแรงงาน

การกระตุ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุน จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้น เช่น ถ้าใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบในถ่านหินจะมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจึงต้องกำจัดซัลเฟอร์ออกก่อนโดยล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนการกระตุ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกระตุ้นดีขึ้น [7]

ตัวอย่างการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี มีดังนี้

ก. กระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม [13]

เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ผสมกับสารละลายที่มีไอออนโพแทสเซียมหรือไอออนโซเดียม ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจะหลุดออก ทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการ พบว่าการใช้สารประกอบโพแทสเซียมเป็นสารกระตุ้นจะให้ถ่านที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการใช้สารประกอบโซเดียมเป็นสารกระตุ้น [13] ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ตามลำดับมีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อ X คือ K^+ หรือ Na^+

ตัวอย่างสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม ได้แก่

- สารประกอบคาร์บอเนต เช่น โพแทสเซียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (สารประกอบประเภทนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเลือด) ทั้งนี้การใช้ปริมาณสารกระตุ้นจะเปลี่ยนไปตามวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ผสมเลือดแห้ง 8 ส่วน กับโพแทสเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนต 1 ส่วน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในที่อัดอากาศ ผสมถ่าน 100 ส่วนกับโพแทสเซียมคาร์บอเนต 15 ส่วน ทำให้แห้งแล้วเผาโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นต้น

- ค่าง (Caustic) เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอุตสาหกรรมไม่นิยมใช้สารประเภทนี้ เพราะปฏิกิริยาค่อนข้างรุนแรงและอาจเกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้ด้วย

- ชัลไฟด์ และไรโอโซยานเนต เช่น โพแทสเซียมชัลไฟด์ หรือโพแทสเซียมไรโอโซยานเนต การใช้สารประกอบประเภทนี้เป็นการประยุคต์จากการใช้สารจำพวกค่าง โดยทำให้ปฏิกิริยามีความรุนแรงน้อยลง ตัวอย่างการใช้สารประกอบนี้ ได้แก่ การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากขี้เลื่อย สามารถทำได้โดยผสมขี้เลื่อยกับสารละลายโพแทสเซียมไรโอโซยานเนตเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300-350 องศาเซลเซียส ในที่อัดอากาศแล้วเผาต่อให้อุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส ในบางครั้งถ้าต้องการเพิ่มความรุนแรงของปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยเติมสารค่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ข. กระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ (Oxidizing gas)

ก๊าซหรือไอที่ใช้ ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ชัลเฟอร์ไดออกไซด์ คลอรีน และไอกำมะถัน

ค. กระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (Dehydrating agent) [13]

สารดูดน้ำที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น ซิงค์คลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้กรดฟอสฟอริก และกรดซัลฟิวริกด้วย วิธีการนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างที่ละเอียด เช่น ถ่านดินพรุ เปลือกถั่ว และขี้เลื่อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากเซลล์ลูโลสและลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในวัตถุดิบ ถ้ากระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์แต่อุณหภูมิไม่สูงจะทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้นได้ ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์จะมีรูพรุนมาก เพราะที่อุณหภูมินั้นซิงค์คลอไรด์จะละลายน้ำมันดินซึ่งคาร์บอนกัมมันต์ดูดซับอยู่ออกไป และถ่านที่ได้จัดเป็น Acid carbon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น [7]

ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนโลหะ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136.29 เป็นของแข็งสีขาว ความถ่วงจำเพาะ 2.91 จุดหลอมเหลว 283 องศาเซลเซียส จุดเดือดเท่ากับ 732 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่ซิงค์คลอไรด์ที่ใช้อยู่ในรูปของ สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ใช้ คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน บางครั้งอาจเติมกรดไฮโดรคลอริกหรือกรด ฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส แต่ก็มียานวิจัยที่ใช้อุณหภูมิเพียง 400 องศาเซลเซียส หรืออาจสูงถึง 900 องศาเซลเซียส คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อกำจัดซิงค์คลอไรด์ที่เหลือออก พบว่าการใช้ปริมาณซิงค์คลอไรด์เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่ม ความเป็นรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

ขั้นตอนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์มีดังนี้

1. ผสมวัตถุดิบที่แห้งกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นด้วยปริมาณที่เหมาะสม เช่น ใช้วัตถุดิบแห้ง 1 ส่วนโดยน้ำหนักต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น 0.5-4 ส่วน
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อให้แห้งของผสมแห้ง
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส ในที่อับอากาศ
4. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน และกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
5. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

- การผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น [7]

กระบวนการนี้อาจใช้กรดซัลฟิวริกแทนได้ ตัวอย่างการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ เช่น การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากดินพรุ หรือจีเลียบ นำวัตถุดิบที่ผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกไปอบให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส ในเตาเผาแบบหมุน กระบวนการกระตุ้นเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกคล้ายกับกระบวนการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ ควรนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 2-8 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการออกซิไดส์คาร์บอน กรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก นอกจากนี้ยังอาจใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นร่วมกับไอน้ำ เช่น หลังจากการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปแช่ในกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 2-25 โดยน้ำหนัก เพื่อให้คาร์บอนกัมมันต์มีคุณภาพการดูดซับดีขึ้น

2.3 ชนิดของการบอณกัมมันต์

การแบ่งชนิดของการบอณกัมมันต์นั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่สนใจ ดังนี้

2.3.1 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ [6, 14]

การบอณกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 ประเภท คือ

ก. การบอณกัมมันต์ชนิดผง (Powdered activated carbon: PAC)

ข. การบอณกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon: GAC)

ก. การบอณกัมมันต์ชนิดผง

การบอณกัมมันต์ชนิดผงมักจะผลิตจากวัตถุดิบจำพวก เศษไม้ เศษถ่าน หรือ ขี้เลื่อยผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ วิธีการบดการบอณกัมมันต์มีผลต่อความสามารถในการ ดูดซับ เช่น การบดการบอณกัมมันต์ด้วยเครื่องบดแบบลูกหิน (Ball mill) ได้ผลในลักษณะเม็ดเล็กๆ รูปไข่ ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าการบอณกัมมันต์ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องแบบคราด (Pulverizer) ซึ่งได้ผลเป็นแบบเม็ดยาวรียาว การบอณกัมมันต์ชนิดผงมีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอนหรือน้อยกว่า การบอณกัมมันต์ชนิดผงนิยมใช้ในกระบวนการตกตะกอนหรือการกรองน้ำ นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็น Precoat ของเครื่องกรองแบบแท่งที่เรียกว่า (Candle filter) ที่ใช้ในการผลิต น้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงมากสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ

ข้อดีของการบอณกัมมันต์ชนิดผง

1. การบอณกัมมันต์ชนิดผงมีราคาถูกกว่าการบอณกัมมันต์ชนิดเม็ดประมาณ 2-3 เท่า
2. การเพิ่มหรือลดปริมาณการบอณกัมมันต์สามารถทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของคุณภาพน้ำดิบ
3. การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เพราะ โมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถ สัมผัสกับผิวของการบอณกัมมันต์ได้ง่าย

ข้อเสียของการบอณกัมมันต์ชนิดผง

1. การปรับปรุงสภาพการบอณกัมมันต์ชนิดผงที่เสื่อมสภาพแล้วมักไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้การบอณกัมมันต์ชนิดผงจึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง
2. แม้ว่าการบอณกัมมันต์ชนิดผงสามารถกำจัดมลพิษให้เหลือน้อยได้ แต่ถ้า ต้องการกำจัดให้หมดต้องใช้ปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่า ในการใช้การบอณกัมมันต์ชนิดผง ในการกรองน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์ โดยปกติไม่ควรใช้เกินกว่า 25-50 มิลลิกรัม/ลิตร

ข. การบอณกัมมันต์ชนิดเม็ด

การบอณกัมมันต์ชนิดเม็ดจะผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่านโค้ก กะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดผลไม้ เป็นต้น ลักษณะเมล็ดที่ได้อาจจะได้จากการบดวัสดุขนาดใหญ่ หรือการอัดเศษคาร์บอนกัมมันต์ผ่านแม่แบบออกมาเป็นแท่งแล้วตัดเป็นท่อนทรงกระบอกขนาดเท่า ๆ กัน คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเมล็ดมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเมล็ดทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะ และเบากว่าทราย

คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเมล็ดที่ใช้และเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำไปปรับปรุงสภาพและนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ซึ่งเป็นข้อดีของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสภาพทุกครั้งต้องมีคาร์บอนสูญเสียไป ทั้งนี้เพราะการปรับปรุงสภาพต้องทำที่อุณหภูมิสูงมากทำให้คาร์บอนบางส่วนปนเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

2.3.2 แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ

คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสีและกลิ่น ได้ในสภาพของแข็งและก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งคาร์บอนกัมมันต์ตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิด คือ

ก. Gas adsorbent activated carbon คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้โดยส่วนใหญ่มักใช้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์

ข. Liquid adsorbent activated carbon คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการฟอกสี หรือการทำให้ของเหลวบริสุทธิ์

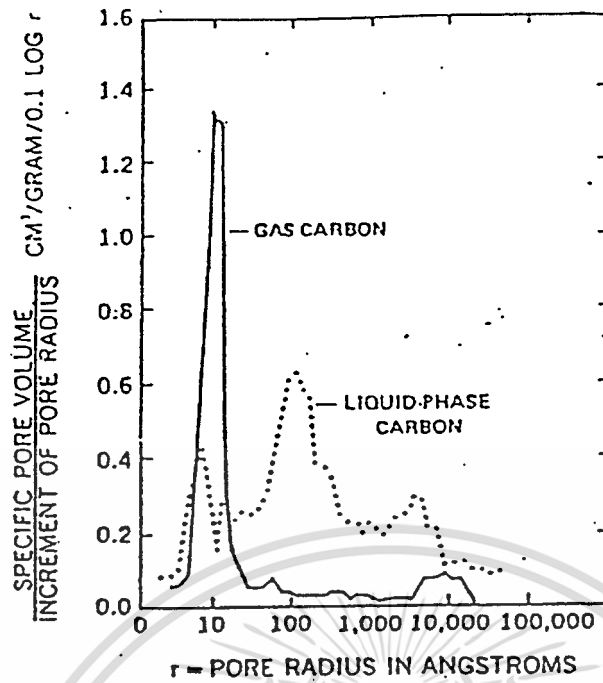
ข้อแตกต่างของคาร์บอนกัมมันต์สองประเภทนี้ คือ การกระจายของปริมาตรจำเพาะและขนาดรูพรุน (Pore size distribution) การแบ่งขนาดของรูพรุนแสดงดังตารางที่ 2.4 จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับก๊าซจะมีขนาดรัศมีของรูพรุนส่วนใหญ่เล็กกว่า 20 อังสตรอมซึ่งเป็นรูพรุนแบบไมโครพอร์ ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับของเหลวมีรัศมีรูพรุนอยู่ในช่วง 20-500 อังสตรอม เป็นรูพรุนแบบเมโซพอร์ รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เช่น กะลามะพร้าว ถ่านหินประเภทแอนทราไซต์ บิทูมินัส พีท ลิกไนต์ เป็นต้น

คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวจะมีขนาดของรูพรุนโดยส่วนใหญ่เป็นแบบไมโครพอร์

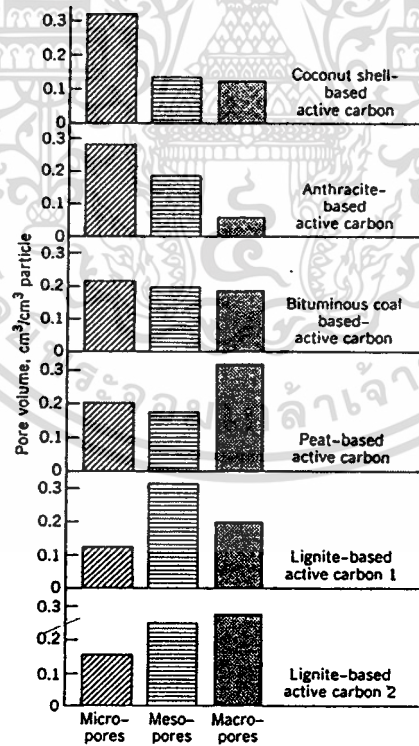
ตารางที่ 2.4 การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนตาม International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [15]

ประเภทของรูพรุน	รัศมีรูพรุน (นาโนเมตร)	รัศมีรูพรุน (อังสตรอม)
Micropores	< 2	< 20
Mesopores	2-50	20-500
Macropores	> 50	> 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การกระจายของปริมาณจำเพาะและขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [16]



รูปที่ 2.2 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น [18]

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้นได้ดังนี้

ก. คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon)

คือคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำ ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดเล็ก นิยมใช้ดูดซับก๊าซและไอระเหย

ข. คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้น (Chemical activated carbon)

คือคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เป็นสารกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวิธีนี้ส่วนใหญ่จะมีรูพรุนขนาดใหญ่

2.3.4 แบ่งตามขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [15]

ก. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบไมโครพอร์ (Micropores)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือไอระเหย

ข. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบเมโซพอร์ (Mesopores)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับ ของเหลวหรือสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนแบบแมโครพอร์ (Macropores)

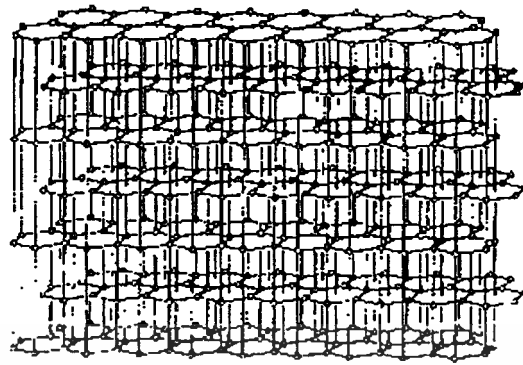
เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ใช้ในการดูดซับ สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสีที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ารูพรุนแบบเมโซพอร์

2.4 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ [7-8]

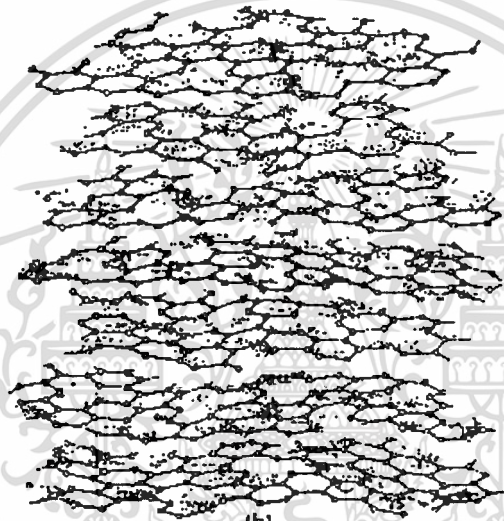
คาร์บอนกัมมันต์มีลักษณะความเป็นผลึก โครงสร้างของผลึกของคาร์บอนกัมมันต์จะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนโดยยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยมด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟต์ในรูปที่ 2.3 (a) และ รูปที่ 2.3 (b) โดยทั่วไปขนาดและรูปร่างของโครงสร้างของผลึกเหล่านี้จะเปลี่ยนตามอุณหภูมิที่เผา ถ้าอุณหภูมิที่เผาสูงผลึกคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

ผลึกจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหลาย ๆ แบบ ในระหว่างที่มีการให้ความร้อนสารอินทรีย์ จะรวมกันก่อให้เกิดโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้น โดยที่ยังมีส่วนของไฮโดรคาร์บอนและวงแหวนที่เหลืออยู่ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับธาตุอื่นที่เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของผลึกแกรไฟต์ [8]

(a) Three-dimensional graphite

(b) Turbostratic structure

2.5 ประโยชน์ของการ์บอนกัมมันต์ [7, 19]

ประมาณร้อยละ 60 ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับสารที่เป็นของเหลว ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดใช้ในการดูดซับก๊าซ ตัวอย่างการนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ ได้แก่

2.5.1 การทำน้ำให้บริสุทธิ์

ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับคลอรีนและสารอื่น ๆ ที่ติดมากับน้ำประปาหรือน้ำบาดาล ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดทำเป็นชั้นให้น้ำไหลผ่าน
จากหลักการข้างต้นจึงมีการดัดแปลงทำเครื่องกรองน้ำเพื่อให้น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็น
ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.5.2 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์

ก. ใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากวิสกี โดยให้วิสกี
ไหลผ่านชั้นของคาร์บอนกัมมันต์ หรือใส่คาร์บอนกัมมันต์กับวิสกีโดยตรงแล้วกรองออก
ข. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ทำให้ไวน์มีกรดดีขึ้น
ค. ใช้คาร์บอนกัมมันต์เติมลงในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น
โดยคาร์บอนกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับตะกอนโปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้คาร์บอน
กัมมันต์ในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

2.5.3 อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน เช่น

ก. ใช้กำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช
ข. ใช้ดูดซับตัวยับยั้ง (Inhibitor)
ค. ใช้ร่วมกับดินช่วยฟอกขาว (Bleaching earth) เพื่อให้ได้สีของน้ำมันตามต้องการ
และมีรสดีขึ้น

2.5.4 อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

ก. วัตถุประสงค์หลัก คือ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อฟอกสีน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล
ข. ใช้ในการดูดซับพวกโปรตีน เหล็ก หินปูน และฟอสเฟต ออกจากสารประกอบ
ของเดกซ์ทริน (Dextrin) มอลโทส (Maltose) และเดกซ์โทรส (Dextrose) ทำให้สีของซีรัป (Syrup)
อยู่คงทนไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำเมื่อเวลาผ่านไป

2.5.5 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ด้านอาหาร

ก. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน
ข. ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดซับเพกติน (Pectin) ออกจากน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้ใส และ
ยังกำจัดกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากรสผลไม้ได้ แต่ต้องใช้คาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณ
ที่พอเหมาะ มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

2.5.6 การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายรูป อุตสาหกรรมการผลิตหนังเทียม มีการนำแอลกอฮอล์ อีเทอร์ และอะซีโตน กลับมาใช้ใหม่ โดยการใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้ว

2.5.7 การประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ

- ก. ใช้เป็นเป็นตัวกรองในหน้ากากกันก๊าซพิษ และไอพิษต่าง ๆ
- ข. ใช้ใส่ในก้นกรองของบู่หรือบางชนิด
- ค. ใช้ดูดควันหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในห้องปรับอากาศหรือตู้เย็น
- ง. ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากก๊าซธรรมชาติ หรือกำจัดสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hu Z. and Srinivasan M.P. [20] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 87.2% โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 และอุณหภูมิการกระตุ้นที่ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:0.75 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลผลิต 23.6 ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 2,451 ตารางเมตร/กรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 19.8 อังสตรอม ปริมาตรรูพรุนรวม 1.210 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และเมื่อนำข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลมาวิเคราะห์ด้วยสมการของ Langmuir พบว่ามีปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ (q_m) เท่ากับ 396 มิลลิกรัม/กรัม และค่าคงที่การดูดซับ (K) เท่ากับ 0.0335

Tharapong V. and Thanapon L. [21] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วจะถูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้บรรยากาศของอากาศที่อัตราการไหล 0.52 มิลลิลิตร/นาที ได้ค่าร้อยละผลผลิต 41.40 ร้อยละของคาร์บอนคงตัว 62.57 ร้อยละของเถ้า 15.30 ร้อยละของสารระเหย 22.13 ถ่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60-1.18 มิลลิเมตร จากนั้นกระตุ้นถ่านที่ได้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิการกระตุ้น 900 องศาเซลเซียส เวลาการกระตุ้น 45 นาที อัตราการไหลของอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.27 มิลลิลิตร/นาที

และ 2.0 มิลลิลิตร/นาที่ และไอน้ำร้อนยังขาดปริมาณมากเกินไป ได้ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ 27.99 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.3590 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละของเถ้า 21.05 ค่าการดูดซับไอโอดีน 598.79 มิลลิกรัม/กรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 247.08 มิลลิกรัม/กรัม ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ Brunauer Emmett Teller (BET) 658.75 ตารางเมตร/กรัม พื้นที่ผิวจำเพาะแบบไมโครพอร์ 424.27 ตารางเมตร/กรัม พื้นที่ผิวจำเพาะแบบเมโซพอร์ 234.48 ตารางเมตร/กรัม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 22.24 อังสตรอม

Teng H. and Hsieh C.T. [22] ศึกษาการดูดซับฟีนอลในวัฏภาคของเหลวด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากถ่านปิโตรมิสต์โดยการออกซิไดส์และ ไม่ออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านปิโตรมิสต์ที่ใช้ในช่วง 0.42-1.0 มิลลิเมตร ทดสอบการดูดซับฟีนอลที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ 0.2 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ทั้งจากทั้งสองวิธีมีรูพรุนแบบไมโครพอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 20-22 อังสตรอม คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากการออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 950 ตารางเมตร/กรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.50 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และมีปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ (q) ประมาณ 200 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยไม่ออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 634 ตารางเมตร/กรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.34 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และมีปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ประมาณ 138 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อใช้สมการของ Langmuir วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอล พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากการออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ค่าปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ (q_m) เท่ากับ 138 มิลลิกรัม/กรัม ค่าคงที่การดูดซับ (K) เท่ากับ 0.115 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.999 เมื่อใช้สมการของ Freundlich วิเคราะห์ข้อมูลจะได้ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 45.9 ค่าคงที่ n เท่ากับ 4.566 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.952 สำหรับคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยไม่ออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อใช้สมการของ Langmuir วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอล พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยไม่ออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ค่าปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์เท่ากับ 213 มิลลิกรัม/กรัม ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 0.0603 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.997 เมื่อใช้สมการของ Freundlich วิเคราะห์ข้อมูลจะได้ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 67.2 ค่าคงที่ n เท่ากับ 4.673 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.996 ตามลำดับ คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากการออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีข้อมูลการดูดซับที่เหมาะสมกับสมการของ Langmuir เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่มากกว่าค่าที่ได้จากสมการของ Freundlich ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยไม่ออกซิไดส์ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับที่เหมาะสมทั้งสมการของ Langmuir และ Freundlich เพราะค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ได้จากทั้งสองสมการใกล้เคียงกัน

Teng H. and Yeh T.S. [23] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากถ่านบิทูมินัส 2 ชนิด คือ Black water และ Mt. Thorley โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ความเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านบิทูมินัสต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ เป็น 1:2 ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านบิทูมินัส 210-300 ไมโครเมตร และ 420-1,000 ไมโครเมตร อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 0, 1 และ 2 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากถ่านบิทูมินัสทั้งสองชนิด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านบิทูมินัส 210-300 ไมโครเมตร อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 500 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 1 ชั่วโมง คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากถ่านบิทูมินัส Black water มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยโดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich 1,300 ตารางเมตร/กรัม 0.83 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และ 25 อังสตรอม ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากถ่านบิทูมินัส Mt. Thorley ได้ค่า 1,080 ตารางเมตร/กรัม 0.65 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และ 24 อังสตรอม ตามลำดับ งานวิจัยนี้ยังวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง TGA พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากถ่านบิทูมินัส Black water และ Mt. Thorley ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์จะให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์มีส่วนสำคัญในการกำจัดน้ำมันดินออกจากถ่านบิทูมินัสในกระบวนการคาร์บอนในเซชัน ซึ่งทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีความเป็นรูพรุนมากขึ้น และมีคุณสมบัติในการดูดซับดีขึ้น

Ahmadpour A. and Do D.D. [24] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกถั่ว Macadamia โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 5-500% โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกถั่ว Macadamia 212-300 ไมโครเมตร และ 500-600 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกถั่ว Macadamia ต่อสารกระตุ้น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 60, 120 และ 180 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกถั่ว Macadamia 212-300 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกถั่ว Macadamia ต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 120 นาที เมื่อหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich ได้ค่า 1,169 ตารางเมตร/กรัม และ 0.529 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการ

สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือกกลุ่ณ Macadamia 212-300 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกกลุ่ณ Macadamia ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 500 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 60 นาที ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich มีค่า 1,718 ตารางเมตร/กรัม และ 0.723 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ ดังนั้นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ให้ผลดีกว่าการใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพราะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์ที่สูงกว่าโดยใช้อุณหภูมิการกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นที่ต่ำกว่า

Warhurst A.M. et al. [25] งานวิจัยนี้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกของเมล็ดของต้น Moringa Oleifera โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยไอน้ำ ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 30, 60 และ 120 นาที นำคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET ปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ t-method และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Horvath-Kawazoe จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ คือ อุณหภูมิการกระตุ้นที่ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้นที่ 30 นาที ล้างคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ และหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะได้ 932 ตารางเมตร/กรัม ปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์ 0.33 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนแบบไมโครพอร์ประมาณ 0.61 นาโนเมตร

Avom J. et al. [26] ศึกษาการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 5.4×10^{-5} โมลาร์ ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากขังของต้นปาล์มโดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิการกระตุ้น 600-700 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 0-5.5 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ คือ อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 5.5 ชั่วโมง เมื่อนำคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลู การดูดซับไอโอดีน และหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET จะมีค่าเท่ากับ 131 มิลลิกรัม/กรัม 740 มิลลิกรัม/กรัม และ 692 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ และเมื่อใช้สมการของ Freundlich วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับ พบว่าได้ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 0.68×10^3 และค่าคงที่ n เท่ากับ 0.05 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.99 ตามลำดับ คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากขังของต้นปาล์มมีข้อมูลการดูดซับที่เหมาะสมกับสมการของ Freundlich เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสูง

Ahmadpour A. and Do D.D. [27] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากถ่านหินบิทูมินัสโดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายซิงค์คลอไรด์ และการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านหินบิทูมินัส 212-250 ไมโครเมตร วิธีการกระตุ้น ชนิดของสารกระตุ้น (สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายซิงค์คลอไรด์ ความเข้มข้น 25-200% โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านหินบิทูมินัสต่อสารกระตุ้น 1:1 และ 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านหินบิทูมินัส 212-250 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านหินบิทูมินัสต่อสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 2 ชั่วโมง เมื่อหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich ได้ค่าประมาณ 850 ตารางเมตร/กรัม และ 0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ และเมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ สถานะที่เหมาะสม คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านหินบิทูมินัส 212-250 ไมโครเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านหินบิทูมินัสต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:1 อุณหภูมิการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 1 ชั่วโมง เมื่อหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich ได้ค่าประมาณ 1,080 ตารางเมตร/กรัม และ 0.45 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสถานะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิการกระตุ้น 900 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 8 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อหาปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการของ BET และปริมาตรรูพรุนแบบไมโครพอร์โดยใช้สมการของ Dubinin Radushkevich ได้ค่าประมาณ 751 ตารางเมตร/กรัม และ 0.310 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ตามลำดับ ดังนั้นการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ให้ผลดีกว่าเมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และด้วยวิธีทางกายภาพตามลำดับ

Singh B. et al. [28] ศึกษาปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 160-1,600 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้าซึ่งสังเคราะห์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ ACG 40, 60 CTC, 80 CTC และ 90 CTC พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ 90 CTC ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,520 ตารางเมตร/กรัม มีปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลสูงที่สุด และเมื่อใช้สมการของ Langmuir วิเคราะห์ข้อมูล พบว่าได้ค่าปริมาณการดูดซับฟีนอลต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์เท่ากับ 571.42 มิลลิกรัม/กรัม ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 3.90×10^{-3} เมื่อใช้สมการของ Freundlich วิเคราะห์ข้อมูลจะได้ค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 1.74 และ ค่าคงที่ n เท่ากับ 1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Usmani T.H. et al. [29] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ของ ปากีสถานโดยกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 3.7 โมล/ลิตร เป็นสารกระตุ้น ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านหินลิกไนต์ต่อสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 1:0.5, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 650, 750 และ 850 องศาเซลเซียส และ เวลาการกระตุ้น 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านหินลิกไนต์ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 650 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ เท่ากับ 72.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 990 มิลลิกรัม/กรัม และ 205 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ พื้นที่ผิวจำเพาะแบบไมโครพอร์ที่วิเคราะห์ด้วยสมการของ BET มีค่า 942 ตารางเมตร/กรัม ปริมาตรรูพรุนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยที่วิเคราะห์ด้วยสมการ ของ Dubinin Radushkevich คือ 0.46 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และ 0.98 นาโนเมตร ตามลำดับ

ธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ [5] ศึกษาสภาวะ การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่าง สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ ค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าร้อยละของผลผลิตจากงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 2.5 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2 และ ก.3

ตารางที่ 2.5 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ [5]

สารกระตุ้น	อัตราส่วน กะลามะพร้าว ต่อสาร กระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ การ กระตุ้น (°C)	เวลา การ กระตุ้น (นาที)	ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (มก./ก.)	ร้อยละ ผลผลิต (%)
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1:2	800	60	922	44.18
NaCl อิ่มตัว	1:3	800	90	705	40.76
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	1:3	600	90	540	55.21
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	1:2	600	60	436	57.45

ตัวอย่างการพิจารณาภาวะที่เหมาะสม เช่น เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น เมื่อพิจารณาค่าการดูดซับไอโอดีนจากรูปที่ ก.3 แม้ว่าที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีน 922 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งต่ำกว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:4 (945 มิลลิกรัม/กรัม) ที่อุณหภูมิการกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของผลผลิตจากรูปที่ ก.15 พบว่ามีค่าสูงกว่า นอกจากนี้การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นที่น้อยกว่ายังเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

วรี จำลองราษฎร์ [30] ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และฟีนอลด้วยระบบเอสบีอาร์-คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด (CGC-11) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77-2.36 มิลลิเมตร และระบบควบคุม (ระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการเติมคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด) คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,050-1,150 ตารางเมตร/กรัม ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ ระยะเวลาที่เก็บน้ำ ความเข้มข้นของฟีนอลที่ใช้เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่เหมาะสมในระบบเอสบีอาร์-คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด คือ 1,000 มิลลิกรัม สามารถกำจัด Chemical oxygen demand (COD) เหลือ 16 มิลลิกรัม/ลิตร และฟีนอลเหลือ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเป็น 3, 5 และ 10 วัน ปริมาณ COD คือ 16, 14.5 และ 8 มิลลิกรัม/ลิตร และเหลือฟีนอล 0.08, 0.023 และ 0.014 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนในระบบควบคุมสามารถกำจัด COD เหลือ 122 มิลลิกรัม/ลิตร และฟีนอลเหลือ 3.1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 1 วัน เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเป็น 3, 5 และ 10 วัน ปริมาณ COD คือ 48, 32 และ 16 มิลลิกรัม/ลิตร และเหลือฟีนอล 0.35, 0.18 และ 0.018 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

มานัด แก้วถาวร [31] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว สารละลายซิงค์คลอไรด์ 55% โดยน้ำหนัก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดของกะลามะพร้าว อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิการกระตุ้น และเวลาการกระตุ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์สำหรับสารกระตุ้นทั้งสามชนิด คือ ขนาดของกะลามะพร้าว 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิการกระตุ้น 900 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 120 นาที เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารกระตุ้น จะได้ค่าการดูดซับไอโอดีน 694 มิลลิกรัม/กรัม และร้อยละผลผลิต 24.57 เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 55% โดยน้ำหนักและก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารกระตุ้นจะได้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีน 686

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม/กรัม และร้อยละผลผลิต 33.60 และเมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารกระตุ้น เพียงอย่างเดียวจะได้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีน 741 มิลลิกรัม/กรัม และร้อยละผลผลิต 22.37

วิชัย ธรรมสาธิต และ เกษม ฉัตรมณีฤกษ์ [32] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพดโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัวเป็นสารกระตุ้น สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ไผ่ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไม้ไผ่ต่อสารกระตุ้น 1:2.8 อุณหภูมิการกระตุ้น 920 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 50 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีน 607.9 มิลลิกรัม/กรัม สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากซังข้าวโพด คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของซังข้าวโพดต่อสารกระตุ้น 1:4.5 อุณหภูมิการกระตุ้น 850 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 70 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีน 736.98 มิลลิกรัม/กรัม

คำรณ ขุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล [33] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและผงขี้เลื่อยโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัวเป็นสารกระตุ้น สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:3.15 อุณหภูมิการกระตุ้น 794 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีน 685.5 มิลลิกรัม/กรัม สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากผงขี้เลื่อย คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:5.52 อุณหภูมิการกระตุ้น 751 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ คือ 581.1 มิลลิกรัม/กรัม

คณิต กฤษณังกูร และ จงจิตร หิรัญตาก [34] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากแกลบโดยนำแกลบมาเผาที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มอล พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 30 นาที จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีน 540 มิลลิกรัม/กรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 110 มิลลิกรัม/กรัม

บทที่ 3

ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบของตัวถูกละลายออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซโดยให้สารละลายหรือก๊าซสัมผัสกับตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายหรือก๊าซมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปฏิกิริยาการดูดซับขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับ และตัวถูกละลาย จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิว และขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ ดังนั้นความสามารถในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซขึ้นกับการเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้น

3.1 กลไกการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ [8]

เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสารจากของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็ง การดูดซับจึงเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกละลายเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของคาร์บอนกัมมันต์

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกละลายจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนของตัวถูกละลายที่พื้นที่ผิวภายในของคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งอาจดูดซับด้วยแรงทางกายภาพหรือเคมีหรือทั้งสองอย่างร่วมกัน

3.2 ปฏิกิริยาการดูดซับ [11]

ปฏิกิริยาการดูดซับแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

3.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพเป็นการยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกละลายด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งอาจจะเป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลประเภทมีขั้วทั้งคู่หรือระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่ หรือระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว การจับตัวของโมเลกุลชนิดต่าง ๆ เช่น

ก. โมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลมีขั้ว เกิดจาก Orientation effect คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วแต่มีประจุตรงกันข้าม

ข. โมเลกุลไม่มีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว เกิดจาก Dispersion effect คือ โมเลกุลที่ไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นโมเลกุลไดโพลได้ โมเลกุลไดโพล คือ โมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้วในโมเลกุลเดียวกัน ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากจะทำให้เป็นโมเลกุลไดโพลได้ และเมื่อมีโมเลกุลไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน โดยแรงดึงดูดระหว่างกันนั้นจะเป็นแรงที่อ่อน เช่น สารอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วกับคาร์บอนกัมมันต์

ค. โมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว เกิดจาก Induce effect ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้กับโมเลกุลไม่มีขั้วแล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้าม หลังจากนั้นจึงเกิดการดึงดูดกัน

3.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เกิดพันธะเคมี (Chemical bond) เนื่องจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ หรือให้อิเล็กตรอนไปเลย หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพ
2. พันธะเคมีไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มาก มีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี (Chemical compound)

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพส่วนใหญ่จะเกิดการสัมผัสกันเฉพาะตัว (Individuality of interacting species) จากคุณสมบัตินี้ทำให้เกิดการผันกลับ (Reversible interaction) ในการดูดซับทางเคมีจะเกิดพันธะทางเคมีจึงไม่สามารถผันกลับได้ การผันกลับในการดูดซับทางกายภาพนั้นจะทำให้ตัวถูกดูดซับสามารถหลุดออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับที่เรียกว่า การคายซับ (Desorption) ถึงแม้ว่าการคายซับจะเกิดอย่างช้า ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ แต่ก็ยังเกิดได้เฉพาะที่อุณหภูมิค่าหนึ่งเท่านั้น

2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่ว ๆ ไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับ คือ จะไม่มีบริเวณจำเพาะ (Specific site) ในการเกิดกระบวนการดูดซับ ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเกิดการดูดซับระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับบริเวณจำเพาะเท่านั้น โดยทั่วไปจะเกิดการดูดซับชั้นเดียว

3. แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพ ส่วนใหญ่จะเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์และแรงไฟฟ้าสถิต ความร้อนที่ได้จึงน้อยกว่าการดูดซับทางเคมีซึ่งเกิดจากพันธะเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวดูดซับ [7-8, 11]

ในสารละลายทั่วไปจะมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับองค์ประกอบใดได้มากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสารละลายที่ไม่มีขั้วได้ดีเนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว จึงสามารถดูดซับสารละลายที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกันได้ การทำให้ตัวดูดซับมีคุณสมบัติพิเศษทำได้โดยทำให้ผิวสัมผัสของตัวดูดซับมีออกไซด์ซึ่งสามารถดูดซับองค์ประกอบอื่นได้มากขึ้น ในบางครั้งสารละลายที่ป้อนเข้าระบบดูดซับมีองค์ประกอบอื่นปนมาด้วยและเกิดการขัดเกาะกับตัวดูดซับ ทำให้ความสามารถของตัวดูดซับลดลงจึงจำเป็นต้องนำตัวดูดซับนั้นมาบำบัดด้วยสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่ปนมานั้น เพื่อให้สภาพผิวหน้าของตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม คุณสมบัติทางกายภาพทั่วไปของตัวดูดซับได้แก่ ความพรุน ความหนาแน่น และพื้นที่ผิวสัมผัส ตัวดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

3.3.1 ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว (Non-polar adsorbent)

3.3.2 ตัวดูดซับแบบมีขั้ว (Polar adsorbent)

3.3.3 ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี

3.3.1 ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว

ตัวดูดซับที่สำคัญของกลุ่มนี้ คือ คาร์บอนกัมมันต์ซึ่งเป็นคาร์บอนรูปหนึ่งจากการศึกษา X-ray diffraction แสดงให้เห็นว่า คาร์บอนกัมมันต์มีคุณลักษณะเป็นผลึก (Crystallites) และจากการศึกษาของ Berl [13] พบว่าคาร์บอนกัมมันต์มีการจัดเรียงตัวกันเป็นแผ่นบาง ๆ และอะตอมของคาร์บอนขัดเกาะกันในลักษณะแลตทิซหกเหลี่ยม (Hexagonal lattice) และอะตอมอื่น ๆ ที่อยู่ข้าง ๆ จะขัดเกาะกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ผลึกจะเกิดจากการที่แผ่นบาง ๆ สองแผ่นหรือมากกว่ามาจับรวมกัน ขนาดของผลึกขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงการทำคาร์บอนไนเซชันและส่วนประกอบต่าง ๆ รวมทั้งโครงสร้างของวัตถุดิบที่นำมาผลิต เช่น คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งมีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบและมีโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นระเบียบ เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน จะทำให้ผลึกมีขนาดเล็กลง

คาร์บอนกัมมันต์ประกอบด้วยอะตอมที่เป็นกลางชนิดเดียวกัน ทำให้ผิวมีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันกระจายอย่างสม่ำเสมอในระดับของโมเลกุล ผิวดังกล่าวจะจับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วมากกว่าโมเลกุลที่มีขั้ว ดังนั้นคาร์บอนกัมมันต์จึงเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากในการดูดซับพวกสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน อะซีโตน และแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใกล้จุดเดือดของสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วนั้น ถึงแม้ว่าจะมีไอน้ำอยู่ในกระแสของก๊าซ โมเลกุลของสารอินทรีย์ก็จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลของน้ำ เพราะคาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับแบบไม่มีขั้วแต่น้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ดังนั้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์จึงจับกับสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดีกว่าโมเลกุลของน้ำ ด้วยเหตุนี้โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดใหญ่จึงสามารถที่จะถูกดูดซับได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง โมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอนินทรีย์ สำหรับโมเลกุลขนาดเล็กของสารอนินทรีย์ และโมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับได้น้อยที่สุด

3.3.2 ตัวดูดซับแบบมีขั้ว

ตัวดูดซับแบบมีขั้ว ได้แก่ พวกออกไซด์ เช่น ออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของโลหะ วัสดุจำพวกซิลิกา ได้แก่ ซิลิกาเจล ฟูลเลอร์เอิร์ธ (Fuller's earth) ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ธ (Diatomaceous earth) สารสังเคราะห์ซีโอไลต์ ตัวดูดซับประเภทนี้สามารถดูดซับได้ทั้งโมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้วแต่ชอบที่จะดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ออกไซด์ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งอยู่ในรูปของแอคทีเวเตดอะลูมินา (Activated alumina) จะมีแรงดึงดูดพวกโมเลกุลอินทรีย์สังเคราะห์ สำหรับสารพวกไฮเดรตหรือแคลเซียมอะลูมิโนซิลิกา หรือที่เรียกว่าตะแกรงโมเลกุล (Molecular sieves) สามารถใช้ดูดซับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วได้ ข้อได้เปรียบของสารพวกตะแกรงโมเลกุล คือ สามารถนำไปใช้ในกระบวนการดูดน้ำที่อุณหภูมิสูงได้ ในขณะที่ซิลิกาเจลและอะลูมินาจะสูญเสียประสิทธิภาพของการดูดซับที่อุณหภูมิสูง

3.3.3 ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี

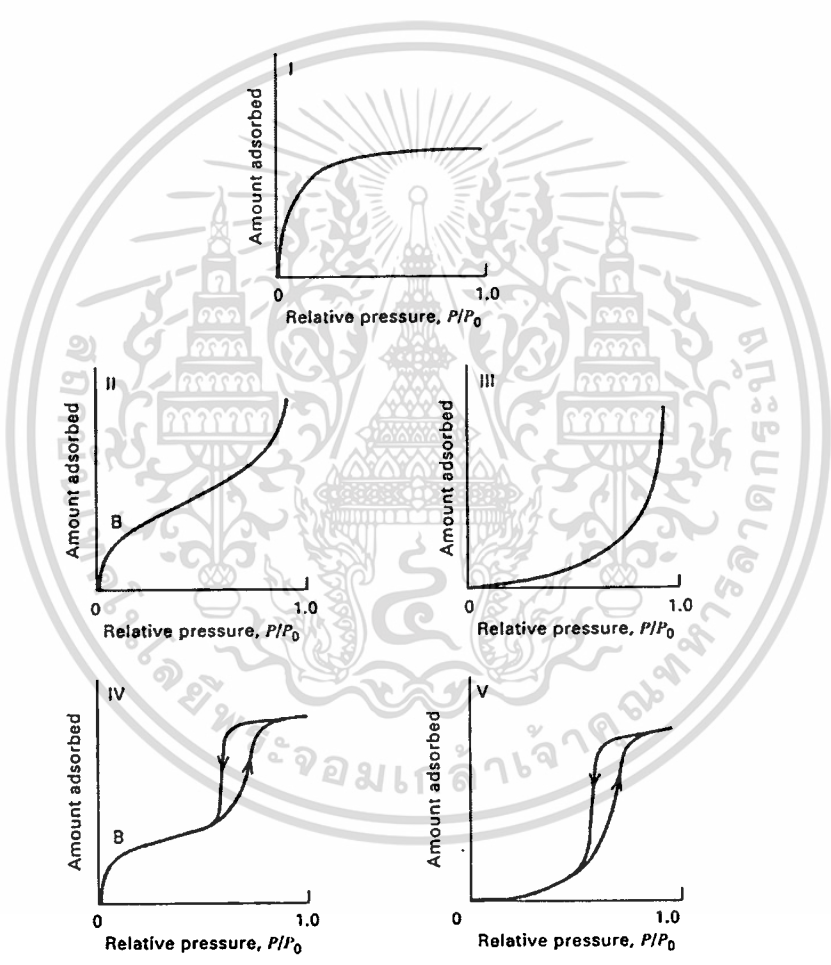
การที่ผิวของตัวดูดซับสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซได้ และสามารถเปลี่ยนโมเลกุลของก๊าซก่อนที่จะถูกปล่อยออกไปนั้นทำให้ขอบเขตของปฏิกิริยาที่ผิวและการเร่งปฏิกิริยานั้นกว้างมากขึ้น ตัวอย่างการดูดซับโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ การดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้โดยตัวดูดซับในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดไหล (Fluidized bed reactor) โดยทั่วไปกระบวนการเหล่านี้จะใช้วัสดุที่มีราคาถูกเช่น โดโลไมต์ (Dolomite) เป็นตัวดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกำจัดทิ้งหลังเสร็จสิ้นการดูดซับ หรืออาจใช้ตัวดูดซับที่แพงขึ้นโดยจะแยกซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไปแล้วนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ตัวดูดซับที่สำคัญที่ได้มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในระดับโรงงานทดลอง ได้แก่ โดโลไมต์ อัลคาไลอะลูมินา คาร์บอนกัมมันต์ และซิลิกาเจล

3.4 สมดุลของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ (Equilibrium adsorption and adsorption isotherm) [8, 35]

การดูดซับ คือ สภาพที่ตัวถูกละลาย (ตัวถูกดูดซับ) เคลื่อนที่ออกจากสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของของแข็ง (ตัวดูดซับ) และเพิ่มความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งจนคงที่ ในเวลานั้นจะเป็นสภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง โดยกำหนดให้การดูดซับตัวถูกละลายเป็นร้อยละของน้ำหนัก หรือ น้ำหนักหรือปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับ 1 หน่วย น้ำหนักที่ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงได้ด้วยกราฟระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาณหรือปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับเทียบกับความดันย่อย หรือความเข้มข้นของตัวถูกละลายนั้นในวัฏภาคของก๊าซที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งเรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) โดยทั่วไปจำนวนของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับ มี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบไอโซเทอมการดูดซับแบบต่าง ๆ [35]

จากรูปที่ 3.1 ไอโซเทอมแบบที่ 1 พบมากที่สุดเป็นการดูดซับตัวถูกละลายแบบชั้นเดียวบนผิวของตัวดูดซับ (Monolayer adsorption) พบทั้งการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของสารที่เป็นผงและมีความเป็นรูพรุน (Microporous powder) ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative pressure) ต่ำ ๆ และเข้าใกล้ 1 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ความดันสัมพัทธ์สูง ๆ จะมีการดูดซับเกิดขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้าไอโซเทอมที่ได้มีลักษณะการดูดซับแบบนี้แสดงว่าตัวดูดซับมีรูพรุนแบบไมโครพอร์และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับ

ไอโซเทอมแบบที่ 2 พบมากในปรากฏการณ์การดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะเกิดบนสารที่เป็นผงที่ไม่ค่อยมีความเป็นรูพรุน (Nonporous powder) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 1.5 นาโนเมตร ซึ่งค่าความร้อนของการดูดซับ (Heat of adsorption) ของชั้นแรกจะต่ำกว่าชั้นที่เกิดการดูดซับสมบูรณ์ และถ้าเพิ่มความดันสัมพัทธ์จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption)

ไอโซเทอมแบบที่ 3 เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น ลักษณะของไอโซเทอมจะมีการดูดซับที่ต่ำ ยกเว้นที่ความดันสูง ซึ่งค่าความร้อนของการดูดซับของชั้นแรกจะต่ำกว่าชั้นที่เกิดการดูดซับสมบูรณ์ แต่ไอโซเทอมแบบที่ 3 นี้จะไม่ค่อยเกิดขึ้น ตัวอย่างของการดูดซับที่มีลักษณะไอโซเทอมแบบที่ 3 เช่น การดูดซับไอโอดีนบนซิลิกาเจล

ไอโซเทอมแบบที่ 4 และแบบที่ 5 เป็นการดูดซับแบบหลายชั้นที่เกิดบนตัวดูดซับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 15-1,000 อังสตรอม ไอโซเทอมแบบที่ 4 และแบบที่ 5 มีการดูดซับคล้ายไอโซเทอมแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ตามลำดับ แต่ไอโซเทอมแบบที่ 4 และแบบที่ 5 จะเกิดปรากฏการณ์ Hysteresis คือ เกิดการดูดซับและการคายซับดังในรูปที่ 3.1 กล่าว คือ เส้นกราฟที่ได้จากการดูดซับและการคายซับจะไม่ซ้อนทับเป็นเส้นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการที่ก๊าซจะระเหยออกจากรูพรุนจะเกิดยากกว่าการที่ก๊าซเกิดการควบแน่นในรูพรุน และโมเลกุลของก๊าซที่ระเหยออกมาจากรูพรุนที่คดเคี้ยวมากของตัวดูดซับมีโอกาที่จะควบแน่นอีกครั้งในระหว่างการเคลื่อนที่มายังปากรูพรุนของตัวดูดซับ

3.5 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับ [8]

สมการที่นิยมใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ ได้แก่

3.5.1 Langmuir equation ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับ
2. ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งสามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียง 1 โมเลกุลเท่านั้น
3. การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดียว
4. พลังงานการดูดซับที่ทุก ๆ ตำแหน่งบนตัวดูดซับจะมีค่าเท่ากัน

$$q = (q_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $C_e/q = (1/bq_m) + (C_e/q_m)$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.2) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1/q = (1/q_m) + (1/bq_m) (1/C_e) \quad (3.3)$$

$$b = b_0 e^{-\Delta \bar{H}/RT} \quad (3.4)$$

โดย q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ ที่ความเข้มข้นสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (Monolayer capacity) (มิลลิกรัม/กรัม)

b, b_0 = ค่าคงที่

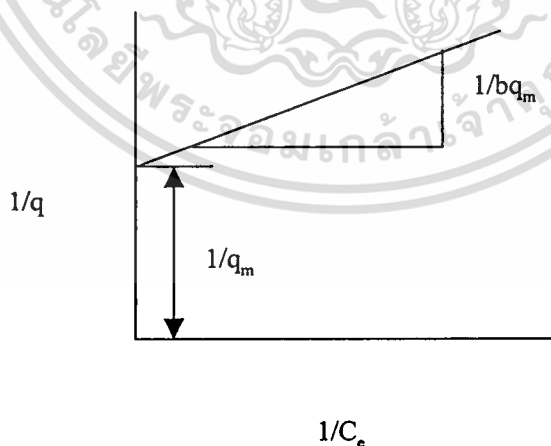
C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

$\Delta \bar{H}$ = ค่าความร้อนของการดูดซับ (กิโลแคลอรี/โมล)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลอรี/เคลวิน โมล)

T = อุณหภูมิการดูดซับ (เคลวิน)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C_e$ ดังรูปที่ 3.2 จะได้ความชัน คือ $1/bq_m$ และจุดตัดแกน y คือ $1/q_m$ ค่าคงที่ b จะแปรผันตามอุณหภูมิในการดูดซับดังสมการที่ 3.4 ซึ่งเป็นสมการของ Van't Hoff เช่น ค่าคงที่ b จะลดลงเมื่ออุณหภูมิการดูดซับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.2 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir

3.5.2 Freundlich equation มีสมมติฐานดังนี้

- 1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแต่ละโมเลกุลที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับ จะไม่มีผลกระทบต่อกัน
- 2. การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเกิดแบบหลายชั้น

$$q = KC_e^{1/n}$$
 (3.5)

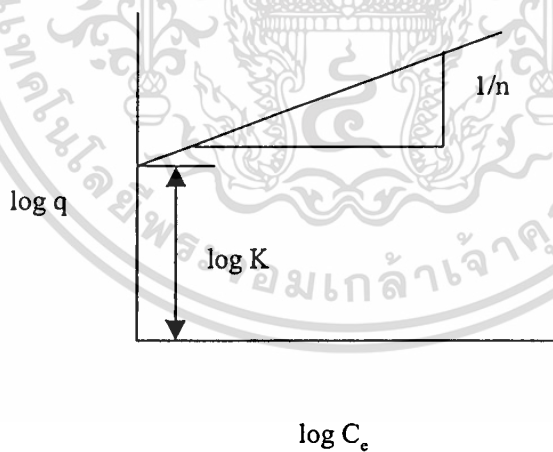
หรือ

$$\log q = \log K + [(1/n) \log C_e]$$
 (3.6)

เมื่อ

$$K, n = \text{ค่าคงที่}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ ดังรูปที่ 3.3 จะได้ความชัน คือ $1/n$ และจุดตัดแกน y คือ $\log K$ ค่าคงที่การดูดซับ K และค่าคงที่ n จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการดูดซับ เช่น ค่าคงที่การดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ค่าคงที่ n จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการดูดซับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่บนคาร์บอนกัมมันต์จะมีค่า $1/n < 1$ ถ้าค่า $1/n = 1$ แสดงว่ามีปริมาณการดูดซับสูงที่ความเข้มข้นสูง ณ สภาวะสมดุล แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า และถ้าค่า $1/n << 1$ แสดงว่าปริมาณการดูดซับจะลดลงที่ความเข้มข้นต่ำ ณ สภาวะสมดุล



รูปที่ 3.3 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

3.5.3 BET equation (Brunauer Emmett Teller) ใช้สำหรับอธิบายการดูดซับที่เกิดขึ้นหลายชั้นบนผิวของตัวดูดซับ

$$q = q_m BC_e / (C_e - C_e) [1 + (B - 1)(C_e / C_e)]$$
 (3.7)

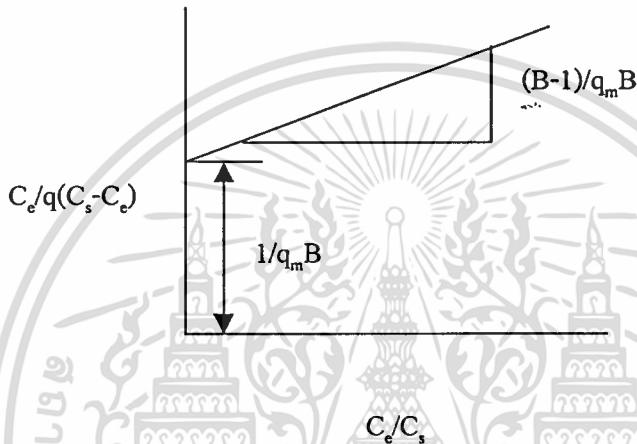
เอกสารนี้เป็นหรือการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_e/q(C_s - C_e) = 1/q_m B + [(B-1)/q_m B](C_e/C_s) \quad (3.8)$$

เมื่อ $B =$ ค่าคงที่

$C_s =$ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อุณหภูมิจำเพาะ (มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/q(C_s - C_e)$ กับ C_e/C_s ดังรูปที่ 3.4 จะได้ความชัน คือ $(B-1)/q_m B$ และจุดตัดแกน y คือ $1/q_m B$



รูปที่ 3.4 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ BET

3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [8, 12]

อัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

ก. ขนาดอนุภาคและปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับที่สำคัญ คือ ขนาดอนุภาคและปริมาณพื้นที่ผิว ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ กล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่า คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด ส่วนปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีปริมาณพื้นที่ผิวมากจึงดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีปริมาณพื้นที่ผิวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ได้มาจากช่องว่างหรือรูพรุนภายในของตัวดูดซับ

ข. ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะบนผิวของตัวดูดซับ สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำ

ได้อย่างเหนียวแน่นจึงยากต่อการดูดซับผิวตัวดูดซับ ในกรณีของคาร์บอนกัมมันต์พบว่าสารไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมักสามารถเกาะติดผิวของคาร์บอนกัมมันต์ได้ดี แต่เกณฑ์ที่กล่าวมานี้ก็ไม่ได้เป็นจริงเสมอ เพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เช่น น้ำมัน เกาะติดผิวคาร์บอนกัมมันต์ได้ยาก ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างชัดเจนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดติดผิวคาร์บอนกัมมันต์กับความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ

ค. ขนาดของตัวถูกดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในรูพรุนของตัวดูดซับ พบว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับ โดยโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่จึงถูกดูดตามเข้าไป

ง. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของตัวถูกดูดซับ

ถ้าค่าความเป็นกรดของตัวถูกดูดซับลดลงอัตราการดูดซับจะเร็วและสูง เพราะค่าความเป็นกรดมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดติดผิวตามความสัมพันธ์ที่กล่าวในหัวข้อ ข. นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เพิ่มมากขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนในน้ำของตัวถูกดูดซับยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนกัมมันต์ได้ดี ทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์เป็นโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วของตัวถูกดูดซับในน้ำมาเกาะผิวของคาร์บอนกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้น และทำให้เกิดการดูดซับดีขึ้น

จ. อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ถ้ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาการคายความร้อนอัตราเร็วในการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง เนื่องจากค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิตามสมการของ Arrhenius คือ

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (3.9)$$

เมื่อ k, k_0 = ค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับ

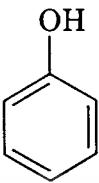
E_a = พลังงานการกระตุ้น (กิโลแคลอรี/โมล)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลอรี/เคลวิน โมล)

T = อุณหภูมิการดูดซับ (เคลวิน)

3.7 ฟีนอล [2-3, 36-38]

ฟีนอลเป็นสารประกอบที่มีหมู่ OH เป็นหมู่แสดงคุณสมบัติเฉพาะ ซึ่งหมู่ OH จะจับกับคาร์บอนในวงแหวนเบนซีน มีสูตรโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพแสดงในรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 สูตรโครงสร้างของฟีนอล

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของฟีนอล [2]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
มวลโมเลกุล	94.11
จุดเดือด ที่ 101.3 kPa, °C	181.75
จุดหลอมเหลว, °C	40.91
ความดันไอ ที่ 25°C, MPa	46.84
จุดวาบไฟ, °C	79
อุณหภูมิติดไฟ, °C	605
ความหนาแน่น ที่ 20°C (ของแข็ง), g/cm ³	1.0722
อุณหภูมิวิกฤติ, °C	421.1
ความดันวิกฤติ, MPa	6.13
ความร้อนจำเพาะ ที่ 14-25 °C, J/g K	2.35
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, ที่ bp, J/g	528.7
ความหนืด, MPa s (= cP) ที่	3.49
	2.03
	1.26
ความสามารถในการละลายน้ำที่ 20°C, g/l	82

ฟีนอลอาจพบจากน้ำทิ้งในบ้านเรือน แหล่งน้ำดื่มน้ำใช้ทั่ว ๆ ไป และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กรณีที่มีฟีนอลอยู่ในแหล่งน้ำมากเกินไ้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของ

เอกสารนี้เป็นฉบับร่างที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งน้ำนั้น ฟिनอลจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่น ปลา และพืชน้ำ เป็นต้น การสะสมของฟिनอลในสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนรูปของฟिनอลในตัวปลา จะทำให้เกิดกลืนไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลา ฟินอลสามารถถูกดูดซึมผ่านทางเหงือก ผิวหนัง และผ่านทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ฟินอลยังเป็นอันตรายต่อเซลล์ของมนุษย์ คือ อาจเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง ถ้ามนุษย์ได้รับฟินอลเข้าสู่ร่างกายมากกว่า 240 มิลลิกรัม/ลิตร จะเกิดแผลที่ปาก ท้องร่วง ปัสสาวะมีสีดำ นอกจากนี้เมื่อฟินอลรวมตัวกับคลอรีนจะเกิดเป็นคลอโรฟีนอลทำให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำดื่ม

ในประเทศไทยมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มกำหนดให้มีปริมาณฟินอลได้ไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร และมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมจะต้องมีปริมาณฟินอลไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร [4]

โรงงานอุตสาหกรรมที่มีฟินอลในน้ำทิ้ง ได้แก่ โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานปิโตรเคมี โรงถ่านหิน โรงงานฟอกย้อม โรงงานผลิตฟีนอลิกเรซิน โรงงานผลิตสี โรงงานเยื่อกระดาษ และโรงงานผลิตพลาสติก เป็นต้น ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณฟินอลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ [38]

โรงงานอุตสาหกรรม	ปริมาณฟินอล (มิลลิกรัม/ลิตร)
Coking plant	
- Weak ammonia liquor without dephenolization	580-10,000
- Weak ammonia liquor after dephenolization	4-332
- Wash oil-still wastes	30-150
Oil refineries	
- Sour water	80-185
- General wastewater	10-100
- API separator effluent	0.3-6.8
Petrochemical	
- Benzene refinery	210
- Tar distillation	300
- Nitrogen works	250
Iron manufacturing	100-150

ตารางที่ 3.2 ปริมาณฟีนอลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ [38] (ต่อ)

โรงงานอุตสาหกรรม	ปริมาณฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)
Plastics factory	600-2,000
Phenolic resin production	1,600
Fiberboard factory	150
Fiberglass manufacturing	40-400
Aircraft maintenance	200-400



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแบบประมาณ [39]

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวด้วยการวิเคราะห์แบบประมาณ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติ คือ ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว

4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. ครุชีเบลפורซเลน (Porcelain crucible)
2. จานแก้วทดลอง
3. ปากคืบ
4. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
5. เดซิกเคเตอร์
6. เตาอบ
7. เตาเผาไฟฟ้า รุ่น Furnace 6000 บริษัท Thermolyne Co., Ltd.

4.1.2 วิธีการทดลอง

4.1.2.1 การวิเคราะห์ความชื้น

1. นำตัวอย่างของกะลามะพร้าวใส่ถาดทิ้งไว้ในอากาศ 1 วัน
2. อบครุชีเบลพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์เป็นเวลา 15-30 นาที
3. ชั่งน้ำหนักกะลามะพร้าวที่แน่นอน ในครุชีเบลที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน พร้อมปิดฝา
4. นำไปอบพร้อมปิดฝาที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้นเป็นร้อยละจากสูตร

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = [(A-B) / A] \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนอบไล่ความชื้น (กรัม)
 B = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังอบไล่ความชื้น (กรัม)

4.1.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกะลามะพร้าวที่แน่นอน ในครุชิลที่ทราบ น้ำหนักที่แน่นอนพร้อมปิดฝา
2. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าพร้อมปิดฝาที่อุณหภูมิ 950 ± 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทิ้งให้เย็นในเคชิกเคเตอร์
3. ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณสารระเหยเป็นร้อยละจากสูตร

$$\text{ร้อยละของสารระเหย} = C - D \quad (4.2)$$

เมื่อ $C =$ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป $= [(A_1 - B_1) / A_1] \times 100$

$D =$ ร้อยละของความชื้นจากหัวข้อ 4.1.2.1

$A_1 =$ น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนเผาได้สารระเหย (กรัม)

$B_1 =$ น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังเผาได้สารระเหย (กรัม)

หรืออาจใช้ตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วแทนตัวอย่างในหัวข้อ 4.1.2.2 ข้อ 1 แล้วทดลองตามข้อ 2 และ 3 ในหัวข้อ 4.1.2.2 ตามลำดับ แล้วคำนวณหาค่าร้อยละของสารระเหยจากสูตร

$$\text{ร้อยละของสารระเหย} = [(B - B_1) / B] \times 100 \quad (4.3)$$

4.1.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกะลามะพร้าวที่อบไล่ความชื้นแล้วที่แน่นอน ในครุชิลที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนพร้อมฝาปิด
2. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้า เปิดฝาที่อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ปิดฝาแล้วตั้งอุณหภูมิของเตาเผาที่ 700-750 องศาเซลเซียส เผาต่อไปอีก 3 ชั่วโมง รวมเวลาที่ใช้เผาทั้งหมด 4 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งให้เย็นในเคชิกเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณเถ้าเป็นร้อยละจากสูตร

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = [(E - F) / B] \times 100 \quad (4.4)$$

เมื่อ $E =$ น้ำหนักก่อนเผาของครุชิลพร้อมฝาปิดรวมกับเถ้าที่เหลือ (กรัม)

$F =$ น้ำหนักหลังเผาของครุชิลพร้อมฝาปิดก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)

$B =$ น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังจากอบไล่ความชื้น (กรัม)

4.1.2.4 การวิเคราะห์ค่าคาร์บอนคงตัว

การหาค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัวหาได้จากสูตร

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - (% ความชื้น + % สารระเหย + % เถ้า) (4.5)

ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบประมาณแสดงในภาคผนวก ก. (ตารางที่ ก.1-ก.4)

4.2 การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์

ใช้สภาวะที่ได้ศึกษาแล้วว่าเหมาะสมจากงานวิจัย ชีระ โชติ และอัญชลีพร [5] ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ [5]

สารกระตุ้น	อัตราส่วนกะลา มะพร้าวต่อสาร กระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ การกระตุ้น (°C)	เวลา การกระตุ้น (นาทึ)
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1:2	800	60
NaCl อิมตัว	1:3	800	90
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	1:3	600	90
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	1:2	600	60

4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. ภาชนะสำหรับเผา (ทำจากเหล็กสแตนเลส)
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก
3. เครื่องกรองสุญญากาศ
4. เครื่องคัดขนาด
5. เดซิเกตเตอร์
6. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
7. เตาอบ
8. เตาเผาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์

1. บดกะลามะพร้าวแห้งให้มีขนาดโดยเฉลี่ย 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร
อบกะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัม
2. ผสมกะลามะพร้าวกับสารกระตุ้นที่ต้องการศึกษาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
ของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นต่าง ๆ ตามอัตราส่วนในตารางที่ 4.1 คลุกเคล้าให้เข้ากันในบีกเกอร์
นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนส่วนผสมแห้ง
3. นำส่วนผสมที่แห้งในข้อ 2. ใส่ลงในภาชนะสำหรับเผา ปิดฝานำไปเผาที่อุณหภูมิ
การกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นในตารางที่ 4.1
4. ล้างคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำร้อน 1 ครั้ง และน้ำกลั่น 2 ครั้ง (ใช้กระดาษกรอง
เบอร์ 42 กับอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ)
5. ล้างคาร์บอนกัมมันต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
1 ครั้ง
6. ล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำกลั่นจนสารละลายเป็นกลาง
7. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง
แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
8. ชั่งน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ และคำนวณปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้
9. บดคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช (45 ไมโครเมตร)
ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2532) และนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ [39-40]

การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์
องค์ประกอบแบบประมาณ และการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

4.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1 แต่เปลี่ยนตัวอย่างจากกะลามะพร้าว
เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

4.3.2 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

ค่าการดูดซับไอโอดีน คือ ปริมาณไอโอดีนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมที่ถูกดูดซับด้วย
คาร์บอนกัมมันต์แห้ง 1 กรัม ใช้ความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายเมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุด
การดูดซับมีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.02 นอร์มอล ตามลำดับ ค่าการดูดซับไอโอดีนจะเป็นค่าที่แสดง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ โดยคาร์บอนกัมมันต์ที่ดีควรมีค่าการดูดซับ ไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัม/กรัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2532)

4.3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. บีกเกอร์
2. ปีเปตขนาด 5, 10, 25 และ 50 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
7. หลอดหยดสาร
8. ขวดซังสารพร้อมฝาปิด
9. กรวยแก้ว
10. ขวดสีชา
11. กระชอนหยาบ
12. กระดาษกรอง เบอร์ 42
13. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
14. เครื่องกรองสุญญากาศพร้อมกรวยกรองบุชเนอร์
15. เดซิเคเตอร์
16. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
17. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก
18. เตาอบ
19. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

4.3.2.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก
3. ไอโอดีน (I_2) เกรดวิเคราะห์
4. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์
5. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์
6. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์
7. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) เกรดวิเคราะห์
8. น้ำแป้ง (Starch soluble)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับทดลอง

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เทเก็บใส่ขวด
2. สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มอล
ชั่งไอโอดีน 12.700 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.100 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์คนให้ละลาย จากนั้นจึงค่อยๆ เติมน้ำกลั่นลงไปครั้งละน้อย (ประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อครั้ง) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนปริมาตรทั้งหมดเป็น 50-60 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก กวนสารละลายต่อไปอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายละลายหมด จากนั้นจึงอาจให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทเก็บใส่ขวดสีชา
3. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.100 ± 0.01 นอร์มอล
ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.820 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 75 ± 25 มิลลิลิตร แล้วคนให้ละลาย เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 ± 0.01 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย จากนั้นจึงอาจให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบมาตรฐาน
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มอล
อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำสารที่อบแห้ง 3.5667 ± 0.0001 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรแล้วจึงอาจให้มีปริมาตร 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน เทเก็บใส่ขวดเก็บสารที่มีฝาปิด
5. น้ำแป้ง
ผสมแป้ง 1.0 ± 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 5-10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 ± 5 มิลลิลิตร พร้อมกับคนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พร้อมกับคนตลอดเวลา คั้นสารละลายต่อไปอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็น เทเก็บใส่ขวดเก็บสารแล้วแช่ไว้ในตู้เย็น ควรเตรียมน้ำแป้งใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

4.3.2.4 การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตในข้อ 4.3.2.3 ข้อ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.00 ± 0.01 กรัม เขย่าให้ละลาย ปีเปตกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในสาร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายข้างต้นไทเทรตหาไอโอดีนที่เหลือนับด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำเป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจากสูตร

$$N_1 = (P_1 \times R) / S \quad (4.6)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 นอร์มอล ควรทำการทดลองใหม่

2. สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

เปิดสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำเป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นจากสูตร

$$N_2 = (S \times N_1) / I \quad (4.7)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

การไทเทรตทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นโดยเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 นอร์มอล ควรทำการทดลองใหม่ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนจะต้องมีค่า 0.100 ± 0.001 นอร์มอล เพราะต้องใช้สารละลายไอโอดีนในการทำกราฟมาตรฐาน ดังนั้นถ้าความเข้มข้นไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวต้องเตรียมสารละลายไอโอดีนใหม่

4.3.2.5 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

1. เปิดสารละลายไอโอดีนในหัวข้อ 4.3.2.3 ข้อ 2 จำนวน 10, 20, 30 และ

40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 4 ขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับปริมาตรของสารละลายแต่ละขวดให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. ปิเปตสารละลายที่ได้ 20 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หากความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแต่ละขวด ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3.2.4
4. นำสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย กราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีนแสดงในภาคผนวก ก.5 รูปที่ ก.1

4.3.2.6 วิธีการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

1. บดคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช) อย่างน้อยร้อยละ 95 ประมาณ 10 กรัม
2. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 145-155 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
3. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ 2.0000 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไป ปิดปากขวดด้วยจุกยาง และเขย่าเบา ๆ จนกระทั่งคาร์บอนกัมมันต์เปียกทั่ว
4. นำขวดรูปชมพู่ไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ในตู้ดูดควัน เปิดจุกยาง ออก ต้มจนเดือดประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารมลทิน แล้วยกลง ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า นาน 15 นาที กรองสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42
6. นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนตัวอย่างเป็น กะลามะพร้าว และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) แทนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
8. ค่าการดูดซับไอโอดีน หาได้จากสูตร [14]

$$\text{ค่าการดูดซับไอโอดีน} = [(H_1 - H_2) / m] \times [12693 D_1] \quad (4.8)$$

เมื่อ H_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)

H_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)

D_1 = ค่าแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor) สามารถหาได้จาก ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าแก้ไขสำหรับการดูดซับไอโอดีน [12]

Residual filtrate (Normal)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270

เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer: TGA [41-42]

TGA มีประโยชน์มากในการหาความทนทานต่อความร้อน (Thermal stability) และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

เครื่อง TGA ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แต่จะให้ผลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อทำอนุพันธ์ของ TGA คือ เทคนิค DTG (Derivative thermogravimetry) เครื่อง TGA มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างพอลิเมอร์ ถ่านหิน และผลิตภัณฑ์เซรามิก เพื่อหาความชื้น ชนิดของพอลิเมอร์ สารที่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน และองค์ประกอบอื่น ๆ

การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์ 2 ประการดังนี้

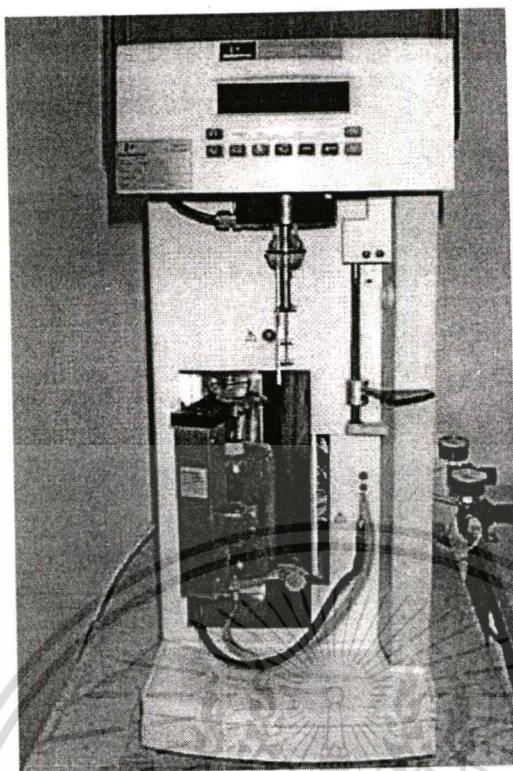
1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทางจลนศาสตร์ เช่น ปฏิกิริยาดีคอมโพสิชัน (Decomposition) ปฏิกิริยาการระเหย (Evaporization) และปฏิกิริยาดีไฮเดชัน (Dehydration)
2. หาปริมาณของส่วนประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่าง เช่น
 - ก. วิเคราะห์ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) และแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants)
 - ข. วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนแบล็ก (Carbon black) และตัวเติมอนินทรีย์ (Inorganic fillers)

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

1. กะลามะพร้าว
2. ตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จากสถานะที่เหมาะสมโดยให้ค่าการดูดซับไอโอดีนและร้อยละผลผลิตที่เหมาะสม (ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นแล้วแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน) ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.1

เครื่อง TGA ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่อง รุ่น Pyris1 TGA บริษัท PerkinElmer แสดงในรูปที่

4.1



รูปที่ 4.1 เครื่อง TGA รุ่น Pyris1 TGA บริษัท PerkinElmer

4.5 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope: SEM [43-44]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะช่วยให้สามารถมองเห็นรายละเอียดของพื้นผิวของสารที่ต้องการวิเคราะห์ มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 200,000 เท่า องค์ประกอบของเครื่องมีดังนี้

1. คอลัมน์ประกอบด้วยปืนยิงอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ซึ่งจะรวมเป็นจุดเรียกว่า อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) และตกลงบนผิวของตัวอย่างตามต้องการด้วยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) การตกกระทบของอิเล็กตรอนปฐมภูมิบนผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดกลุ่มอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ออกจากผิวของตัวอย่างเข้าสู่ตัวขยายสัญญาณ (Signal amplifier) แล้วแปรสัญญาณให้เกิดเป็นภาพทางจอภาพ ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและบันทึกไว้ในฟิล์มได้

2. เครื่องทำให้ระเหยสุญญากาศ (Vacuum evaporator) เป็นส่วนที่ใช้เตรียมตัวอย่าง โดยมีระบบสุญญากาศ และหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับจำนวนกระแสไฟฟ้าให้สูงต่ำได้ตามต้องการ อุปกรณ์นี้จะใช้ในการกระจายธาตุหรือโมเลกุลของของแข็ง เช่น ทอง พลาตินัม เป็นต้น ให้กระจายออกไปจับผิวของชิ้นตัวอย่าง เป็นการฉาบผิวด้วยโมเลกุลของธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องทำตัวอย่างให้แห้ง ที่สภาวะวิกฤต (Critical point dryer: CPR) เป็นเครื่องที่ทำให้ตัวอย่างแห้งโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวและความตึงผิว วิธีทำ คือ จุ่มชิ้นตัวอย่างลงในของเหลวอินทรีย์ต่าง ๆ แล้วนำไปใส่ในภาชนะที่ควบคุมอุณหภูมิและความดันได้ ของเหลวอินทรีย์ต่าง ๆ จะระเหยออกจากผิวของตัวอย่างที่อุณหภูมิและความดันค่าหนึ่ง เรียกสภาวะนี้ว่าจุดวิกฤต

4. เครื่องหมุนเวียนน้ำเย็น (Water circulator and chiller) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กระจายระบบน้ำเย็น เพื่อลดความร้อนให้กับส่วนต่าง ๆ ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เช่น ระบบเลนส์ ระบบสุญญากาศ น้ำที่หล่อเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 18-20 องศาเซลเซียส

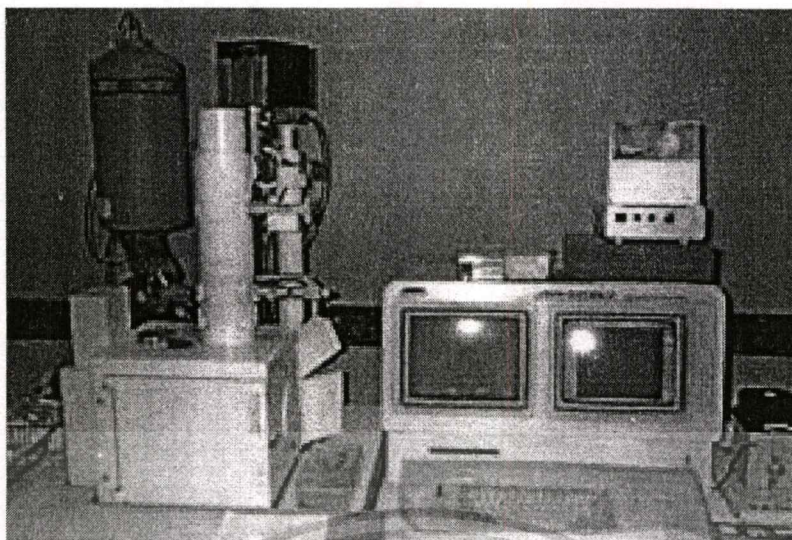
สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาด้วยเครื่อง SEM สามารถทำได้โดยนำแท่งทองเหลืองตันรูปทรงกระบอก (Stub) มาขัดด้วยกระดาษทรายให้เรียบและสะอาด นำถาวรคาร์บอนทาบบนผิวรูปวงกลมแล้วโรยตัวอย่าง คือ กะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) บนผิวบาง ๆ นำตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยโลหะทองโดยเครื่องทำให้ระเหยในสุญญากาศ (Sputtering unit) สาเหตุที่ต้องเคลือบผิวของตัวอย่าง เพราะตัวอย่างมีสภาพการนำค่า ดังนั้นจึงต้องเคลือบโลหะทองเพื่อเพิ่มสภาพการนำให้กับตัวอย่าง เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิมากขึ้น

ตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วพร้อมที่จะศึกษาด้วยเครื่อง SEM ทั้งนี้ ตัวอย่างที่เตรียมไว้สามารถเก็บไว้ได้นานแต่ต้องเก็บไว้ในที่แห้ง ปราศจากฝุ่นผง และต้องระวังไม่ให้มีสิ่งกระทบกระเทือนผิวของตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

1. กะลามะพร้าว
2. คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
3. คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

เครื่อง SEM ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่อง รุ่น JEOL JSM-5800LV ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่อง SEM รุ่น JEOL JSM-5800LV

4.6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม [45]

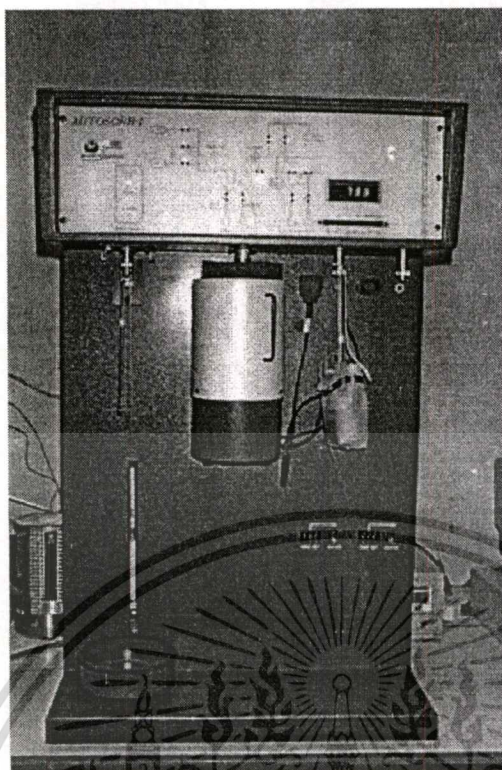
การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม ใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนผิวของแข็ง ซึ่งปกติจะใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันซึ่งสามารถวัดและคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวมได้ วิธีการ คือ ใช้ Adsorption vessel 2 ใบที่มีปริมาตรเท่ากัน ใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า แล้วผ่านก๊าซไนโตรเจนลงในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน Cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภาชนะทั้งสอง ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้มาโนมิเตอร์

สำหรับไอโซเทอมการดูดซับจะเป็นตัวแทนที่จะแสดงผลของข้อมูลจากการทดลอง โดยมีรูปแบบของสมการที่นิยมใช้วิเคราะห์ คือ สมการของ Langmuir, Freundlich และ BET การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะในการทดลองนี้จะใช้ BET method ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม จะใช้ Horvath-Kawazoe method ในการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 4.5

เครื่องที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่อง Autosorb รุ่น Autosorb 1 ของบริษัท Quantachrome Corporation แสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เครื่อง รุ่น Autosorb 1 ของบริษัท Quantachrome Corporation

4.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค Electron probe microanalysis: EPMA [43-44]

การวิเคราะห์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุที่ยังคงเหลือตกค้างอยู่ในกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

พัฒนาการของหัววัดรังสีกึ่งตัวนำมีส่วนสนับสนุนให้เกิดความนิยมใช้สเปกโตรมิเตอร์แบบใหม่ที่เรียกว่า Energy dispersive spectrometer: EDS ในการวิเคราะห์รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นได้มีการติดตั้งระบบ EDS ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมากขึ้น เนื่องจากข้อดีในการวัดทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ นอกจากนั้นคุณภาพของภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron micrograph) ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนก็ได้รับการพัฒนาให้มีความคมชัดขึ้น พร้อมรายละเอียดที่ชัดเจน ปัจจุบันจึงนิยมติดตั้งสเปกโตรมิเตอร์แบบ EDS ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อความสมบูรณ์ในการวิเคราะห์ EPMA เป็นชื่อทั่วไปที่นิยมใช้เรียกกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ด้วยระบบ EDS

EPMA ใช้วิเคราะห์พื้นที่บริเวณตัวอย่างขนาดเล็ก ๆ โดยศึกษาอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสารในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ด้วยลำอิเล็กตรอนนอกจากจะให้รายละเอียดของผิวและโครงสร้างของตัวอย่างที่กำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแล้วยังสามารถวิเคราะห์ธาตุที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวตัวอย่างได้ดี เมื่อลำอิเล็กตรอนตกลงบนตัวอย่างจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสารในตัวอย่าง ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered electron) และอิเล็กตรอนทะลุผ่าน (Transmitted electron) อนุภาคเหล่านี้ล้วนเป็นสัญญาณที่สำคัญยิ่งในงานจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แต่ในการวิเคราะห์ธาตุจะพิจารณาแต่รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น โดยรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าสู่หัววัดกึ่งตัวนำ และให้กำเนิดสัญญาณในรูปของพัลส์ทางไฟฟ้าเข้าสู่ระบบวัดรังสี สัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกขยายให้มีขนาดสูงขึ้นในตัวขยายหลักพร้อมทั้งมีการแต่งสัญญาณเพื่อเข้าเครื่องวัดขนาดของสัญญาณในชุด (Processor) สัญญาณที่ออกจากตัวขยายหลักยังคงเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Digital) โดยชุด (Analog to digital converter: ADC) เพื่อการวัดและแสดงผลต่อไป สัญญาณเชิงตัวเลขจะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) และผ่านกระบวนการต่าง ๆ ใน MCA ออกมาเป็นผลการวิเคราะห์ในรูปของสเปกตรัมของธาตุต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่าง ซึ่งจะแสดงบนจอภาพและกระดาษบันทึกผล

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 4.5

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่อง SEM รุ่น JEOL JSM-5800LV ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2

4.8 การทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล [40]

4.8.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
4. ปิเปตขนาด 5, 10, 25 และ 50 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
7. กรวยแก้ว
8. กระดาษกรอง เบอร์ 42
9. หลอดหยดสาร
10. ขวดสีชา
11. เครื่องกรองสุญญากาศพร้อมกรวยกรองบุชเนอร์

12. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

4.8.2 สารเคมี

1. ฟีนอล (C_6H_5OH) เกรดวิเคราะห์
2. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์
5. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์
6. โพแทสเซียมโบรเมต ($KBrO_3$) เกรดวิเคราะห์
7. โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) เกรดวิเคราะห์
8. น้ำเปล่า

4.8.3 การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานฟีนอลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร
ชั่งฟีนอลจำนวน 1.000 กรัม ละลายฟีนอลในน้ำกลั่นประมาณ 30 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา สารละลายที่เตรียมได้สามารถเก็บไว้ได้ 2 อาทิตย์
2. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.820 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 75 ± 25 มิลลิลิตร แล้วคนให้ละลาย จากนั้นจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 ± 0.01 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบมาตรฐาน
3. สารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
ชั่งโพแทสเซียมโบรเมต 2.784 กรัม และโพแทสเซียมโบรไมด์ 10 กรัม ละลายสารทั้งสองชนิดด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร คนให้ละลายในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 12.5% โดยน้ำหนัก
ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ 25 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 175 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา ในที่ไม่มีแสง
5. น้ำเปล่า

ผสม 1.0 ± 0.5 กรัมของแป้งในน้ำกลั่น 5-10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 ± 5 มิลลิลิตร

พร้อมกับคนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกับคนตลอดเวลา คัมสารละลายต่อไปอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็น เทเก็บใส่ขวดเก็บสารแล้วแช่ไว้ในตู้เย็น ควรเตรียมน้ำแข็งใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

4.8.4 วิธีการทดลอง

4.8.4.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.3.2.4 ข้อ 1

2. สารละลายมาตรฐานฟีนอลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายฟีนอลมาตรฐานในหัวข้อ 4.8.3 ข้อ 1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล 25 มิลลิลิตร ใส่ลงไป เขย่าขวดให้เข้ากัน เติมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าขวด ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที เติมสารละลาย โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 12.5% โดยน้ำหนัก 8 มิลลิลิตร เขย่าขวด ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที และไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่แน่นอนคำนวณได้จาก [40]

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{[(((G \times H) - (S \times N_1)) / L) \times 15.685] \times 1,000}{(4.9)}$$

เมื่อ G = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (มิลลิลิตร)

H = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

L = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานฟีนอล (นอร์มอล)

4.8.4.2 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายฟีนอล

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอลในหัวข้อ 4.8.3 ข้อ 1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. ปิเปตสารละลายฟีนอลในข้อ 1 จำนวน 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 7 ขวด ปรับปริมาตรของสารละลายแต่ละขวดให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3. นำสารละลายแต่ละขวดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 263

นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย

กราฟมาตรฐานสารละลายฟีนอลแสดงในภาคผนวก ก.5 รูปที่ ก.2

4.8.4.3 การทดลองการดูดซับสารละลายฟีนอล

การทดลองการดูดซับสารละลายฟีนอลแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

4.8.4.3.1 ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปีเปิดสารละลายฟีนอลมาตรฐานจำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร แล้วหาความเข้มข้นที่แน่นอนตามวิธีในหัวข้อ 4.8.4.1

2. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ปริมาณ 1.000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 11 ขวด เทสารละลายฟีนอลในข้อ 1 ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในแต่ละขวด

3. ปิดขวดด้วยจุกยางแล้วเขย่า นำไปเขย่าต่อด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที ตามลำดับ

4. นำขวดที่เขย่าที่เวลาต่าง ๆ มากรองคาร์บอนกัมมันต์ออก โดยผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

5. นำสารละลายฟีนอลที่กรองได้จากขวดต่าง ๆ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 263 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เลือกจากกราฟมาตรฐาน

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนตัวอย่างจากคาร์บอนกัมมันต์ เป็นกะลามะพร้าว และ คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ตามลำดับ

4.8.4.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับ

1. ทำการทดลองเหมือนกับหัวข้อ 4.8.4.3.1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลในข้อ 1 เป็น 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

2. นำผลการทดลองที่ได้ไปหาไอโซเทอมการดูดซับ ประสิทธิภาพการดูดซับ และปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลต่อไปซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = [(C_0 - C)/C_0] \times 100 \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$$q = [(C_0 - C) / m] \times V \times 1,000 \quad (4.11)$$

เมื่อ q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่ความเข้มข้นสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

m = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เป็นสารดูดซับ

V = ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ในการดูดซับ (ในการทดลอง คือ 200 มิลลิลิตร)

หมายเหตุ ค่า 1,000 คือ ค่าที่ใช้เพื่อแปลงหน่วยของปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ในการดูดซับ (V) จากมิลลิลิตรเป็นลิตร

4.8.4.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir และ Freundlich

นำผลการทดลองที่ได้จากหัวข้อ 4.8.4.3.2 ไปวิเคราะห์ข้อมูล

การดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich

บทที่ 5

ผลการทดลองและการอภิปราย

5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

การทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณตามวิธีการในเอกสารอ้างอิง [39] มีดังนี้

5.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกะลามะพร้าว

5.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

5.1.3 วิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) พบว่า กะลามะพร้าวมีค่าร้อยละของความชื้นและร้อยละของสารระเหยสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ เนื่องจาก กะลามะพร้าวไม่ได้ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีจึงทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สารระเหย และน้ำมันดินยังไม่ถูกกำจัดออกไป แต่จะมีค่าร้อยละของเถ้าและร้อยละของคาร์บอนคงตัวต่ำกว่า เพราะคาร์บอนกัมมันต์ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันและกระบวนการกระตุ้นทางเคมีมาแล้ว จึงทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ถูกกำจัดออกไป

คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดย น้ำหนัก และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) จะมีค่าร้อยละของคาร์บอน คงตัวเท่ากับ 82.1833 และ 80.3282 ตามลำดับซึ่งเป็นค่าที่สูงและเป็นคุณสมบัติที่ดีของคาร์บอน กัมมันต์ ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมพัลส์ และด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียม คลอไรด์อิมพัลส์ อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนักจะมีค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 74.9034, 79.3719 และ 66.5438 ตามลำดับ

ข้อมูลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.1 ตารางที่ ก.1-ก.4

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

ตัวอย่าง	ร้อยละของ ความชื้น	ร้อยละของ สารระเหย	ร้อยละของ เถ้า	ร้อยละของ คาร์บอนคงตัว
กะลามะพร้าว	10.0538	26.5918	10.4257	52.9287
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 60% โดยน้ำหนัก	1.0819	2.7337	14.0011	82.1833
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิมตัว	4.2978	6.2581	14.5407	74.9034
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	3.9115	2.6288	14.0878	79.3719
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	9.0562	10.0901	14.3099	66.5438
คาร์บอนกัมมันต์ ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	1.2374	4.0438	14.3906	80.3282

5.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

5.2.1 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนของกะลามะพร้าว

5.2.2 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากสถานะ
ที่ทำการทดลองต่าง ๆ [5] ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.2 รูปที่ ก.1-ก.12

5.2.3 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH
M325-60) สำหรับข้อมูลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.2 ตารางที่ ก.9

5.3 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้

ผลการทดลองจาก [5] แสดงในรูปที่ ก.13-ก.24 ข้อมูลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.3

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ วิเคราะห์และอภิปรายสรุปผลของการศึกษาจากงานวิจัย ชีระโชติ และอัญชลีพร [5] ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.1.1 ชนิดของสารกระตุ้น

จากการศึกษาพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักจะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก ที่ทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

ซิงค์คลอไรด์มีจุดหลอมเหลว 283 องศาเซลเซียส [46] ซึ่งต่ำกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลว 801 องศาเซลเซียส [47] เนื่องจากคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้เกี่ยวข้องกับปริมาณสารอินทรีย์ในวัตถุดิบที่ถูกแทนที่โดยสารกระตุ้น ดังนั้นเหตุผลข้อหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้ที่ทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น คือ ขณะที่ให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนเกิดการสลายตัวของวัตถุดิบทรีย์ออกไปในรูปของก๊าซและของเหลว ซิงค์คลอไรด์ที่เติมลงไปจะเกิดการหลอมเหลวในช่วงอุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สารระเหย และน้ำมันดินได้สูญเสียไปอย่างรวดเร็ว ซิงค์คลอไรด์ที่อยู่ในสถานะของเหลวจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนที่ถูกเปิดออกได้ดีกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในสถานะของแข็ง ในขณะที่เมื่อให้ความร้อนจนกระทั่งเกิดการสลายตัวของวัตถุดิบทรีย์ทำให้เกิดการหดตัวของคาร์บอนกัมมันต์ที่มีซิงค์คลอไรด์แทรกอยู่เมื่อล้างซิงค์คลอไรด์ออกจึงทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น และเนื่องจากจุดหลอมเหลวของโซเดียมคลอไรด์ที่สูงกว่าซิงค์คลอไรด์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้การแพร่ของโซเดียมคลอไรด์เข้าไปแทนที่สารระเหยในโครงสร้างของวัตถุดิบเกิดขึ้นได้น้อยกว่าการแพร่ของซิงค์คลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์จึงเป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมคลอไรด์ ส่วนการใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าคาร์บอนกัมมันต์จะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าการใช้สารเคมีชนิดเดียวในการกระตุ้น ทั้งนี้เหตุผลที่น่าจะเป็นไปได้คือ อาจเกิดการกีดกันในการแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนที่ถูกเปิดออกจากการระเหยของโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์ เนื่องจากจุดหลอมเหลวที่ต่างกันดังที่ได้อธิบายข้างต้น คือ ในขณะที่ซิงค์คลอไรด์ในสถานะของเหลวแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนนั้น โซเดียมคลอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าซิงค์คลอไรด์ยังไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนได้ จึงอาจเป็นตัวกีดกันความสามารถในการแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของซิงค์คลอไรด์ด้วย

Whistler and Teng [48] ได้ให้เหตุผลในกรณีที่ใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น

แล้วสามารถทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีการดูดกลืนและสีดีกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงค์คลอไรด์ทำให้การพองตัวของเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของไม้และวัสดุอื่น ๆ สูงกว่าเกลือชนิดอื่น ๆ ซิงค์คลอไรด์จึงสามารถแทรกเข้าไปในเซลลูโลสของไม้หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบได้ดีกว่าเกลือชนิดอื่น เมื่อวัตถุติดถูกเผาไหม้เป็นการคาร์บอน ซิงค์คลอไรด์ยังคงกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของคาร์บอนได้มากและค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าเกลืออื่น ๆ เมื่อล้างซิงค์คลอไรด์ออกจึงเกิดรูพรุนขึ้นในคาร์บอนกัมมันต์

5.4.1.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น

จากรูปที่ ก.1-ก.3 พบว่า เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมีแนวโน้มทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้นเดียวกัน แต่ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 และ 800 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นเป็น 1:3 และ 1:4 ที่เวลาการกระตุ้น 120 นาที จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง และเป็นที่น่าสนใจว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:2 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงใกล้เคียงกับอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 แต่สูงกว่า 1:1 มาก

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมีแนวโน้มทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิและเวลาการกระตุ้นเดียวกัน ดังรูปที่ ก.4-ก.6

เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 700 องศาเซลเซียส การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นจะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น แต่เมื่อเวลาการกระตุ้นเป็น 120 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง ส่วนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นและเวลาการกระตุ้นจะทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง ดังแสดงในรูปที่ ก.7-ก.9

ส่วนเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.10-ก.12 ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นเป็น 1:2 คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 436 มิลลิกรัม/กรัม ที่เวลาการกระตุ้น 60 นาที ส่วนที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 และ 800 องศาเซลเซียส สังเกตจากกราฟพบว่าเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาการกระตุ้นเดียวกันค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ที่ทุกอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.3 อุณหภูมิการกระตุ้น

จากการศึกษาโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะสูงขึ้น ดังรูปที่ ก.1-ก.3 โดยที่อุณหภูมิการกระตุ้นที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 800 องศาเซลเซียส

ในทำนองเดียวกันเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น ดังรูปที่ ก.4-ก.6 ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 และ 800 องศาเซลเซียส จะได้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นดังรูปที่ ก.7-ก.9 พบว่าที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 700 องศาเซลเซียส คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีแนวโน้มของค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

ส่วนเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.10-ก.12 คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงเมื่อใช้อุณหภูมิการกระตุ้น ที่ 600 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้นเป็น 700 และ 800 องศาเซลเซียส คาร์บอนกัมมันต์จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ใกล้เคียงกัน แต่จะต่ำกว่าเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นเป็น 600 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการกระตุ้นมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ การเพิ่มอุณหภูมิให้องค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนมีโอกาสถูกไล่ออกไปได้มากขึ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงเกิดรูพรุนมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้รูพรุนที่เกิดขึ้นถูกทำลายไปได้ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลงได้

สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว มีแนวโน้มเป็นสารกระตุ้นที่ดีเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้น ส่วนสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มเป็นสารกระตุ้นที่ดีที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

5.4.1.4 เวลาการกระตุ้น

การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.1-ก.3 ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีแนวโน้มของค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้นมากขึ้น ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียสและเพิ่มเวลาการกระตุ้นให้มากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ที่เวลาการกระตุ้น 120 นาที สำหรับทั้งที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:3 และ 1:4 พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลง ส่วนที่อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้นจนถึง 90 นาที และจะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้นเป็น 120 นาที

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.4-ก.6 ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้นมากขึ้น แต่จะลดลงเมื่อเวลาการกระตุ้นเป็น 120 นาที ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:4 เวลาการกระตุ้น 120 นาที จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเวลาการกระตุ้นอื่น ๆ ส่วนที่อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นเป็น 1:3 พบว่าที่เวลาการกระตุ้น 90 นาที การบดกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 705 มิลลิกรัม/กรัม

เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.7-ก.9 พบว่าที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส แนวโน้มของค่าการดูดซับไอโอดีนจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้นมากขึ้นแต่จะลดลงเมื่อเวลาการกระตุ้นเป็น 120 นาที และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:3 เวลาการกระตุ้น 90 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 540 มิลลิกรัม/กรัม สำหรับที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้น

ส่วนเมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ดังรูปที่ ก.10-ก.12 ที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นเป็น 1:2 เวลาการกระตุ้น 60 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 436 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนที่อุณหภูมิการกระตุ้น 700 และ 800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการกระตุ้น

เวลาที่ใช้กระตุ้นเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่งของการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ การเพิ่มเวลาการกระตุ้นเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะทำให้องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น สารระเหย และน้ำมันดิน ถูกกำจัดออกไปทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มเวลาการกระตุ้นนานเกินไปอาจทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอาจทำให้คาร์บอนกัมมันต์สูญเสียโครงสร้างความเป็นรูพรุน เพราะรูพรุนถูกทำลาย และยังอาจเกิดการสูญเสียคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณของเถ้าในคาร์บอนกัมมันต์เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลง เพราะเถ้าที่เกิดขึ้นจะตกค้างอยู่ในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.2.1 ชนิดของสารกระตุ้น

จากการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวจะให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงกว่าการใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นเพียงชนิดเดียว ดังรูปที่ ก.13-ก.24

5.4.2.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น

พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยมาก

เมื่อเทียบกับปริมาณสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมีผลน้อยมากต่อค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.2.3 อุณหภูมิการกระตุ้น

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้น ค่าร้อยละผลผลิตจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนมากขึ้น

5.4.2.4 เวลาการกระตุ้น

พบว่าไม่ว่าจะใช้สารเคมีตัวใดเป็นสารกระตุ้นมีผลในทำนองเดียวกัน คือ ค่าร้อยละผลผลิตจะลดลงตามเวลาการกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่นำกะลามะพร้าวมาเผาที่อุณหภูมิสูงสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หรือระเหยสูญหายไป น้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่เหลือจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น โดยในช่วงแรกน้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเผานานจนถึงช่วงเวลาหนึ่งน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์จะลดลงในอัตราที่ช้ามากจนเกือบคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าการทดสอบการดูดซับไอโอดีน และค่าร้อยละผลผลิต ทำให้สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ [5]

สารกระตุ้น	อัตราส่วน กะลามะพร้าว ต่อสาร กระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ การ กระตุ้น (°C)	เวลา การ กระตุ้น (นาที)	ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (มก./ก.)	ร้อยละ ผลผลิต (%)
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1:2	800	60	922	44.18
NaCl อิมด้ว	1:3	800	90	705	40.76
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมด้ว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	1:3	600	90	540	55.21
ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมด้ว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	1:2	600	60	436	57.45

5.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง TGA

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกะลามะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันและกระบวนการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นด้วยเครื่อง TGA ดังรูปที่ 5.1 พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่สังเกตได้ 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 49-120 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 8% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของความชื้น (Moisture) ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 52% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของสารระเหย (Volatile matters) และน้ำมันดิน (Tar) ส่วนช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 350-900 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 18% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของคาร์บอน และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในกะลามะพร้าว

รูปที่ 5.2 เป็นกราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมจากสภาวะที่เหมาะสมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่สังเกตได้ มี 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 21-200 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 30% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของความชื้น ส่วนช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 200-700 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 40% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของสารระเหย น้ำมันดิน และซิงค์คลอไรด์

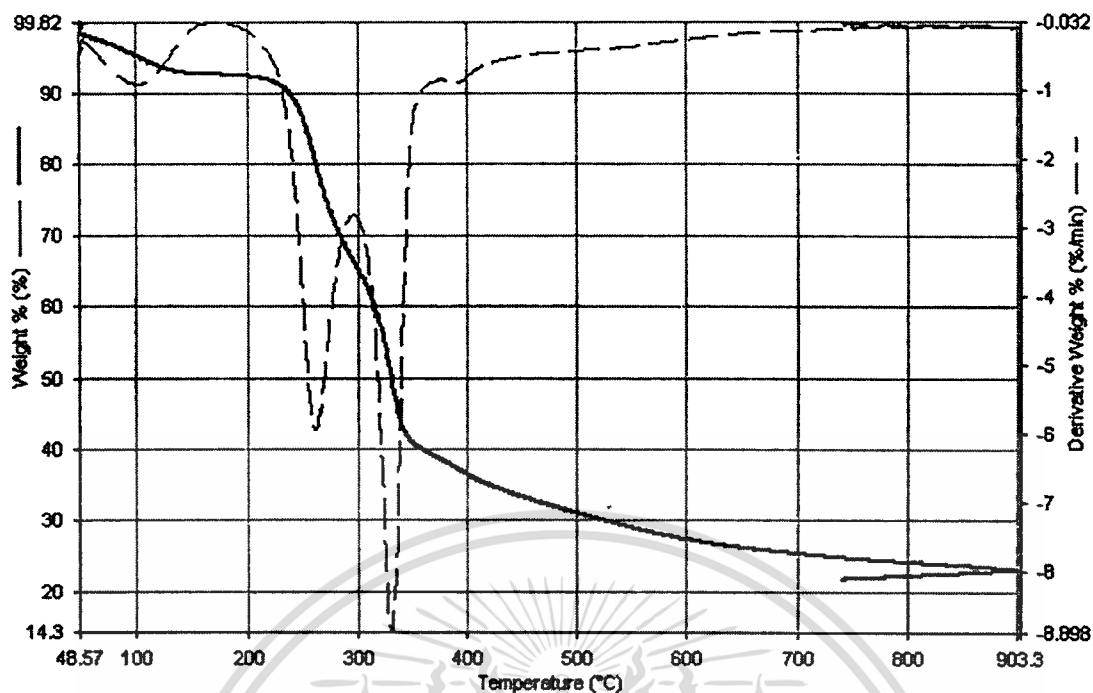
ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 283 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 732 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า ซิงค์คลอไรด์มีส่วนสำคัญในการกำจัดสารระเหย และน้ำมันดินให้ออกไปจากตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teng H. [23] ทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็น สารกระตุ้นจะมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น และเป็นสาเหตุที่ทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีคุณสมบัติในการ ดูดซับดีขึ้น

รูปที่ 5.3 เป็นกราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมจากสถานะที่เหมาะสมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชันแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเหมือนกับกราฟของกะลามะพร้าวในรูปที่ 5.1 โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่สังเกตได้ 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 41-120 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 5% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของความชื้น ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 200-320 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 38% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของสารระเหยและน้ำมันดิน ส่วนช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 320-800 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 18% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของคาร์บอน และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่าง แต่เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีจุดหลอมเหลว 801 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 1,465 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ทำการวิเคราะห์ กราฟที่ได้จึงไม่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เกิดขึ้นของโซเดียมคลอไรด์

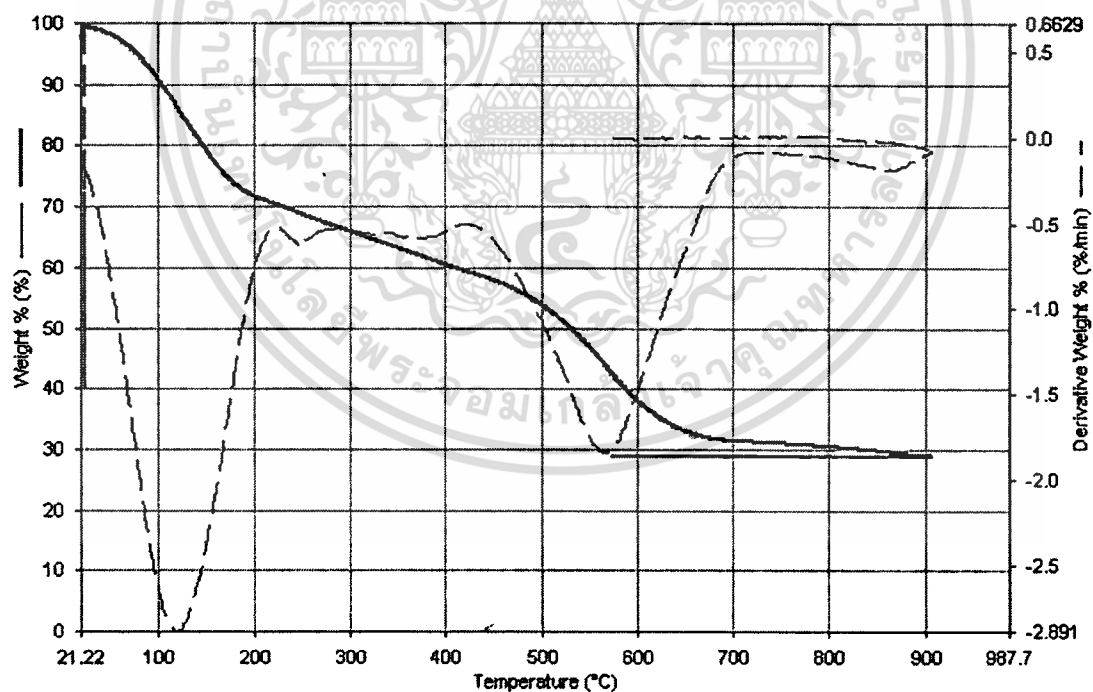
รูปที่ 5.4 เป็นกราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมจากสถานะที่เหมาะสมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิมัลชัน อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 26-200 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 25% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของความชื้น ส่วนช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 200-700 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 28% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของสารระเหย น้ำมันดิน และซิงค์คลอไรด์ และไม่แสดงผลการเปลี่ยนแปลง น้ำหนักของโซเดียมคลอไรด์ตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

รูปที่ 5.5 เป็นกราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมจากสถานะที่เหมาะสมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิมัลชัน อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่สังเกตได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอุณหภูมิประมาณ 28-200 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 15% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของความชื้น ส่วนช่วงที่อุณหภูมิประมาณ 200-700 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 33% ซึ่งคาดว่าเป็นน้ำหนักที่หายไปของสารระเหย น้ำมันดิน และซิงค์คลอไรด์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

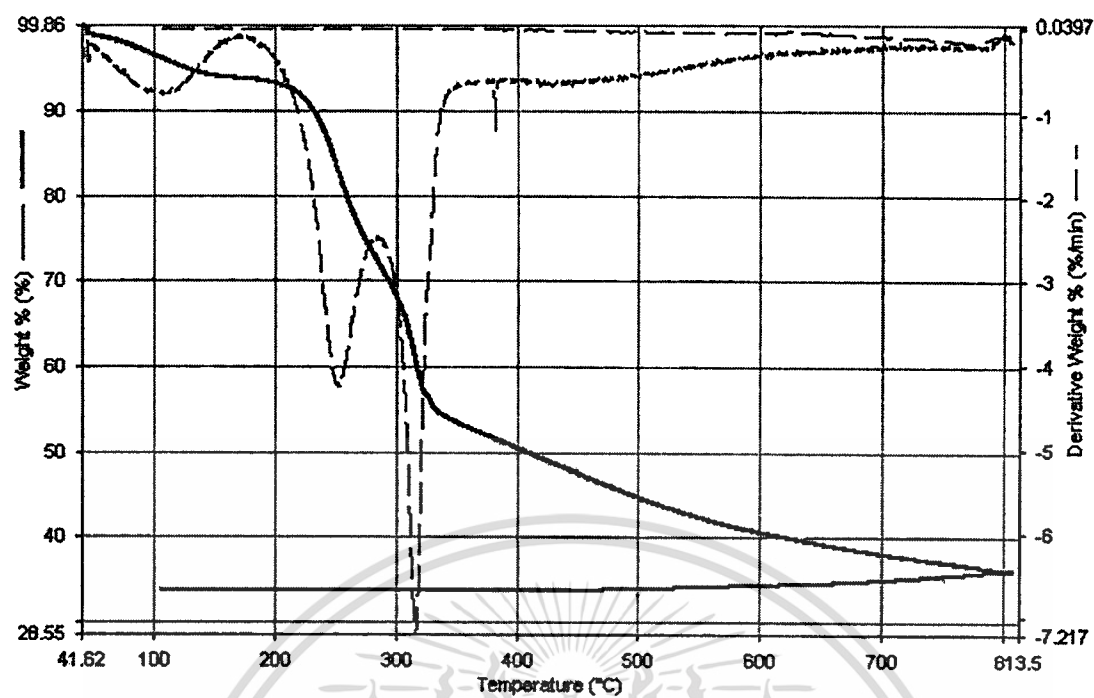


รูปที่ 5.1 กราฟ TGA ของกะลามะพร้าว

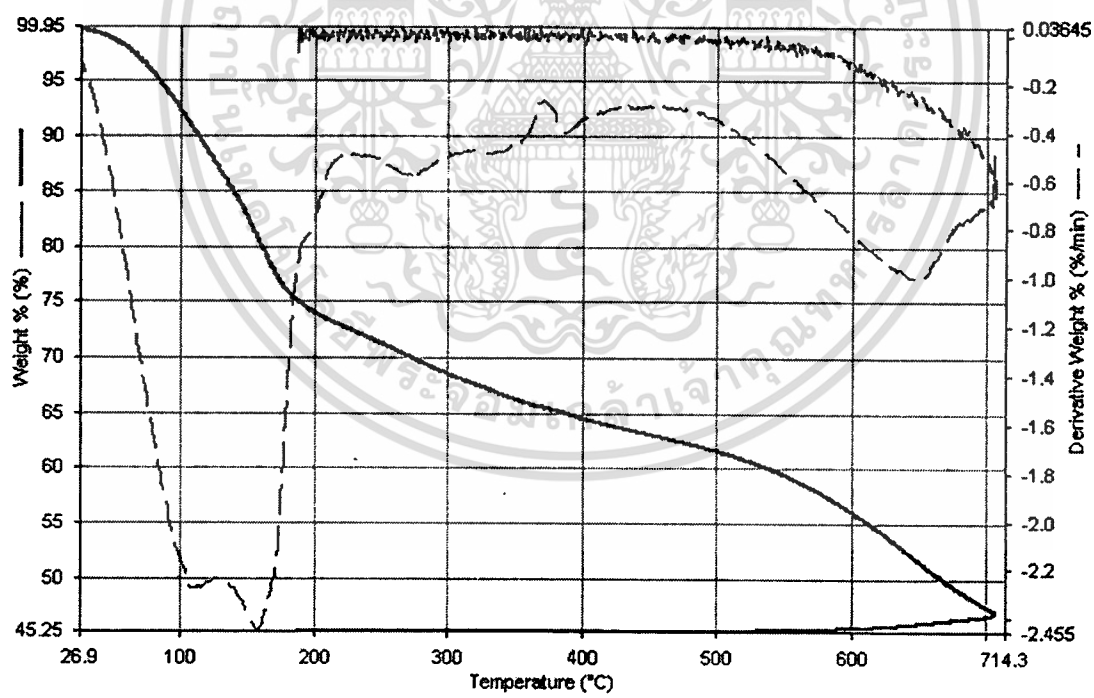


รูปที่ 5.2 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

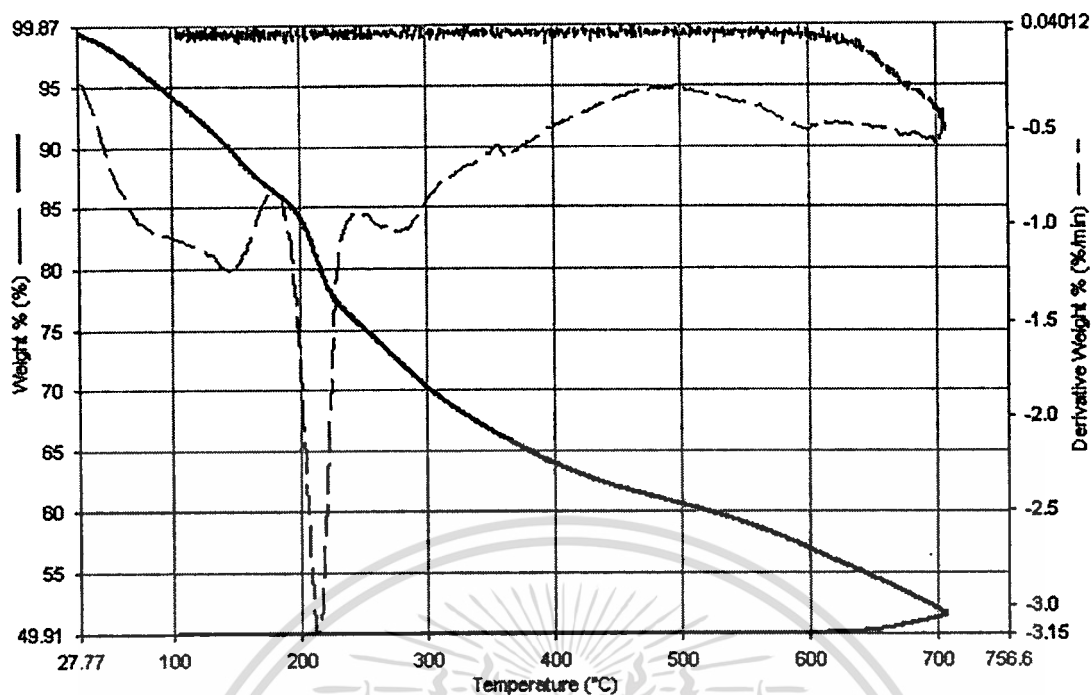


รูปที่ 5.3 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมตัว



รูปที่ 5.4 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟ TGA ของตัวอย่างที่เตรียมโดยกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก

5.6 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นว่ากะลามะพร้าวมีสภาพพื้นผิวแตกต่างจากผิวคาร์บอนกัมมันต์ที่แสดงในรูปที่ 5.7-5.11 รูปทรงของกะลามะพร้าวมีปริมาณค่อนข้างน้อยกว่า เพราะองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สารระเหย น้ำมันดินในกะลามะพร้าวยังไม่ได้ถูกเผาไป ในรูปที่ 5.7 และ 5.11 จะเห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) มีความหนาแน่นของจำนวนรูพรุนมากกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (รูปที่ 5.8) สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 5.9 และ 5.10) ซึ่งการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นการศึกษาสภาพพื้นผิวภายนอกเท่านั้น จึงต้องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวมด้วยจึงจะสามารถอธิบายผลการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้อย่างชัดเจนขึ้น



รูปที่ 5.6 รูป SEM ของกะลามะพร้าว ที่กำลังขยาย 250 เท่า

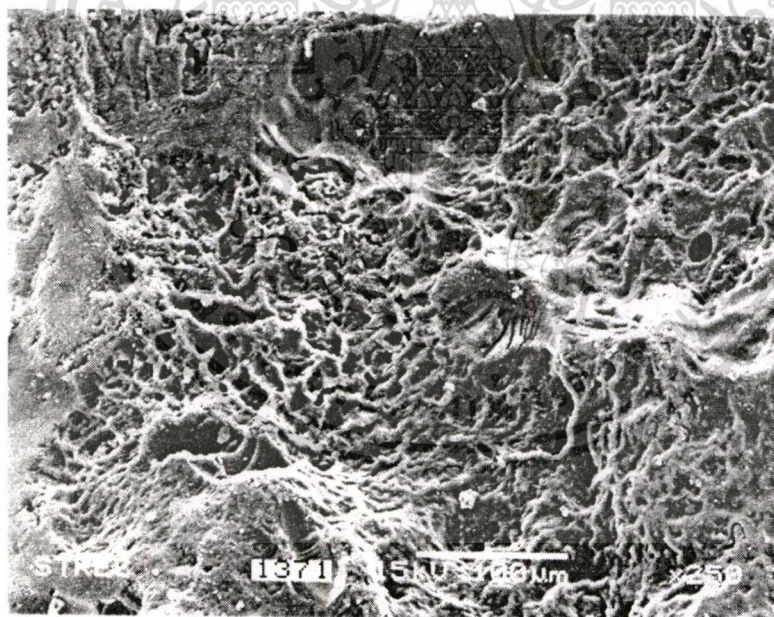


รูปที่ 5.7 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

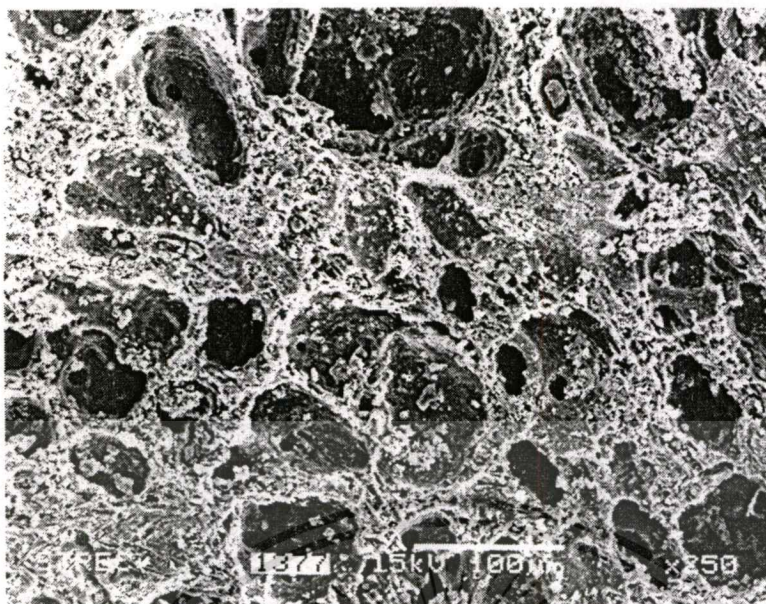


รูปที่ 5.8 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวที่กำลังขยาย 250 เท่า

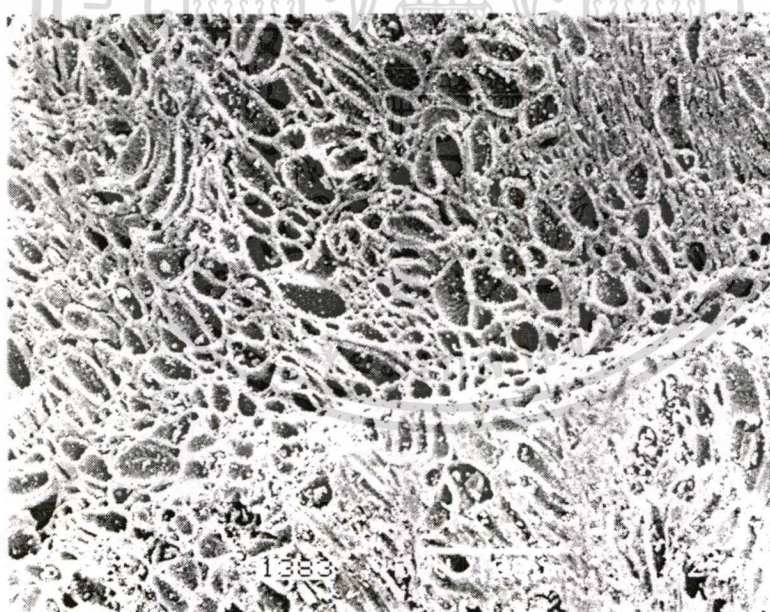


รูปที่ 5.9 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 250 เท่า



รูปที่ 5.11 รูป SEM ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ที่กำลังขยาย 250 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (S_{BET}) ด้วยสมการของ BET (Brunauer-Emmette-Teller) ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย (D_p) และปริมาตรรูพรุนรวม (V_{tot}) วิเคราะห์โดยใช้สมการของ HK (Horvath-Kawazoe) [45] จากผลการทดลองพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,193 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.544 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,160 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.510 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนกะลามะพร้าวจะมีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนรวมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับคาร์บอนกัมมันต์ ทั้งนี้เพราะกะลามะพร้าวยังไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน และกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีเหมือนกับคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า ดังนั้นองค์ประกอบต่าง ๆ ในกะลามะพร้าวจึงยังไม่ได้ถูกเผาออกไป ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยจะสังเกตได้ว่าเป็นรูพรุนแบบไมโครพอร์ที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ S_{BET} (m^2/g)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของรูพรุนเฉลี่ย D_p (Å)	ปริมาตร ของรูพรุนรวม V_{tot} (cm^3/g)
กะลามะพร้าว	89.13	15.73	0.003
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1,193	13.92	0.544
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	402.60	13.67	0.175

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม (ต่อ)

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ S_{BET} (m^2/g)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของรูพรุนเฉลี่ย D_p (Å)	ปริมาตร ของรูพรุนรวม V_{tot} (cm^3/g)
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	578.40	15.23	0.262
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	259.10	13.52	0.097
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	1,160	14.02	0.510

5.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค EPMA

การวิเคราะห์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุที่ยังคงเหลือตกค้างอยู่ในกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 5.12-5.17 พบว่ากะลามะพร้าวมีองค์ประกอบคือ คาร์บอน ออกซิเจน และ อะลูมิเนียม ดังรูปที่ 5.12

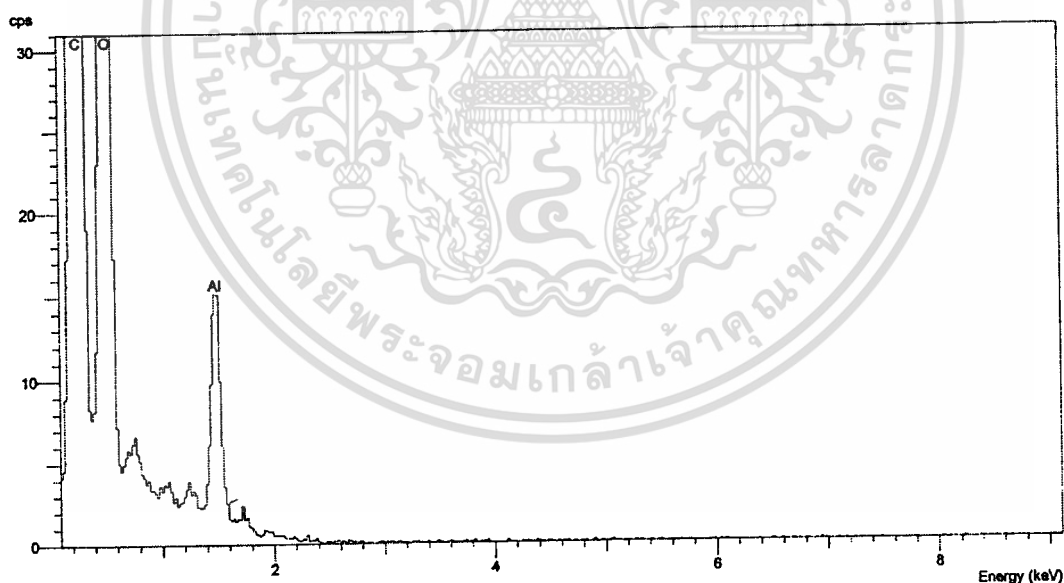
คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.13 มีองค์ประกอบ คือ คาร์บอน ออกซิเจน และคลอรีน ซึ่งแสดงว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไม่มีโลหะสังกะสีซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารละลายซิงค์คลอไรด์เหลือตกค้างอยู่ เพราะอาจจะสลายตัวไปในขั้นตอนการกระตุ้นและล้างแล้ว (อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 800 องศาเซลเซียส)

คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมตัว ดังรูปที่ 5.14 มีองค์ประกอบ คือ คาร์บอน ออกซิเจน และคลอรีน ซึ่งแสดงว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไม่มีโลหะโซเดียมซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เหลือตกค้างอยู่ เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์สามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อดำรงคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้แล้ว จึงไม่มีโลหะโซเดียมเหลือตกค้างอยู่

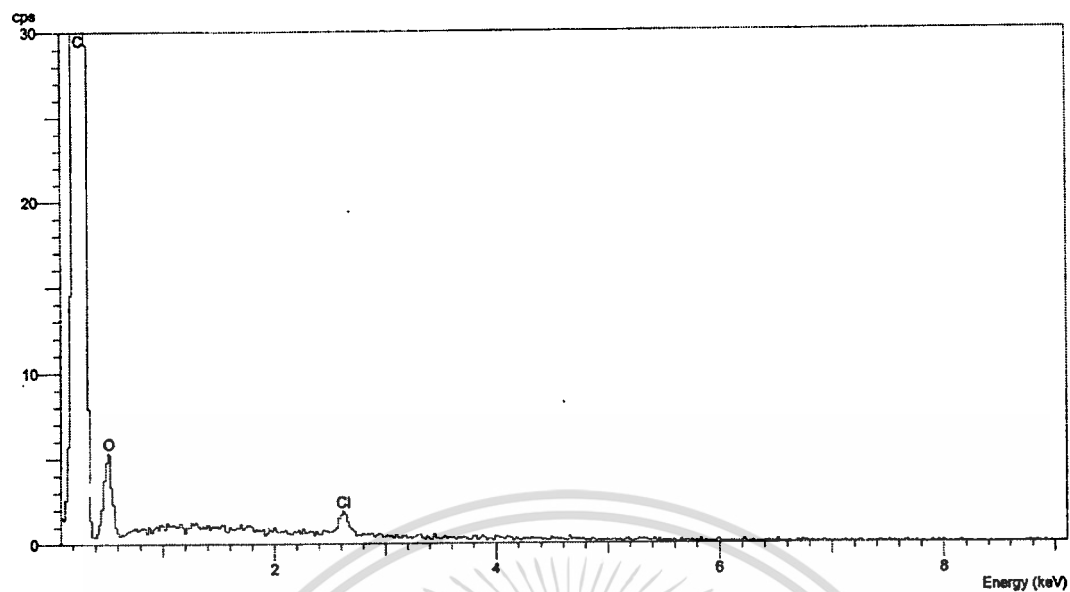
คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.15 มีองค์ประกอบ คือ คาร์บอน ออกซิเจน คลอรีน และโลหะสังกะสี การที่ยังคงมีโลหะสังกะสีตกค้างอยู่อาจเนื่องมาจากซิงค์คลอไรด์มีจุดเดือดที่ 732 องศาเซลเซียส ในกรณีนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 600 องศาเซลเซียส จึงทำให้ซิงค์คลอไรด์ยังไม่สลายตัว

คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.16 มีองค์ประกอบ คือ คาร์บอน ออกซิเจน คลอรีน โลหะสังกะสี และโลหะโซเดียม การที่ยังคงมีโลหะสังกะสี และโลหะโซเดียม ตกค้างอยู่อาจเนื่องมาจากเหตุผลเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว และอาจเพราะปริมาณของสารละลายที่ใช้ในการกระตุ้นมีปริมาณมากขึ้น

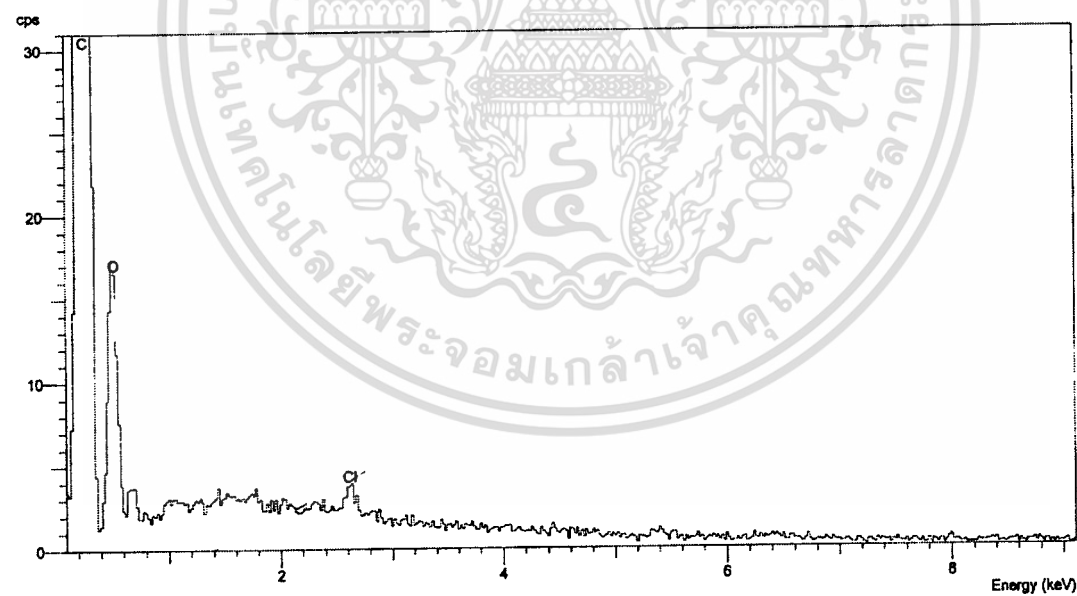
สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) แสดงดังรูปที่ 5.17 มีองค์ประกอบ คือ คาร์บอน ออกซิเจน โลหะโพแทสเซียม ซึ่งสันนิษฐานว่าบริษัทผู้ผลิตอาจใช้สารประกอบจำพวกโพแทสเซียมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ จึงยังคงมีโลหะโพแทสเซียมตกค้างอยู่



รูปที่ 5.12 องค์ประกอบของธาตุในกะลามะพร้าว

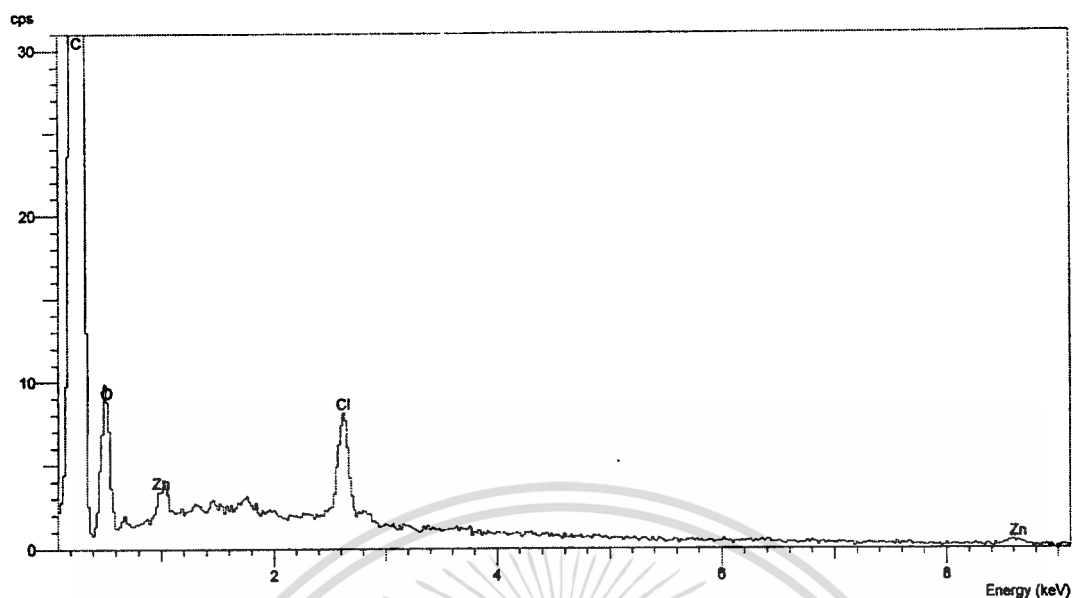


รูปที่ 5.13 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60%โดยน้ำหนัก

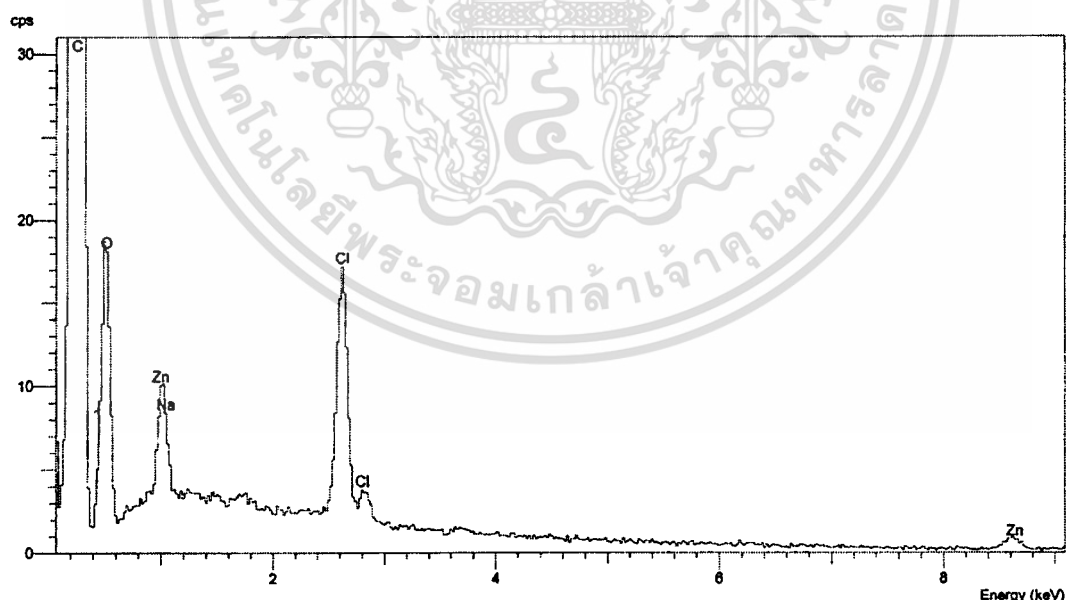


รูปที่ 5.14 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

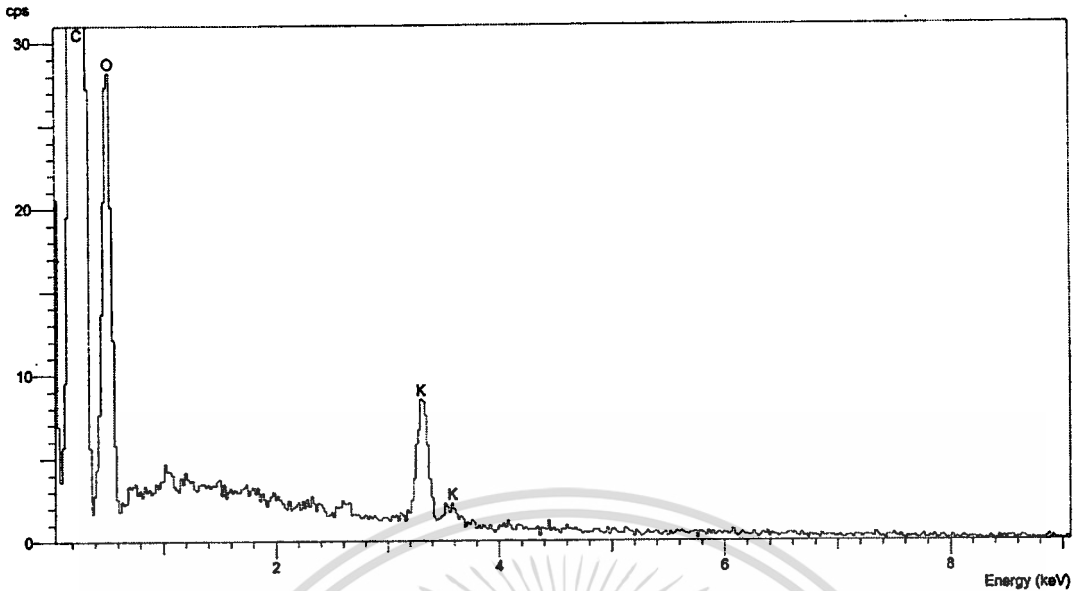


รูปที่ 5.15 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่าง สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 5.16 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่าง สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 องค์ประกอบของธาตุในคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

5.9 การทดสอบการดูดซับสารละลายฟีนอล

5.9.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

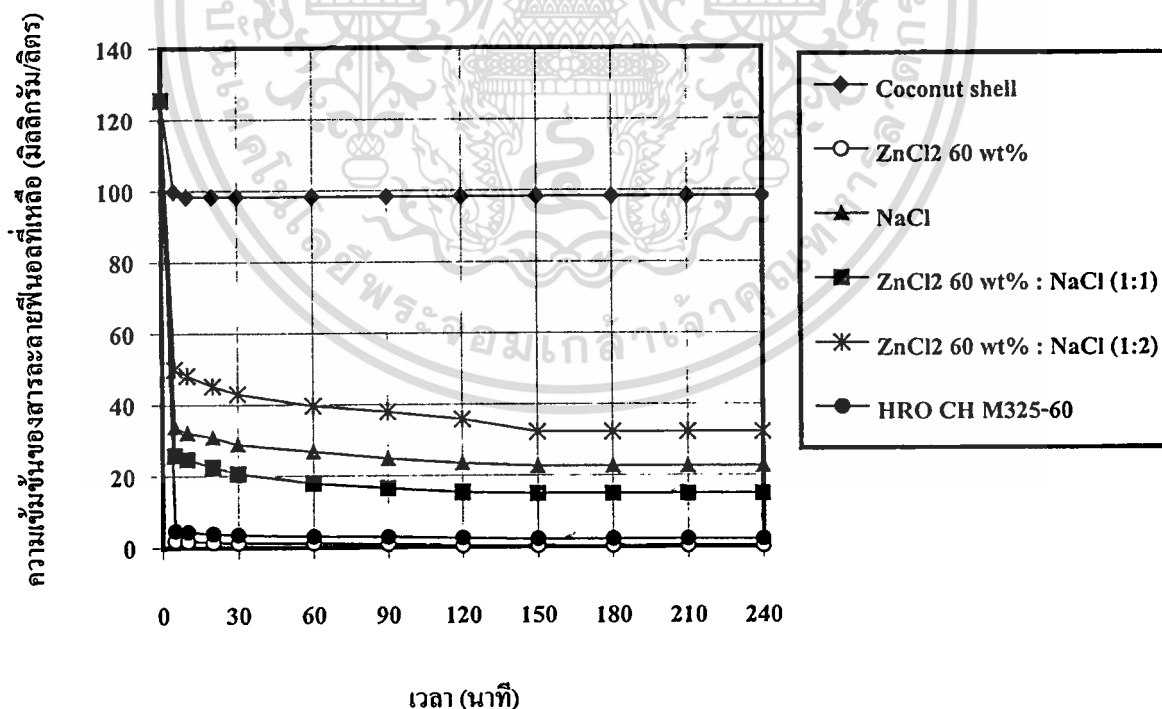
การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสถานะที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.2 และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) แสดงดังรูปที่ 5.18

จากรูปที่ 5.18 และข้อมูลการทดลองที่แสดงในภาคผนวก ก.4 เมื่อทำการดูดซับสารละลายฟีนอลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) 125.48 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสถานะที่เหมาะสม และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) สังเกตได้ว่ามีอัตราการดูดซับสารละลายฟีนอลที่เร็วมากในช่วงเวลา 5 นาทีแรกจากนั้นจะเริ่มลดลงและคงที่เมื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับโดยสังเกตได้จากความชันของกราฟที่ได้ สำหรับกะลามะพร้าวจะมีความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลลดลงเหลือ 98.36 มิลลิกรัม/ลิตร ที่เวลาการดูดซับ 10 นาที และจะคงที่ไปจนถึงเวลาการดูดซับ 240 นาทีนั้น แสดงว่าเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าว คือ 10 นาที

คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) มีลักษณะของกราฟที่เหมือนกัน โดยสังเกตได้ว่าในช่วงเวลา 5 นาทีแรกกราฟจะมีความชันสูงมากจากนั้นจะเริ่มลดลงและคงที่เมื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลาการดูดซับ 150 นาทีไปจนถึง 240 นาที แสดงว่าเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับสารละลายฟีนอลของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ ไม่ต่างกันเท่าไรนัก อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) คือ 150 นาที โดยคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น จะมีความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลลดลงเหลือเพียง 0.36 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) จะมีความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลลดลงเหลือ 2.15 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับที่ดีโดยจะสอดคล้องกับผลการทดลองการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรของรูพรุนรวม ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.3

ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิด์คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิด์ อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิด์ อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด จะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ 150 นาที เช่นเดียวกัน สำหรับที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลอื่น ๆ จะมีเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับเช่นเดียวกับที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 125.48 มิลลิกรัม/ลิตร คือ 150 นาที รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4



รูปที่ 5.18 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 125.48 มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.2 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับ

จากข้อมูลผลทดลองที่แสดงในภาคผนวก ก.4 ตารางที่ ก.14-ก.43 พบว่าที่ทุกค่าความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เท่ากัน คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น จะมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายฟีนอลได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นตามลำดับ แต่ใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ส่วนกะลามะพร้าวจะมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายฟีนอลต่ำที่สุด

ที่ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 125.48 มิลลิกรัม/ลิตร คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น สามารถดูดซับสารละลายฟีนอลให้มีความเข้มข้นเหลือเพียง 0.36 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้มีปริมาณ ฟีนอลไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร [4]

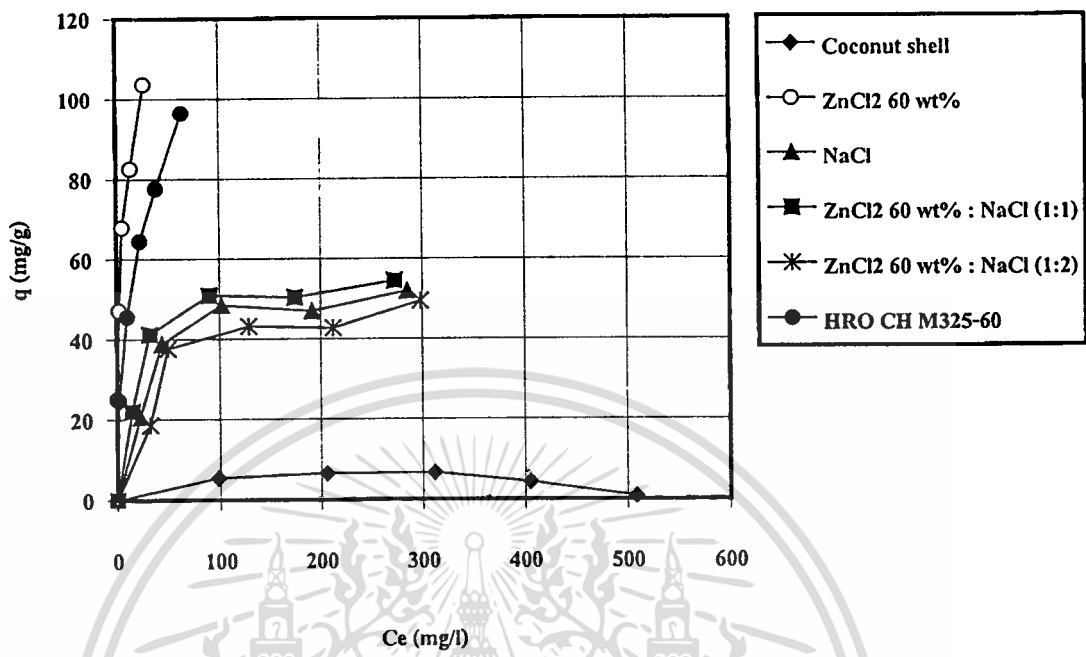
5.9.3 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

จากข้อมูลปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอล (q) ที่แสดงในภาคผนวก ก.4 สามารถหาไอโซเทอมการดูดซับซึ่งแสดงในรูปที่ 5.19 พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น จะมีค่าปริมาณการดูดซับสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ โดยสังเกตจากความชันของกราฟที่สูงกว่าที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนรวมในตารางที่ 5.3

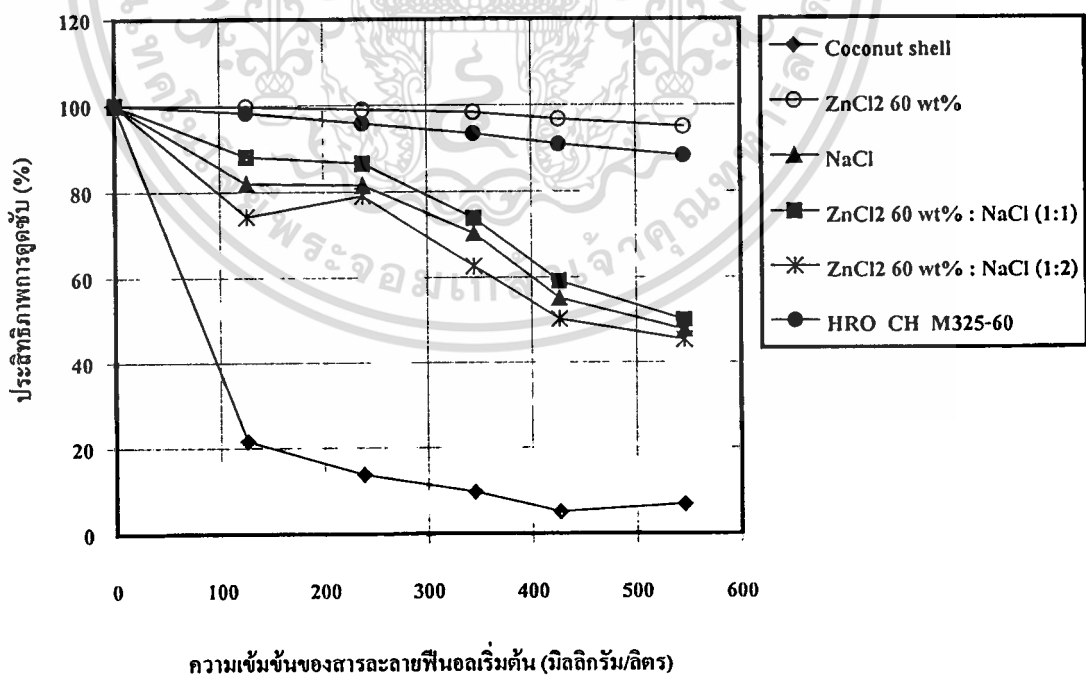
จากข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับ ที่แสดงในภาคผนวก ก.4 สามารถหาประสิทธิภาพการดูดซับซึ่งแสดงในรูปที่ 5.20 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นเท่ากันของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นสูงกว่าค่าของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ตามลำดับ แต่ใกล้เคียงกับค่าของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ส่วนกะลามะพร้าวจะมีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรของรูพรุนรวม ที่แสดง

เอกสารในตารางที่ 5.3 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 ไอโซเทอมการดูดซับสารละลายฟีนอล



รูปที่ 5.20 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich

รูปที่ 5.21-5.32 และภาคผนวก ก.4 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich สามารถหาความชันและจุดตัดของกราฟดังได้กล่าวมาแล้วในทฤษฎีการดูดซับ เพื่อใช้สำหรับคำนวณปริมาณของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (q_m) และค่าคงที่ (b) ของสมการ Langmuir ค่าคงที่การดูดซับ (K) และค่าคงที่ (1/n) ของสมการ Freundlich ดังแสดงในตารางที่ 5.4

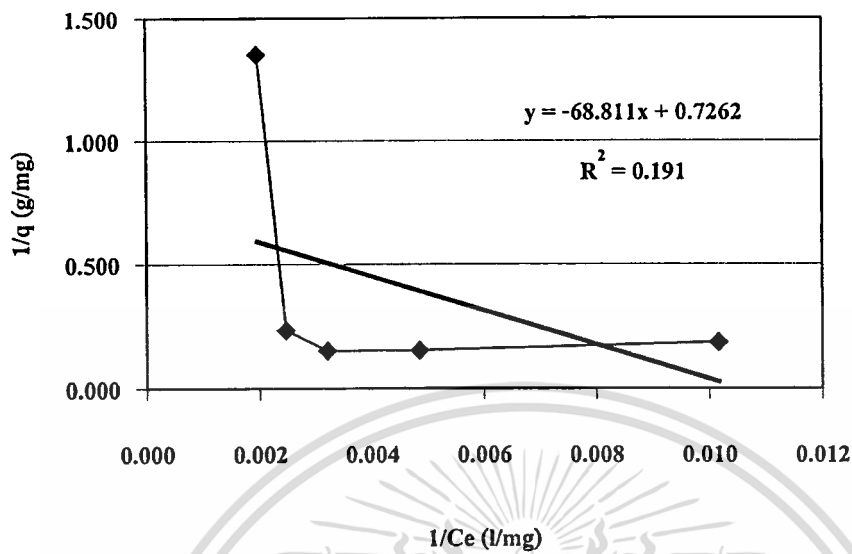
จากตารางที่ 5.4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ของกะลามะพร้าวจากสมการของ Langmuir เท่ากับ 0.191 และเมื่อใช้สมการของ Freundlich มีค่าเท่ากับ 0.3465 ซึ่งต่ำมาก จึงไม่มีความเหมาะสมกับสมการ Langmuir หรือ Freundlich ดังนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่ากะลามะพร้าวมีลักษณะการดูดซับสารละลายฟีนอลแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น สำหรับค่า q_m มีค่าเท่ากับ 1.377 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้จากคาร์บอนกัมมันต์ แสดงว่ากะลามะพร้าวมีการดูดซับต่ำ และเนื่องจากค่าคงที่ b และค่าคงที่การดูดซับ เป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิการดูดซับแต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการดูดซับจึงไม่อาจวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าคงที่ทั้งสองได้ ส่วนค่าคงที่ 1/n เท่ากับ -0.8408 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 มาก แสดงว่าที่สภาวะสมดุลปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวจะลดลงที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) เมื่อใช้สมการของ Langmuir เท่ากับ 0.9446 และ 0.9632 ตามลำดับ และเมื่อใช้สมการของ Freundlich มีค่าเท่ากับ 0.9946 และ 0.9997 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลการดูดซับมีความเหมาะสมกับสมการของ Freundlich กว่าสมการของ Langmuir เพราะค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าลักษณะการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น เมื่อพิจารณาค่า q_m พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าค่าที่ได้จากกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสารกระตุ้นชนิดอื่น ๆ แสดงว่าคาร์บอนกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีการดูดซับดีกว่า ส่วนค่าคงที่ 1/n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าที่สภาวะสมดุลปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของคาร์บอนกัมมันต์ทั้งสองชนิดจะสูงขึ้นที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5.19 และตารางที่ ก.44

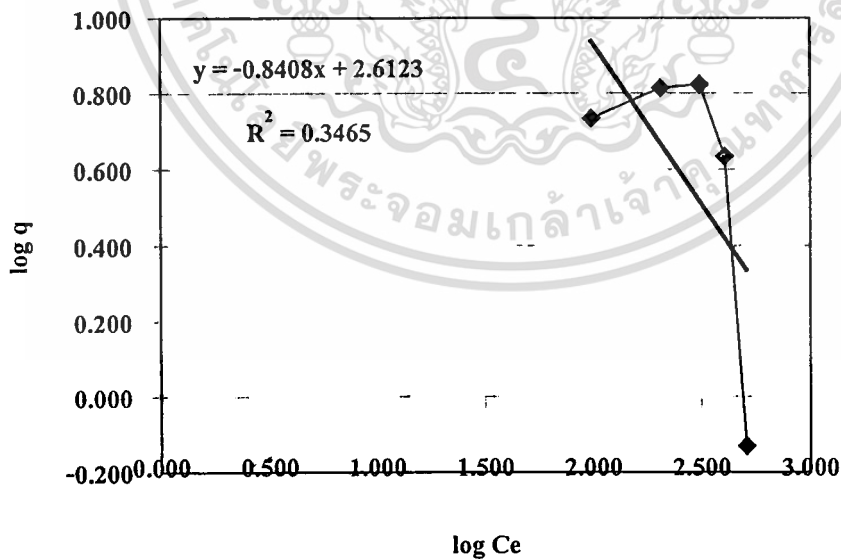
คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสารกระตุ้นชนิดอื่น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่เหมาะสมกับสมการของ Langmuir แสดงว่าลักษณะการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และมีค่า q_m ใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการดูดซับใกล้เคียงกัน ส่วนค่า 1/n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าที่สภาวะสมดุลปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลจะสูงขึ้นที่ความเข้มข้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

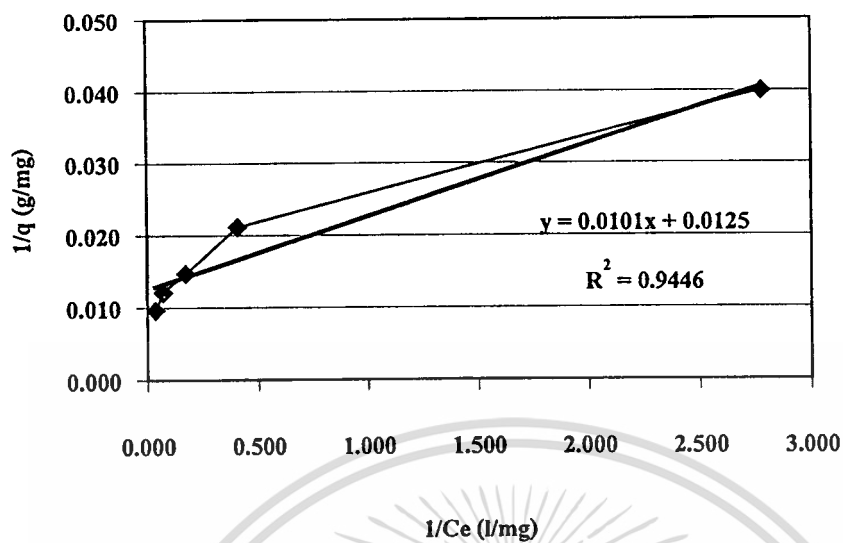


รูปที่ 5.21 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของกะลามะพร้าว

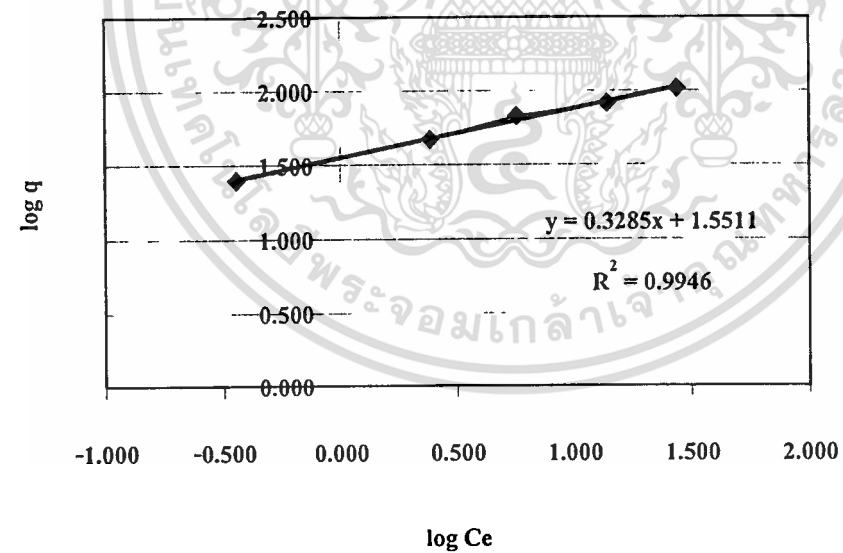


รูปที่ 5.22 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

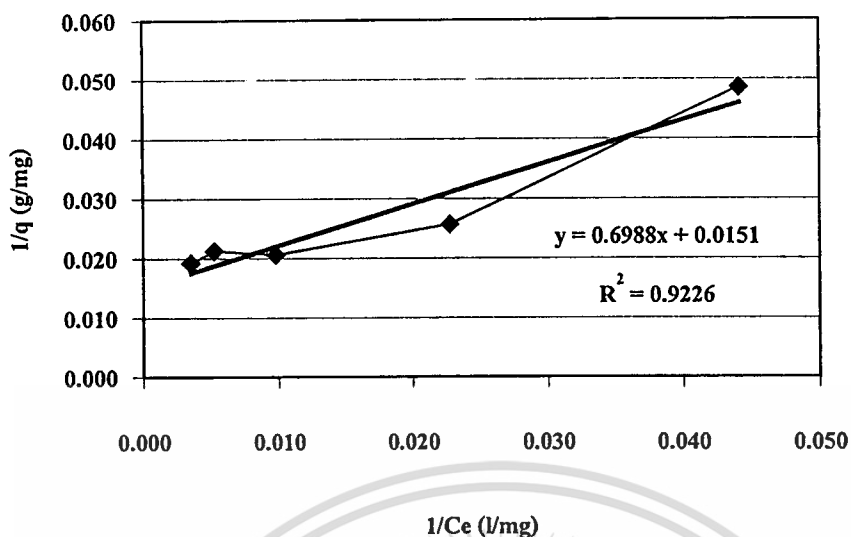


รูปที่ 5.23 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

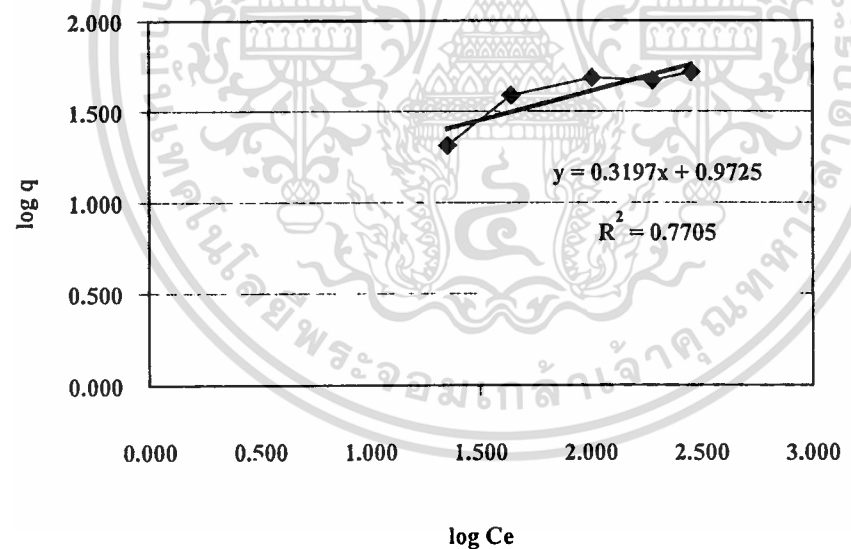


รูปที่ 5.24 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60%โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

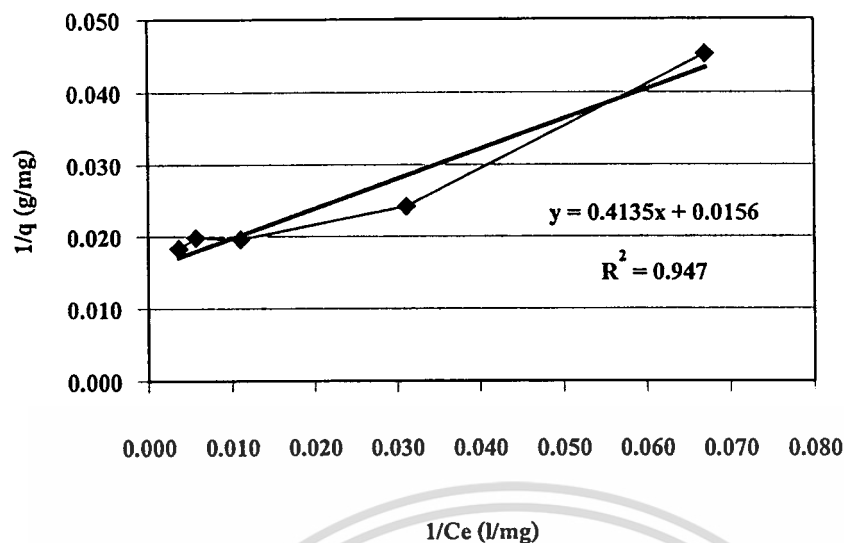
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



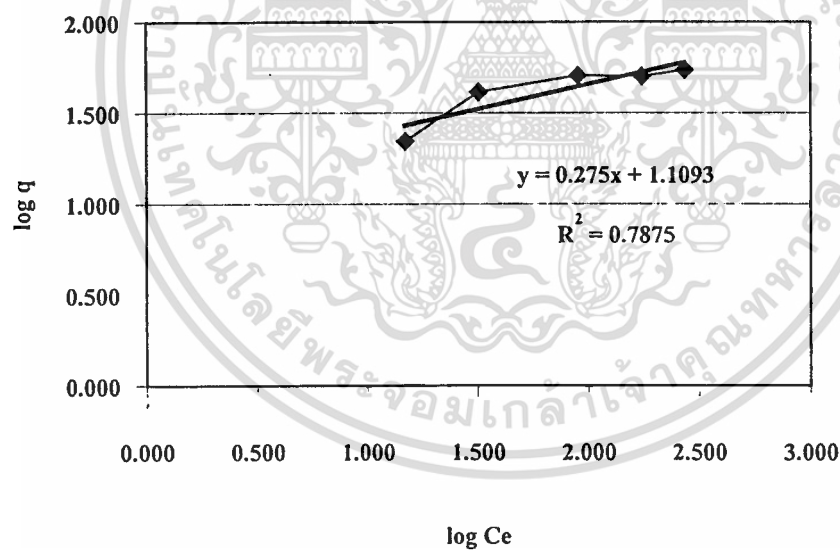
รูปที่ 5.25 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัวเป็นสารกระตุ้น



รูปที่ 5.26 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมิตัวเป็นสารกระตุ้น

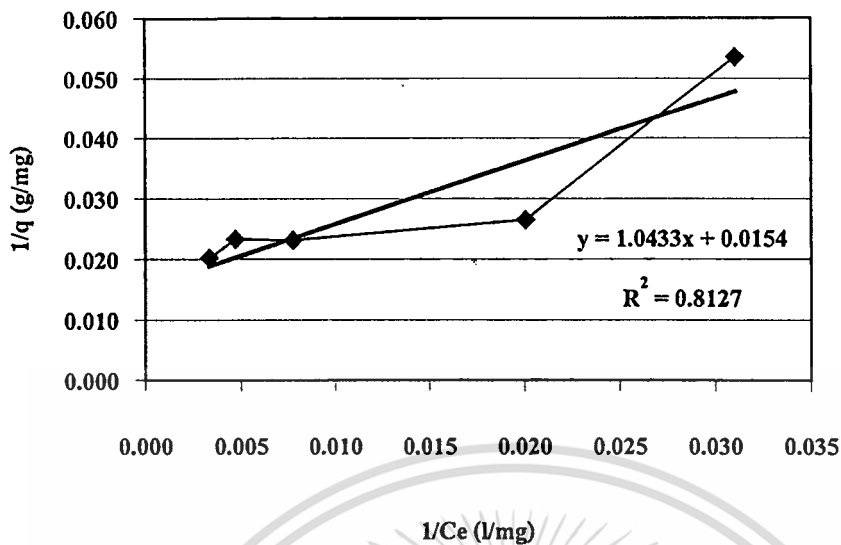


รูปที่ 5.27 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

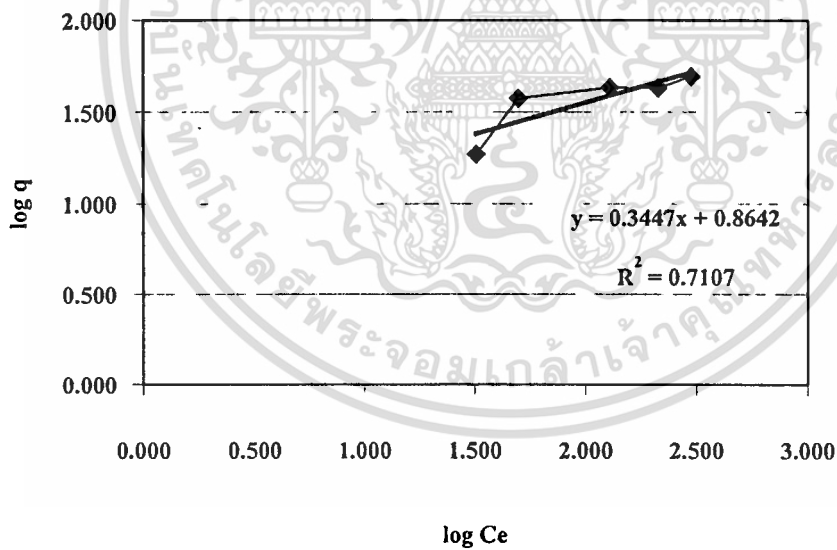


รูปที่ 5.28 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

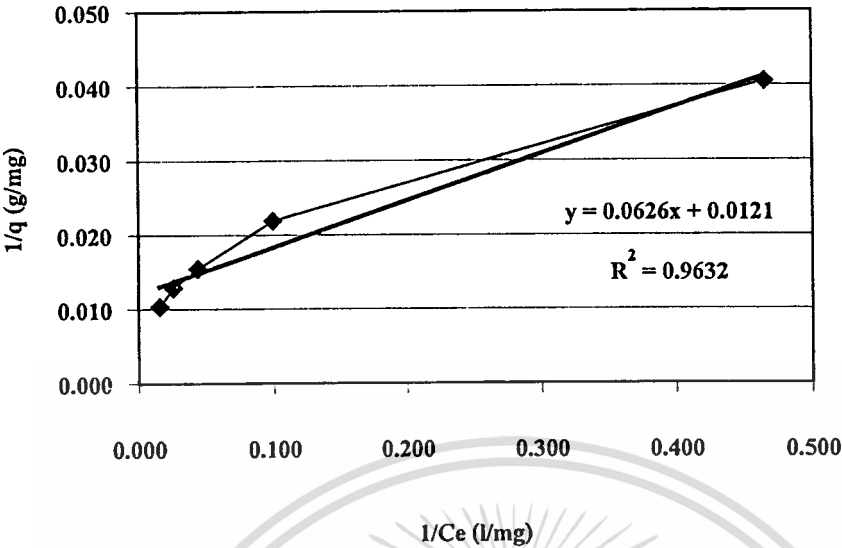
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



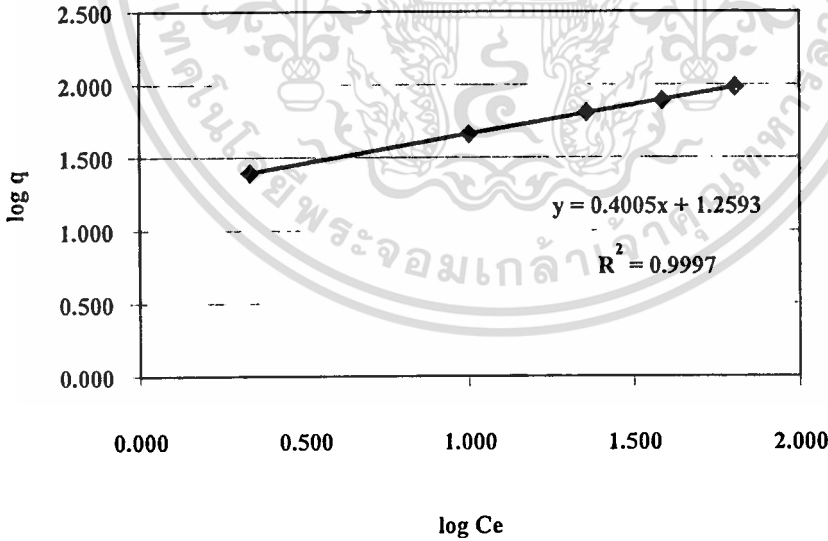
รูปที่ 5.29 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่าง ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น



รูปที่ 5.30 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น



รูปที่ 5.31 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)



รูปที่ 5.32 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

ตารางที่ 5.4 ค่าตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการของ Langmuir และ Freundlich

ตัวอย่าง	Langmuir			Freundlich		
	q_m	b	R^2	K	1/n	R^2
กะลามะพร้าว	1.377	-0.011	0.1910	409.543	-0.8408	0.3465
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก	80.000	1.238	0.9446	35.571	0.3285	0.9946
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิมตัว	66.225	0.022	0.9226	9.386	0.3197	0.7705
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	64.103	0.038	0.9470	12.862	0.2750	0.7875
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิมตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	64.935	0.015	0.8127	7.315	0.3447	0.7107
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	82.645	0.193	0.9632	18.168	0.4005	0.9997

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

6.1.1 สภาพที่ใช้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวในงานวิจัยนี้ใช้สภาวะต่าง ๆ ดังสรุปในตารางที่ 4.1

6.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติ

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่แสดงในตารางที่ 4.1 และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) สรุปได้ว่า

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่อง TGA ของกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนในเซชันและสารกระตุ้นที่ใช้มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณสมบัติในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ เพราะอุณหภูมิและสารกระตุ้นจะทำให้องค์ประกอบจำพวก ความชื้น สารระเหย และน้ำมันดินที่มีอยู่ในกะลามะพร้าวหลุดออกมาในระหว่างกระบวนการคาร์บอนในเซชัน โดยเฉพาะสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นจะเป็นตัวกำจัดองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วออกจากกะลามะพร้าว

การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวโดย SEM พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) มีความหนาแน่นของจำนวนรูพรุนใกล้เคียงกันและมากกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก และกะลามะพร้าว

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรของรูพรุนรวม พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,193 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.544 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,160 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.510 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสารกระตุ้นชนิดอื่น ๆ และกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงคุณภาพของธาตุด้วยเทคนิค EPMA พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักไม่มีโลหะสังกะสีซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารละลายซิงค์คลอไรด์เหลือตกค้างอยู่ คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชันที่อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียสไม่มีโลหะโซเดียมซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เหลือตกค้าง แต่คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชัน อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนักยังคงมีโลหะสังกะสีและโลหะโซเดียมตกค้างอยู่ เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) มีโลหะโพแทสเซียมอยู่ ซึ่งสันนิษฐานว่าบริษัทผู้ผลิตอาจใช้สารประกอบจำพวกโพแทสเซียมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ จึงยังคงมีโลหะโพแทสเซียมตกค้างอยู่

6.1.3 การดูดซับสารละลายฟีนอล

จากการศึกษาเวลาในการดูดซับสารละลายฟีนอลพบว่า เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของกะลามะพร้าว คือ 10 นาที ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากสภาวะที่เหมาะสมและคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้าใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลา 150 นาที

ที่ทุกค่าความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เท่ากัน คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น จะมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายฟีนอลได้ดีกว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชัน อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชันเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชัน อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นตามลำดับ แต่ใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ส่วนกะลามะพร้าวจะมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายฟีนอลต่ำที่สุด

ที่ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 125.48 มิลลิกรัม/ลิตร คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น ปริมาณ 1.000 กรัม สามารถดูดซับสารละลายฟีนอลเหลือ 0.36 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าภายใต้มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้มีปริมาณฟีนอลไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร [4]

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการ Langmuir และ Freundlich พบว่าการดูดซับของกะลามะพร้าวไม่เหมาะสมกับสมการของ Langmuir และ Freundlich ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิมัลชัน และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่าง

ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้นมีความเหมาะสมกับสมการของ Langmuir

คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60%โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น และคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) มีความเหมาะสมกับสมการของ Freundlich

ตารางที่ 6.1 แสดงปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

ตารางที่ 6.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

ตัวอย่าง	C _i (mg/l)	C _e (mg/l)	q (mg/g)
กะลามะพร้าว	125.48	98.36	5.42
	238.41	205.82	6.52
	345.07	311.79	6.66
	426.63	405.07	4.31
	545.83	508.81	0.74
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	125.48	0.36	25.02
	238.41	2.45	47.19
	345.07	5.73	67.87
	426.63	13.94	82.54
	545.83	27.67	103.63
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	125.48	22.67	20.56
	238.41	43.87	38.91
	345.07	102.21	48.57
	426.63	191.64	47.00
	545.83	285.67	52.03
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	125.48	14.91	22.11
	238.41	32.08	41.27
	345.07	90.15	50.98
	426.63	174.48	50.43
	545.83	272.99	54.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	q (mg/g)
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	125.48	32.22	18.65
	238.41	49.85	37.71
	345.07	128.96	43.22
	426.63	212.54	42.82
	545.83	298.36	49.49
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	125.48	2.15	24.67
	238.41	10.06	45.67
	345.07	22.82	64.45
	426.63	38.72	77.58
	545.83	64.03	96.36

เมื่อ q = ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
 C_0 = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1. ชิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่ดีในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ แต่ชิงค์คลอไรด์มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนสูงจึงทำให้เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องมีความทนทานสูง
- 2. คาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้โดยใช้สารละลายชิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:2 อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส และเวลาการกระตุ้น 60 นาที มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านการบำบัดน้ำทิ้งที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยา เพียรวิจิตร. เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเคียนสโตร์. 2525.
- [2] Kirk R.E. and Othmer D.F. **Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology**. New York : John Wiley & Sons. 1985. vol. 18. pp. 592-602.
- [3] กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่องฟีนอล กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2542.
- [4] ธงชัย พรณสวัสดิ์, วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิกิติ. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540
- [5] ชีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. "การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น." วิศวกรรมสารลาดกระบัง, ปีที่ 16, ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2542. หน้า 141-146.
- [6] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532.
- [7] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York : Chemical Publishing Co. Inc. 1974. pp. 87-191.
- [8] Samuel D.F. and Osman M.A. **Adsorption Processes for Water Treatment**. Stoneham : Butterworth Publishers. 1987. pp. 14-23.
- [9] Child R. **Coconut**. London : Long Group. 1974. pp. 307-309.
- [10] Sakulpanich T., Thitthiwong P., Khummongkol D. and Tangsathitkulchai C. "Gasification of Coconut Shell with a Purpose of Charcoal Production." The Regional Symposium on Petrochemical Technology. Chulalongkorn University. 1987, 14-17 December. pp. 7-15.
- [11] Douglas M.R. **Encyclopedia of Separation Technology**, A Kirk-Othmer Encyclopedia. New York : John Wiley & Sons 1997. vol. 1. pp. 72-172.
- [12] Smisek M. **Activated Carbon**. New York : Elsevier Publishing. 1970. pp. 10-28.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Berl E. "Formation and Properties of Activated Carbon." Transactions Faraday Society. 1938. vol. 34. pp. 1040-1056.
- [14] มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ ก. วีสรรณ์. 2527. เล่ม 2. หน้า 189-219.
- [15] Gregg S.J. and Sing K.S.W. **Adsorption Surface Area and Porosity**. 2nd ed. New York : Academic Press A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich Publishers. 1982. p. 25.
- [16] Schweitzer P.A. **Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers**. New York: McGrawHill. 1979. p. 40.
- [17] Jacquelin I. and Kroschwitz. **Encyclopedia of Chemical Technology**. 4th ed. New York : John Wiley & Sons. 1991. vol. 1, p. 542.
- [18] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. "ถ่านกัมมันต์." ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1987, ฉบับที่ 107, หน้า 12-13.
- [19] Kirk R.E. and Othmer D.F. **Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology**. New York : John Wiley & Sons. 1978. vol. 4. pp. 561-569.
- [20] Hu Z. and Srinivasan.M.P. "Preparation of High-Surface-Area Activated Carbons from Coconut Shell." Microporous and Mesoporous Materials. vol. 27, May 1999. pp. 11-18.
- [21] Tharapong V. and Thanapon L. "Production of Activated Carbon from Used Tires by Superheated Steam and Carbondioxide Activation in a Fixed Bed Reactor." J. Sci. Res.Chula. Univ. vol. 24, no. 2, 1999. pp. 85-102.
- [22] Teng H. and Hsieh C.T. "Influence of Surface Characteristics on Liquid-Phase Adsorption of Phenol by Activated Carbons Prepared from Bituminous Coal." Ind. Eng. Chem. Res. vol. 37, 1998. pp. 3618-3624.
- [23] Teng H. and Yeh T.S. "Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with Zinc Chloride Activation." Ind. Eng. Chem. Res. vol. 37, 1998. pp. 58-65.
- [24] Ahmadpour A. and Do D.D. "The Praparation of Activated Carbons from Macadamia Nut Shell by Chemical Activation." Carbon. vol. 35, no. 12, 1997. pp. 1723-1732.
- [25] Warhurst A.M., Fowler G.D., McConnachie G.L. and Pollard S.J.T. "Pore Structure and Adsorption Characteristics of Steam Pyrolysis Carbons from Moringa Oleifera." Carbon. vol. 35, no. 8, 1997. pp. 1039-1045.

- [26] Avom J., Ketcha M. J., Noubactep C. and Germain P. "Adsorption of Methylene Blue from an Aqueous Solution on to Activated Carbons from Palm-Tree Cobs." *Carbon*. vol. 35, no. 3, 1997. pp. 365-369.
- [27] Ahmadpour A. and Do D.D. "The Preparation of Active Carbons from Coal by Chemical and Physical Activation." *Carbon*. vol. 34, no. 4, 1996. pp. 471-479.
- [28] Singh B., Madhusudhanan D.V., Nath R. and Rao N.B.S.N. "Active Carbon for Removal of Toxic Chemicals from Contaminated Water." *Carbon*. vol. 34, no. 3, 1996. pp. 327-330.
- [29] Usmani T.H., Ahmed T.W., Ahmed S.Z. and Yousufzai A.H.K. "Preparation and Characterization of Activated Carbon from a Low Rank Coal." *Carbon*. vol. 34, no. 1, 1996. pp. 77-82.
- [30] วีร จ้างลองราษฎร์. "การนำบักสารอินทรีย์และฟีนอลด้วยระบบเอสบีอาร์-ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2539.
- [31] มานัด แก้วถาวร. "ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2537.
- [32] วิชัย ธรรมสาธิต และ เกษม นัตรมณีฤกษ์. "การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2534.
- [33] ดำรง ขุ่มมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. "การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น." วิศวกรรมสารเกษตรอุตสาหกรรม, ฉบับที่ 6, 2533. หน้า 96-99.
- [34] คณิต กฤษณังกูร และ จงจิตร หิรัญลาภ. "การทำถ่านกัมมันต์จากแกลบ." วารสารวิทยาศาสตร์, ปีที่ 38, ฉบับที่ 5-6, 2527. หน้า 276-284.
- [35] Seader J.D. and Henley E.J. **Separation Process Principles**. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1998. p.795.
- [36] Marshall S. **Handbook of Toxic and Hazardous Chemical and Carcinogens**. Park Ridge, NJ : Noyes. 1991. vol. 2. pp. 1283-1285.
- [37] Alan T. **Encyclopedia of Analytical Science**. London : Academic Press. 1995. vol. 7. pp. 3928-3936.

- [38] Fedorak, P.M. and Hrudey. **Anaerobic Degradation of Phenolic Compounds with Applications to Treatment of Industrial Wastewaters.** Florida : CRC Press. 1988. pp.169-226.
- [39] American Standard of Testing Materials. **ASTM Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke.** Philadelphia : Eston Printed 1989. vol. 05.05. pp. 323-331.
- [40] American Water Works Association. **ANSI/AWWA B600-96. AWWA Standard for Powdered Activated Carbon.** Colorado. 1996. pp. 1-19.
- [41] **Thermogravimetric Analyzer Operator Manual.** TA Instruments Inc. New Castle. 1992.
- [42] Douglas A.S., James H.F. and Timothy A.N. **Principles of Instrumental Analysis.** 5th ed. Philadelphia : Saunders College Publishing. 1998. pp. 798-801.
- [43] นฤปวัจน์ เงินวิจิตร. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้ **Electron Probe Microanalysis.** ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์)
- [44] Whiston C. **X-Ray Methods.** New York : John Wiley & Sons. 1991.
- [45] **Gas Sorption System Manual.** Quantachrome Corporation Autosorb 1.
- [46] Barbara E. and Stephen H. **Ullmann 's Encyclopedia of Industrial Chemistry.** 5th ed. New York : VCH. 1996. vol. A28. pp.537-538.
- [47] Barbara E., Stephen H., William R. and Gail S. **Ullmann 's Encyclopedia of Industrial Chemistry.** 5th ed. New York : VCH. 1993. vol. A24. pp.317-339.
- [48] Whistler L.R. and Teng J. **Handbook of Pulp and Paper Technology.** New York : Van Nostrand. 1970. p. 20.
- [49] Illan-Gomez M.J., Garcia-Garcia C., Salinas-Martinez de Lecea C. and Linares-Solano A. "Activated Carbons from Spanish Coal Chemical Activation." **Energy Fuels.** vol. 10. 1996. p.1108.

ตารางที่ ก.2 ปริมาตรร้อยละของสารระเหยของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละสารระเหย	เฉลี่ย
กะลามะพร้าว	1	9.9177	6.2710	26.7158	26.5918
	2	9.9426	6.3114	26.4678	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt%	1	9.7011	9.3317	2.7259	2.7337
	2	9.7115	9.3402	2.7414	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	1	9.7358	8.7328	6.0044	6.2581
	2	9.6951	8.6471	6.5118	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt% : NaCl อิ่มตัว (1:1) โดยน้ำหนัก	1	9.6732	9.0423	2.6106	2.6288
	2	9.6335	9.0017	2.6469	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt% : NaCl อิ่มตัว (1:2) โดยน้ำหนัก	1	9.9547	7.9662	10.9193	10.0901
	2	9.9110	7.9348	10.8833	
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	1	9.5115	9.0128	4.0057	4.0438
	2	9.5278	9.0210	4.0818	

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของสารระเหยของกะลามะพร้าว จากสมการที่ 4.2

$$\text{ร้อยละของสารระเหย} = C-D$$

- เมื่อ $C =$ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป $= [(A_1 - B_1) / A_1] \times 100$
 $D =$ ร้อยละของความชื้นจากหัวข้อ 4.1.2.1
 $A_1 =$ น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนเผาไล่สารระเหย (กรัม)
 $B_1 =$ น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังเผาไล่สารระเหย (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของสารระเหย} &= C-D \\ &= \{[(9.9177-6.2710) / 9.9177] \times 100\} - 10.0538 \\ &= 26.7158 \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อเฉลี่ยค่าร้อยละของสารระเหยทั้ง 2 ครั้ง} = 26.5918$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ปริมาณร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละเถ้า	เฉลี่ย
กะลามะพร้าว	1	9.8759	8.8471	10.4173	10.4257
	2	9.8821	8.8510	10.4340	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt%	1	9.8227	8.4531	13.9432	14.0011
	2	9.8442	8.4602	14.0590	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	1	9.6779	8.2695	14.5527	14.5407
	2	9.6912	8.2832	14.5286	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt% : NaCl อิ่มตัว (1:1) โดยน้ำหนัก	1	9.7443	8.3782	14.0194	14.0878
	2	9.7625	8.3805	14.1562	
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60 wt% : NaCl อิ่มตัว (1:2) โดยน้ำหนัก	1	9.8351	8.4276	14.3109	14.3099
	2	9.8422	8.4339	14.3088	
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทาง การค้า (HRO CH M325-60)	1	9.7484	8.3412	14.4352	14.3906
	2	9.7721	8.3702	14.3459	

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าว
จากสมการที่ 4.4

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = [(E-F) / B] \times 100$$

- เมื่อ E = น้ำหนักก่อนเผาของครุชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับเถ้าที่เหลือ (กรัม)
F = น้ำหนักหลังเผาของครุชีเบลพร้อมฝาปิดก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)
B = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังจากอบไล่ความชื้น (กรัม)

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเถ้า} &= [(E-F) / B] \times 100 \\ &= [(9.8759-8.8471) / 9.8759] \times 100 \\ &= 10.4173 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อเฉลี่ยค่าร้อยละของเถ้าทั้ง 2 ครั้ง} &= 10.4257 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.4 ปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัวของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ .

ตัวอย่าง	ร้อยละของ ความชื้น	ร้อยละของ สารระเหย	ร้อยละของ เถ้า	ร้อยละของ คาร์บอนคงตัว
กะลามะพร้าว	10.0538	26.5918	10.4257	52.9287
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก	1.0819	2.7337	14.0011	82.1833
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	4.2978	6.2581	14.5407	74.9034
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	3.9115	2.6288	14.0878	79.3719
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl ₂ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	9.0562	10.0901	14.3099	66.5438
คาร์บอนกัมมันต์ ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	1.2374	4.0438	14.3906	80.3282

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าว
จากสมการที่ 4.5

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ สารระเหย} + \% \text{ เถ้า})$$

แทนค่า % ความชื้น, % สารระเหย และ% เถ้า ที่คำนวณได้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} &= 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ สารระเหย} + \% \text{ เถ้า}) \\ &= 100 - (10.0538 + 26.5918 + 10.4257) \\ &= 52.9287 \end{aligned}$$

ก. 2 ค่าการดูดซับไอโอดีน

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	650	668	659
		60	674	730	702
		90	734	712	723
		120	760	760	760
	700	30	707	677	692
		60	700	736	718
		90	770	770	770
		120	759	799	779
	800	30	824	812	818
		60	850	834	842
		90	865	861	863
		120	820	808	814
1:2	600	30	660	696	678
		60	720	704	712
		90	711	740	726
		120	790	772	781
	700	30	761	757	759
		60	810	790	800
		90	841	799	820
		120	840	830	835
	800	30	860	856	858
		60	929	915	922
		90	933	939	936
		120	850	872	861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	711	690	701
		60	738	744	741
		90	746	724	735
		120	781	777	779
	700	30	820	818	819
		60	842	830	836
		90	843	875	856
		120	750	742	746
	800	30	889	911	900
		60	890	886	888
		90	960	962	961
		120	762	770	766
1:4	600	30	730	714	722
		60	760	744	752
		90	780	742	761
		120	790	776	783
	700	30	841	819	830
		60	849	851	850
		90	849	861	855
		120	798	760	779
	800	30	900	930	915
		60	750	940	945
		90	750	948	949
		120	821	807	814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดซับ ไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
เป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	530	522	526
		60	529	551	540
		90	555	541	548
		120	488	496	492
	700	30	552	538	545
		60	591	582	587
		90	541	560	551
		120	601	582	592
	800	30	541	580	560
		60	570	573	572
		90	580	586	583
		120	552	533	543
1:2	600	30	570	550	560
		60	592	564	578
		90	586	610	598
		120	522	511	517
	700	30	609	626	618
		60	642	631	636
		90	570	554	562
		120	629	655	642
	800	30	570	580	575
		60	611	604	608
		90	619	639	629
		120	585	572	578

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดซับไอโอดีนของการ์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
เป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	572	564	568
		60	611	591	601
		90	611	607	609
		120	560	552	556
	700	30	611	630	621
		60	638	632	635
		90	490	492	491
		120	630	656	643
	800	30	560	579	570
		60	609	592	601
		90	721	688	705
		120	521	524	523
1:4	600	30	580	550	565
		60	592	608	600
		90	602	623	612
		120	583	559	571
	700	30	658	582	620
		60	641	628	630
		90	615	603	609
		120	680	661	671
	800	30	582	573	578
		60	650	633	642
		90	606	580	593
		120	591	620	606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย
ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน
1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามาพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	352	367	360
		60	371	377	374
		90	398	424	411
		120	358	350	354
	700	30	447	436	442
		60	455	448	452
		90	467	460	464
		120	409	424	417
	800	30	449	455	452
		60	421	418	420
		90	396	378	387
		120	300	313	307
	600	30	441	435	438
		60	430	445	438
		90	438	444	441
		120	408	384	396
1:2	700	30	458	441	450
		60	443	461	455
		90	530	522	526
		120	456	451	444
	800	30	407	428	418
		60	401	390	396
		90	311	340	326
		120	288	320	304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย
ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน
1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	462	468	465
		60	475	459	467
		90	528	551	540
		120	378	413	396
	700	30	422	404	413
		60	412	420	416
		90	480	503	492
		120	392	415	404
	800	30	379	396	388
		60	298	324	311
		90	290	299	295
		120	280	287	298
1:4	600	30	421	420	416
		60	430	407	419
		90	489	512	501
		120	332	443	388
	700	30	438	415	427
		60	422	437	430
		90	464	455	460
		120	398	405	402
	800	30	368	361	365
		60	350	362	356
		90	276	299	288
		120	258	265	262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	341	358	350
		60	405	398	402
		90	372	378	375
		120	360	355	358
	700	30	339	350	345
		60	337	318	328
		90	276	392	284
		120	275	281	278
	800	30	331	320	326
		60	292	319	302
		90	287	302	295
		120	266	276	271
1:2	600	30	364	351	358
		60	440	432	436
		90	420	443	432
		120	372	385	379
	700	30	361	352	357
		60	329	345	337
		90	324	305	315
		120	281	294	288
	800	30	348	326	337
		60	323	335	329
		90	295	296	296
		120	275	287	281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย
ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน
1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	374	369	372
		60	408	385	397
		90	394	381	388
		120	390	375	383
	700	30	368	359	364
		60	340	344	342
		90	313	328	321
		120	284	298	291
	800	30	339	320	330
		60	327	300	314
		90	320	307	314
		120	300	287	294
1:4	600	30	365	368	367
		60	408	425	417
		90	293	270	282
		120	214	228	221
	700	30	334	320	327
		60	302	325	314
		90	299	296	298
		120	262	298	282
	800	30	300	323	312
		60	309	285	297
		90	279	298	289
		120	294	275	285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง				ค่าความเข้มข้น ไอโอดีนที่อ่านได้ จากกราฟมาตรฐาน (นอร์มอล)	ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
กะลามะพร้าว	2.0050	0.092	0.093	0.093	0.0927	0.073 *	191.61
คาร์บอนกัมมันต์ ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	2.0022	0.032	0.032	0.032	0.032	0.0026	935.47

*เจือจาง 10 เท่า

ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนของกะลามะพร้าว
จากสมการที่ 4.8

ค่าการดูดซับไอโอดีน = [(H₁-H₂) / m] x [12693D₁]

- เมื่อ H₁ = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)
H₂ = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)
m = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)
D₁ = ค่าแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor) จากตารางที่ 4.2

ค่า H₁ มาจากการหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียม
ไฮโอซัลเฟตและสารละลายไอโอดีนในหัวข้อ 4.3.2.4
คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตจากสมการ
ที่ 4.6

N₁ = (P₁ x R) / S

เมื่อ N₁ = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P₁ = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล).

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมโครโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$$\begin{aligned} N_1 &= (P_1 \times R) / S \\ &= (0.1 \times 25) / 25 \\ &= 0.1 \text{ นอร์มอล} \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมโครโอซัลเฟตจากสมการที่ 4.7

$$N_2 = (S \times N_1) / I$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมโครโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมโครโอซัลเฟต (นอร์มอล)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

$$\begin{aligned} N_2 &= (S \times N_1) / I \\ &= (24.6 \times 0.1) / 25 \\ &= 0.0984 \text{ นอร์มอล} \end{aligned}$$

ดังนั้น $H_1 = N_2 = 0.0984$ นอร์มอล

ค่า H_2 มาจากวิธีการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนในหัวข้อ 4.3.2.6 และจากกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีนในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.25

ซึ่งจากการเขียนกราฟที่ได้ในรูปที่ ก.25 จะได้สมการเชิงเส้น คือ

$$y = 12.765x - 0.0006$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

จากตารางที่ ก.9 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.0927 แทนค่าค่าการดูดกลืนแสงในสมการเชิงเส้น

$$y = 12.765x - 0.0006$$

$$0.0927 = 12.765x - 0.0006$$

$$x = (0.0927 + 0.0006) / 12.765$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะของหน่วยงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0073$$

เนื่องจากเจือจางสารละลายไอโอดีน 10 เท่า ในการหาค่าการดูดกลืนแสง

$$x = 0.0073 \times 10$$

$$= 0.073$$

ดังนั้น ค่า $H_2 = x = 0.073$ นอร์มอล ดังตารางที่ ก.9

แทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ 4.8

$$\text{ค่าการดูดซับไอโอดีน} = [(H_1 - H_2) / m] \times [12693 D_1]$$

$$= [(0.0984 - 0.073) / 2.0050] \times [12693 \times 1.1916]$$

$$= 191.61 \text{ มิลลิกรัม/กรัม}$$

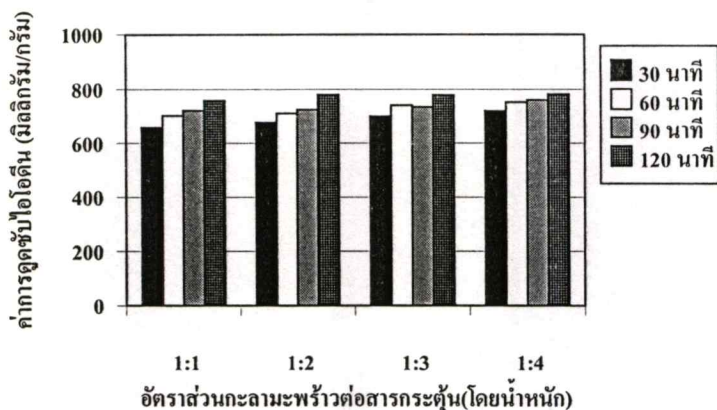
ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 191.61 มิลลิกรัม/กรัม ดังตารางที่ ก.9

หมายเหตุ ค่า D_1 ได้มาจากตารางที่ 4.2 ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

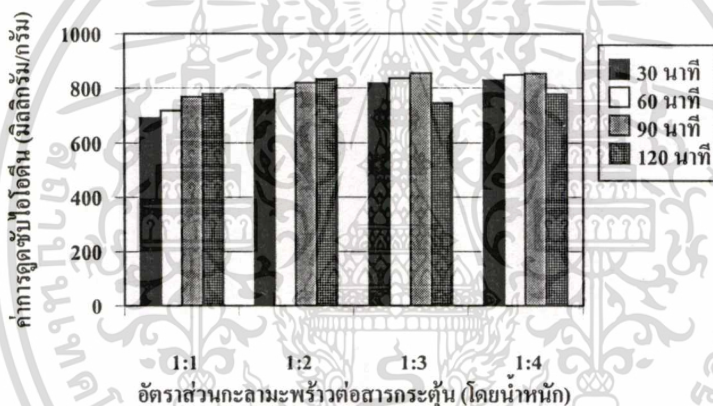
$$\text{จากตารางค่า } H_2 = 0.0320 \text{ ได้ค่า } D_1 = 0.9300$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าค่า } H_2 = 0.073 \text{ ได้ค่า } D_1 &= (0.9300 \times 0.073) / 0.0320 \\ &= 2.1216 \end{aligned}$$

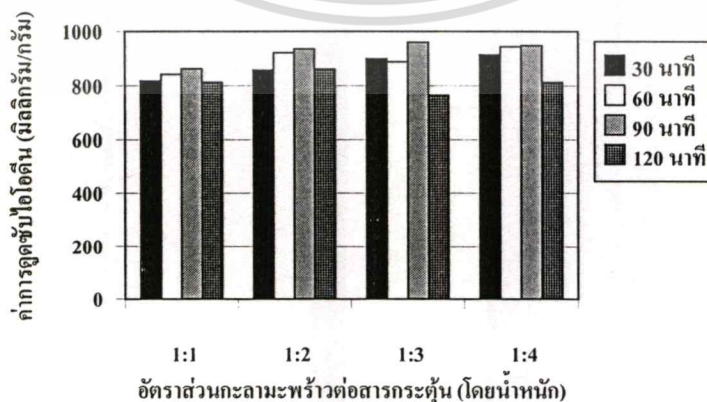
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่า } D_1 &= 2.1216 - 0.930 \\ &= 1.1916 \end{aligned}$$



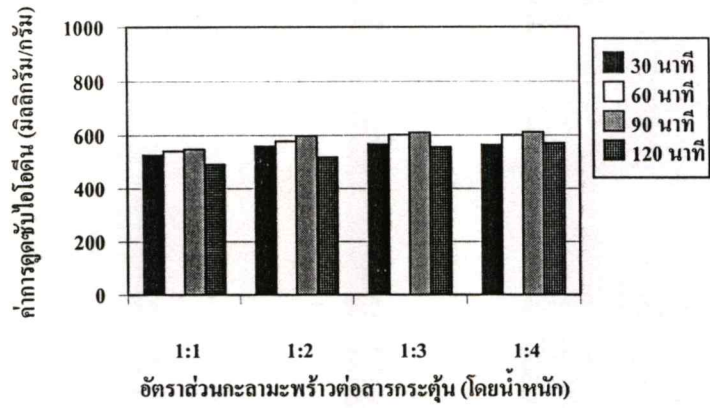
รูปที่ ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส



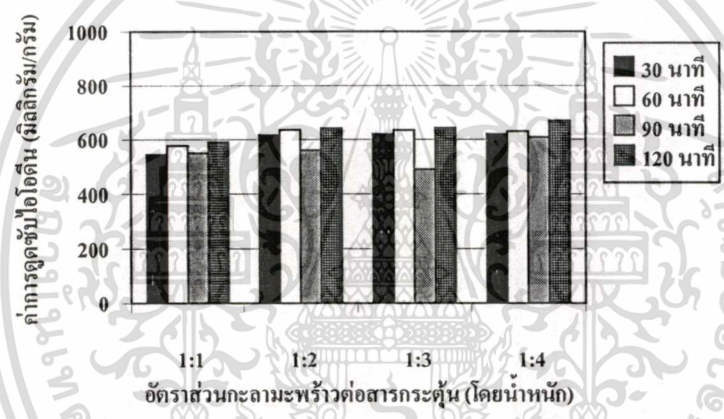
รูปที่ ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส



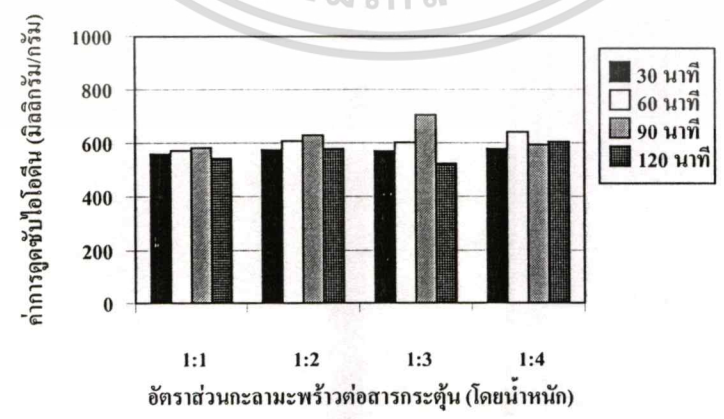
รูปที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ เอกสารนี้เป็นเอกสาร 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 60 องศาเซลเซียส

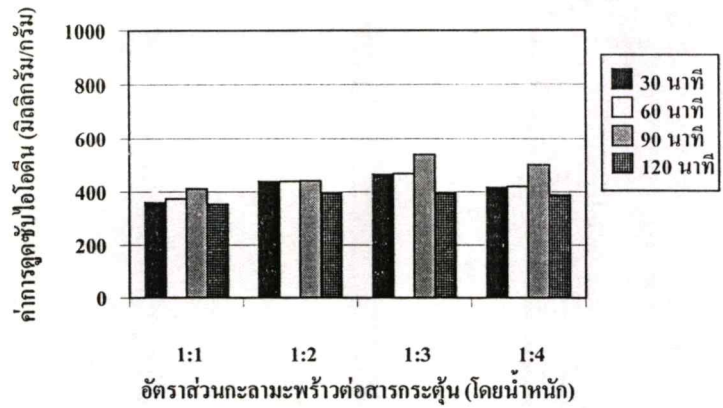


รูปที่ ก.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 70 องศาเซลเซียส

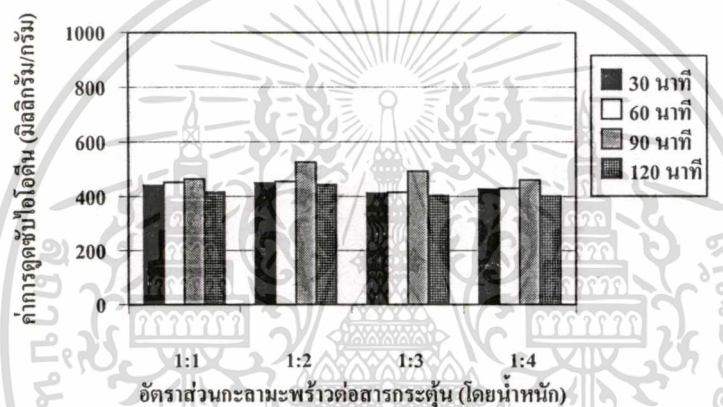


รูปที่ ก.6 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 80 องศาเซลเซียส

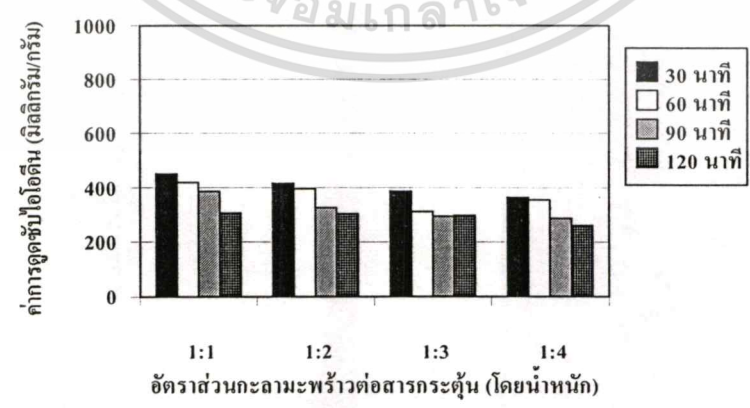
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

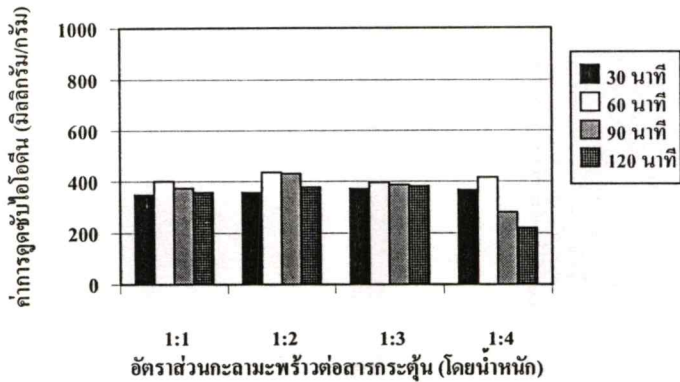


รูปที่ ก.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

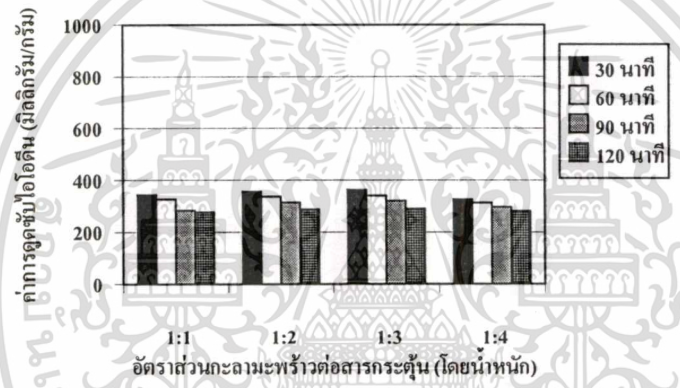


รูปที่ ก.9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

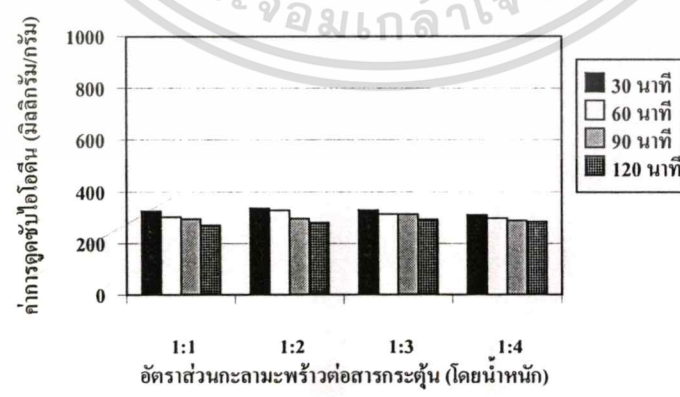
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.11 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.12 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ค่าร้อยละผลผลิต

ตารางที่ ก.10 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	50.00	49.36	49.68
		60	49.20	49.36	49.28
		90	46.28	47.32	46.80
		120	46.50	46.90	46.70
	700	30	48.04	46.73	47.36
		60	48.80	46.20	47.50
		90	44.93	45.98	45.45
		120	45.32	45.40	45.36
	800	30	45.96	44.92	45.45
		60	44.51	44.83	44.67
		90	40.11	39.85	39.98
		120	36.99	43.21	40.10
1:2	600	30	50.64	50.51	50.57
		60	49.52	49.22	49.37
		90	46.71	47.59	47.15
		120	46.40	46.59	46.50
	700	30	45.50	46.14	45.82
		60	48.50	47.18	47.84
		90	44.50	48.18	44.84
		120	44.67	44.37	44.52
	800	30	45.53	45.07	45.30
		60	43.85	44.51	44.18
		90	42.06	40.00	41.03
		120	41.76	39.28	40.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	49.38	50.56	49.97
		60	48.59	48.86	48.72
		90	47.07	47.12	47.09
		120	46.59	46.63	46.61
	700	30	46.20	46.40	46.30
		60	47.01	47.32	47.16
		90	45.10	44.84	44.97
		120	43.14	44.20	43.67
	800	30	44.72	44.00	44.36
		60	44.67	43.53	44.10
		90	40.85	41.06	40.96
		120	36.87	40.99	38.93
1:4	600	30	49.89	49.23	49.56
		60	47.93	48.12	48.02
		90	47.80	46.80	47.30
		120	46.11	45.73	45.92
	700	30	46.98	47.43	47.21
		60	44.81	48.93	46.87
		90	45.46	44.98	45.22
		120	44.86	43.74	44.30
	800	30	44.19	44.53	44.36
		60	43.12	42.84	42.98
		90	41.01	40.36	40.68
		120	39.42	41.19	40.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
เป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	48.96	50.66	49.81
		60	48.26	47.94	49.10
		90	45.56	46.39	45.98
		120	43.96	44.23	44.10
	700	30	46.59	46.85	46.72
		60	45.16	45.24	45.20
		90	44.56	45.40	44.98
		120	43.83	43.87	43.85
	800	30	44.17	44.12	44.15
		60	42.81	44.52	43.72
		90	41.20	40.81	41.01
		120	39.82	40.04	39.93
1:2	600	30	49.98	51.26	50.62
		60	49.11	49.54	49.33
		90	45.87	46.22	46.10
		120	42.69	42.97	42.83
	700	30	46.13	45.73	45.93
		60	45.13	45.11	45.12
		90	44.89	44.73	44.81
		120	43.59	43.82	43.71
	800	30	44.11	43.92	44.03
		60	42.85	43.00	42.93
		90	39.76	39.83	39.80
		120	38.54	38.03	38.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ค่าร้อยละผลผลิตของการบ่มกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	49.21	49.80	49.50
		60	47.26	48.69	47.98
		90	45.35	45.27	45.31
		120	43.89	43.43	43.63
	700	30	45.91	46.52	46.22
		60	45.67	45.89	45.78
		90	44.17	44.28	44.23
		120	43.50	43.37	43.44
	800	30	44.38	44.23	44.31
		60	43.52	43.40	43.46
		90	40.94	40.58	40.76
		120	39.75	40.20	39.98
1:4	600	30	47.89	49.89	48.89
		60	48.19	48.20	48.20
		90	46.23	47.16	46.70
		120	44.75	44.83	44.79
	700	30	46.23	46.51	46.37
		60	45.25	45.02	45.14
		90	44.23	44.12	44.18
		120	43.29	43.35	43.32
	800	30	44.22	44.31	44.27
		60	43.00	43.21	43.11
		90	40.23	40.02	40.13
		120	39.68	39.75	39.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย
ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน
1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	58.12	57.48	57.80
		60	57.32	57.48	57.40
		90	48.40	55.34	54.92
		120	54.62	56.44	54.82
	700	30	56.16	54.85	55.50
		60	56.92	54.32	55.62
		90	53.05	54.10	53.57
		120	52.44	53.52	53.48
	800	30	54.10	53.04	53.57
		60	52.63	52.95	52.79
		90	48.23	47.97	48.10
		120	45.11	51.33	48.22
	600	30	58.76	58.63	58.69
		60	57.70	57.34	57.49
		90	54.83	55.71	55.27
		120	54.52	54.71	54.62
1:2	700	30	53.72	54.16	53.94
		60	56.62	55.30	55.96
		90	52.62	53.30	52.96
		120	52.79	52.49	52.64
	800	30	53.65	53.19	53.42
		60	51.97	52.63	52.30
		90	50.18	48.12	49.15
		120	49.88	47.40	48.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาท)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	57.50	58.68	58.04
		60	56.71	56.98	56.84
		90	55.19	55.24	55.21
		120	54.71	54.75	54.73
	700	30	54.32	54.52	54.42
		60	55.13	55.44	55.28
		90	53.22	52.96	53.28
		120	51.26	52.32	51.79
	800	30	52.84	52.12	52.48
		60	52.79	51.65	52.22
		90	48.97	49.18	49.08
		120	44.99	49.11	47.05
	600	30	57.91	57.35	57.68
		60	56.05	56.24	56.14
		90	55.92	54.92	55.42
		120	54.23	53.85	54.04
1:4	700	30	55.10	55.55	55.33
		60	52.93	57.05	54.99
		90	53.58	53.10	55.34
		120	52.98	51.86	52.42
	800	30	52.31	52.65	52.48
		60	51.24	56.96	53.10
		90	49.13	48.48	48.80
		120	47.54	49.31	48.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5]

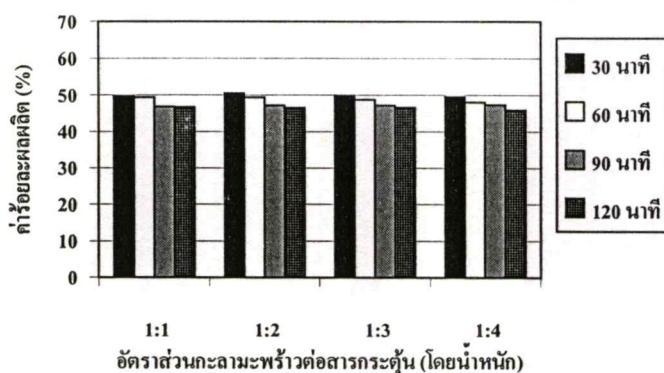
อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:1	600	30	57.19	58.89	58.14
		60	56.26	55.94	56.10
		90	53.68	54.51	54.10
		120	52.00	52.27	52.14
	700	30	54.61	54.97	54.84
		60	53.20	53.28	53.24
		90	52.56	53.40	52.98
		120	51.93	51.97	51.95
	800	30	52.17	52.12	52.15
		60	51.04	52.75	51.95
		90	49.23	48.84	49.04
		120	47.89	48.11	48.00
1:2	600	30	57.90	58.19	58.54
		60	57.23	57.66	57.45
		90	53.90	54.35	54.13
		120	50.71	52.99	50.83
	700	30	54.15	53.75	53.85
		60	53.14	53.21	53.22
		90	52.95	52.75	52.87
		120	51.62	51.85	51.74
	800	30	52.20	52.03	52.12
		60	50.86	51.01	50.94
		90	47.70	47.77	47.74
		120	46.54	46.03	46.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

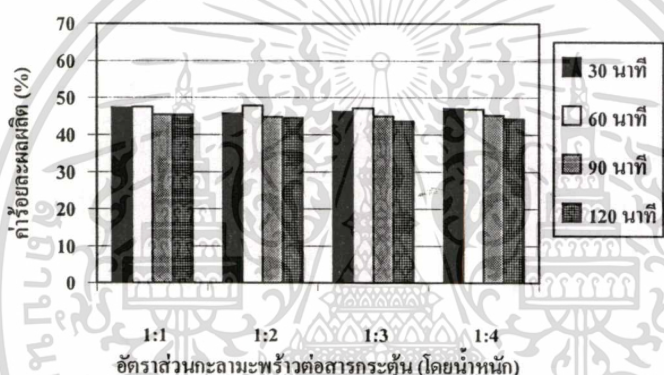
ตารางที่ ก.13 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย
ซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน
1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น [5] (ต่อ)

อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	57.25	57.84	57.54
		60	55.31	56.74	56.03
		90	53.42	53.34	53.87
		120	51.67	51.46	51.57
	700	30	53.95	54.56	54.26
		60	53.70	53.92	53.81
		90	52.19	52.30	52.25
		120	51.50	51.37	51.44
	800	30	52.43	52.28	52.36
		60	51.60	51.48	51.54
		90	48.98	58.62	48.80
		120	47.78	48.23	48.01
1:4	600	30	55.99	57.99	56.99
		60	56.19	56.20	56.20
		90	54.29	55.22	54.76
		120	52.76	52.84	52.71
	700	30	54.25	54.53	54.74
		60	53.30	53.07	53.15
		90	52.23	52.12	52.15
		120	51.95	51.75	51.85
	800	30	52.23	52.32	52.28
		60	51.04	51.25	51.15
		90	48.23	48.02	48.13
		120	47.72	47.78	47.75

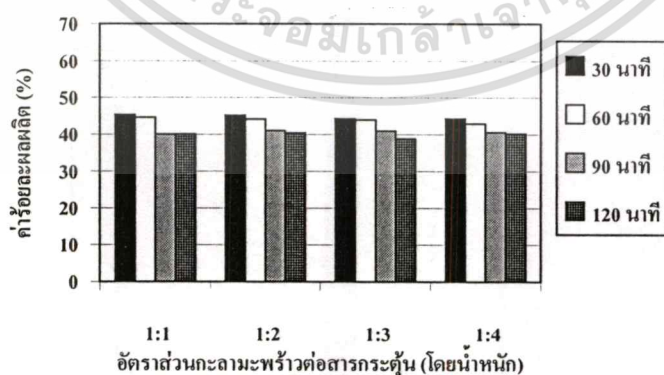
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

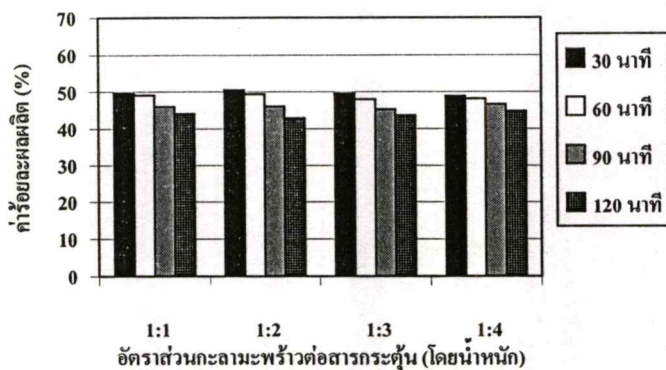


รูปที่ ก.14 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

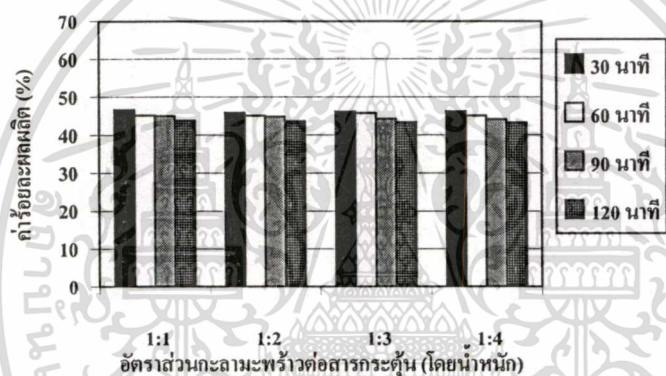


รูปที่ ก.15 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

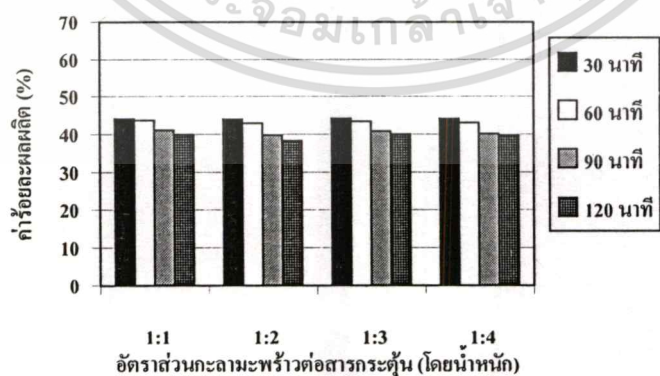
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.16 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

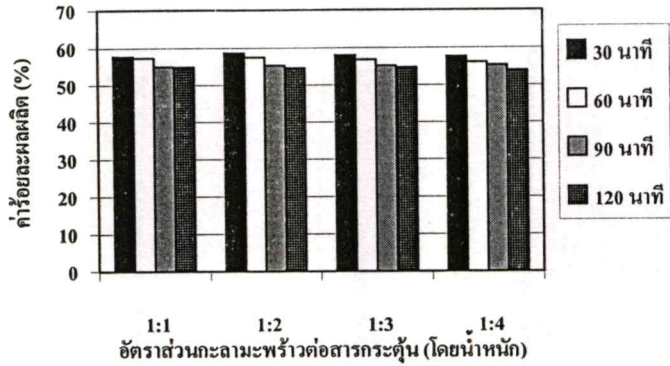


รูปที่ ก.17 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

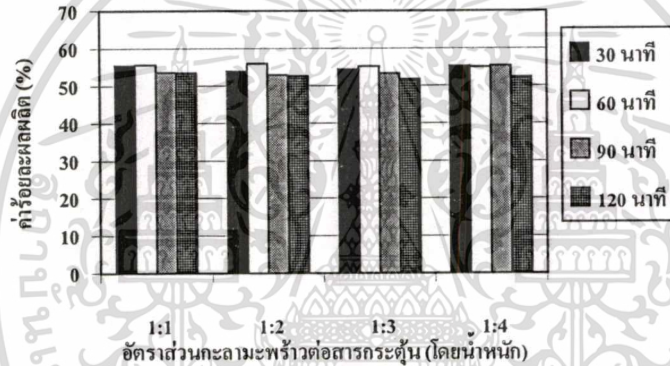


รูปที่ ก.18 ค่าร้อยละผลผลิตของการรับอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

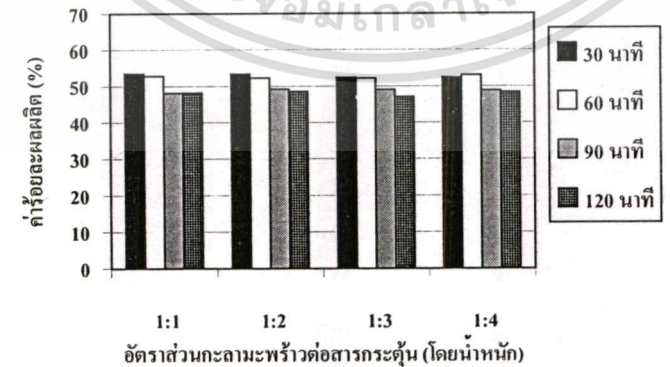
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.19 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

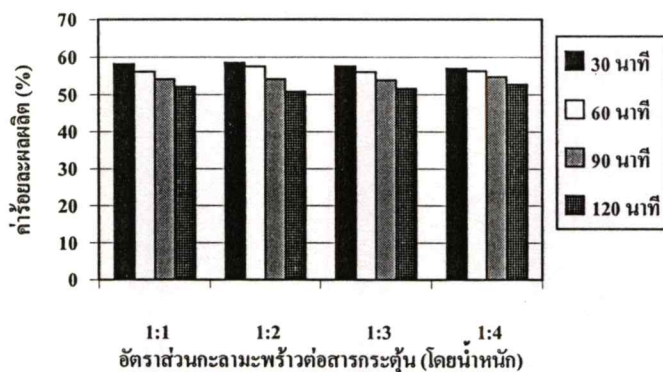


รูปที่ ก.20 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

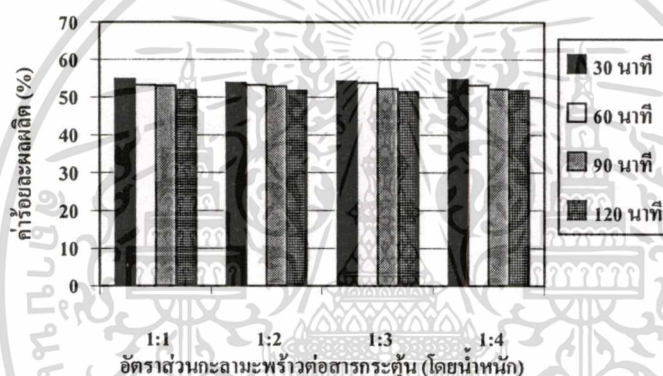


รูปที่ ก.21 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

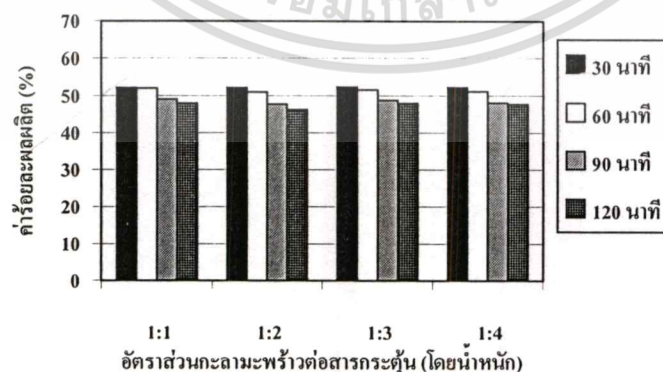
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.22 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.23 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.24 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 การดูดซับสารละลายฟีนอล

1. ข้อมูลและตัวอย่างการคำนวณ เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ประสิทธิภาพการดูดซับ ที่ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลต่าง ๆ

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (C_0 : มิลลิกรัม/ลิตร)

จากสมการที่ 4.9

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับ} = [(((G \times H) - (S \times N_1)) / L) \times 15.685] \times 1,000$$

(มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อ G = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (มิลลิลิตร)

H = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มอล)

L = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานฟีนอล (นอร์มอล)

หมายเหตุ ค่า 1,000 คือ ค่าที่ใช้เพื่อแปลงหน่วยของปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ในการดูดซับ (V) จากมิลลิลิตรเป็นลิตร

เช่น การดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวคาราที่ ก. 14 ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร และเวลาการดูดซับ 5 นาที

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับ} = [(((G \times H) - (S \times N_1)) / L) \times 15.685] \times 1,000$$

(มิลลิกรัม/ลิตร)

$$= [(((25 \times 0.1) - (23 \times 0.1)) / 25) \times 15.685] \times 1,000$$

$$= 125.48$$

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (C : มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ ทำตามขั้นตอนที่แสดงในหัวข้อ 4.8.4.3.1

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับ} = \text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานของ}$$

(มิลลิกรัม/ลิตร) สารละลายฟีนอล (ภาคผนวก ก. 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวตารางที่ ก. 14 ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร และเวลาการดูดซับ 5 นาที อ่านค่าการดูดกลืนแสงได้ 0.151 แล้วนำไปคำนวณความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับ จากกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล (แสดงในภาคผนวก ก. 5) มีสมการเชิงเส้น คือ

$$y = 0.0134x + 0.0172$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

x คือ ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$$\begin{aligned} x &= (y - 0.0172) / 0.0134 \\ &= (0.151 - 0.0172) / 0.0134 \\ &= 9.985 \end{aligned}$$

แต่เนื่องจากทำการเจือจาง 10 เท่า

$$\begin{aligned} x &= 9.985 \times 10 \\ &= 99.85 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับ = 99.85
(มิลลิกรัม/ลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

จากสมการที่ 4.10

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = [(C_0 - C) / C_0] \times 100$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

เช่น ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวตารางที่ ก. 14 ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่เวลาการดูดซับ 5 นาที

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} &= [(C_0 - C) / C_0] \times 100 \\ &= [(125.48 - 99.85) / 125.48] \times 100 \\ &= 20.43 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าวปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.151	0.150	0.152	0.151	10	99.85	20.43
10	125.48	0.149	0.148	0.149	0.149	10	98.36	21.61
20	125.48	0.149	0.149	0.149	0.149	10	98.36	21.61
30	125.48	0.148	0.149	0.150	0.149	10	98.36	21.61
60	125.48	0.150	0.149	0.149	0.149	10	98.36	21.61
90	125.48	0.148	0.149	0.149	0.149	10	98.36	21.61
120	125.48	0.149	0.150	0.148	0.149	10	98.36	21.61
150	125.48	0.150	0.149	0.148	0.149	10	98.36	21.61
180	125.48	0.149	0.148	0.149	0.149	10	98.36	21.61
210	125.48	0.149	0.149	0.149	0.149	10	98.36	21.61
240	125.48	0.148	0.150	0.149	0.149	10	98.36	21.61

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.045	0.043	0.044	0.044	-	2.00	98.41
10	125.48	0.044	0.041	0.041	0.041	-	1.78	98.58
20	125.48	0.037	0.037	0.038	0.037	-	1.48	98.82
30	125.48	0.035	0.036	0.035	0.035	-	1.33	98.94
60	125.48	0.034	0.034	0.034	0.034	-	1.25	99.00
90	125.48	0.028	0.029	0.029	0.029	-	0.88	99.30
120	125.48	0.022	0.023	0.024	0.023	-	0.43	99.66
150	125.48	0.02	0.024	0.023	0.022	-	0.36	99.71
180	125.48	0.022	0.023	0.022	0.022	-	0.36	99.71
210	125.48	0.021	0.022	0.023	0.022	-	0.36	99.71
240	125.48	0.022	0.022	0.022	0.022	-	0.36	99.71

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.470	0.471	0.470	0.470	-	33.79	73.07
10	125.48	0.448	0.447	0.448	0.488	-	32.15	74.38
20	125.48	0.431	0.431	0.431	0.431	-	30.88	75.39
30	125.48	0.403	0.405	0.404	0.404	-	28.87	77.00
60	125.48	0.377	0.377	0.378	0.377	-	26.85	78.60
90	125.48	0.350	0.351	0.351	0.351	-	24.91	80.15
120	125.48	0.332	0.332	0.332	0.332	-	23.49	81.28
150	125.48	0.321	0.321	0.320	0.321	-	22.67	81.93
180	125.48	0.322	0.321	0.321	0.321	-	22.67	81.93
210	125.48	0.321	0.320	0.321	0.321	-	22.67	81.93
240	125.48	0.321	0.321	0.321	0.321	-	22.67	81.93

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.365	0.364	0.364	0.364	-	25.88	79.37
10	125.48	0.349	0.349	0.349	0.349	-	24.76	80.27
20	125.48	0.321	0.321	0.322	0.321	-	22.67	81.93
30	125.48	0.294	0.294	0.293	0.294	-	20.66	83.54
60	125.48	0.259	0.258	0.257	0.258	-	17.97	85.68
90	125.48	0.239	0.239	0.239	0.239	-	16.55	86.81
120	125.48	0.224	0.223	0.223	0.223	-	15.36	87.76
150	125.48	0.217	0.218	0.217	0.217	-	14.91	88.12
180	125.48	0.216	0.217	0.217	0.217	-	14.91	88.12
210	125.48	0.217	0.217	0.217	0.217	-	14.91	88.12
240	125.48	0.218	0.217	0.216	0.217	-	14.91	88.12

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.688	0.687	0.687	0.687	-	49.99	60.16
10	125.48	0.665	0.664	0.663	0.664	-	48.27	61.53
20	125.48	0.623	0.623	0.623	0.623	-	45.21	63.97
30	125.48	0.595	0.594	0.594	0.594	-	43.04	65.70
60	125.48	0.549	0.549	0.549	0.549	-	39.69	68.37
90	125.48	0.526	0.525	0.526	0.526	-	37.97	69.74
120	125.48	0.498	0.497	0.497	0.497	-	35.81	71.46
150	125.48	0.449	0.449	0.449	0.449	-	32.22	74.32
180	125.48	0.448	0.450	0.449	0.449	-	32.22	74.32
210	125.48	0.448	0.450	0.450	0.449	-	32.22	74.32
240	125.48	0.449	0.449	0.450	0.449	-	32.22	74.32

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์
ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	125.48	0.080	0.080	0.081	0.080	-	4.69	96.27
10	125.48	0.077	0.076	0.077	0.077	-	4.46	96.44
20	125.48	0.069	0.069	0.068	0.069	-	3.87	96.92
30	125.48	0.064	0.064	0.064	0.064	-	3.49	97.22
60	125.48	0.058	0.057	0.058	0.058	-	3.04	97.57
90	125.48	0.056	0.056	0.056	0.056	-	2.90	97.69
120	125.48	0.050	0.051	0.049	0.050	-	2.45	98.05
150	125.48	0.046	0.047	0.045	0.046	-	2.15	98.29
180	125.48	0.045	0.046	0.046	0.046	-	2.15	98.29
210	125.48	0.046	0.047	0.046	0.046	-	2.15	98.29
240	125.48	0.046	0.046	0.046	0.046	-	2.15	98.29

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.299	0.299	0.299	0.299	10	210.30	11.79
10	238.41	0.293	0.292	0.294	0.293	10	205.82	13.67
20	238.41	0.291	0.293	0.294	0.293	10	205.82	13.67
30	238.41	0.293	0.293	0.293	0.293	10	205.82	13.67
60	238.41	0.292	0.293	0.294	0.293	10	205.82	13.67
90	238.41	0.290	0.291	0.291	0.291	10	204.33	14.30
120	238.41	0.293	0.292	0.293	0.293	10	205.82	13.67
150	238.41	0.290	0.295	0.293	0.293	10	205.82	13.67
180	238.41	0.293	0.293	0.293	0.293	10	205.82	13.67
210	238.41	0.292	0.293	0.293	0.293	10	205.82	13.67
240	238.41	0.292	0.294	0.293	0.293	10	205.82	13.67

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.092	0.092	0.092	0.092	-	5.58	97.66
10	238.41	0.087	0.088	0.087	0.087	-	5.21	97.82
20	238.41	0.075	0.075	0.075	0.075	-	4.31	98.19
30	238.41	0.058	0.058	0.059	0.058	-	3.04	98.72
60	238.41	0.057	0.057	0.056	0.057	-	2.97	98.75
90	238.41	0.055	0.054	0.055	0.055	-	2.82	98.82
120	238.41	0.053	0.053	0.053	0.053	-	2.67	98.88
150	238.41	0.050	0.050	0.050	0.050	-	2.45	98.97
180	238.41	0.051	0.050	0.050	0.050	-	2.45	98.97
210	238.41	0.049	0.051	0.050	0.050	-	2.45	98.97
240	238.41	0.050	0.050	0.050	0.050	-	2.45	98.97

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของการบ่มกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.832	0.832	0.832	0.832	-	60.81	74.50
10	238.41	0.805	0.803	0.803	0.804	-	58.72	75.37
20	238.41	0.792	0.790	0.790	0.791	-	57.75	75.78
30	238.41	0.658	0.660	0.659	0.659	-	47.90	79.91
60	238.41	0.618	0.617	0.618	0.618	-	44.84	81.19
90	238.41	0.610	0.610	0.610	0.610	-	44.24	81.44
120	238.41	0.607	0.608	0.607	0.607	-	44.01	81.54
150	238.41	0.604	0.605	0.605	0.605	-	43.87	81.60
180	238.41	0.605	0.606	0.605	0.605	-	43.87	81.60
210	238.41	0.605	0.605	0.605	0.605	-	43.87	81.60
240	238.41	0.604	0.606	0.606	0.605	-	43.87	81.60

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.23 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.888	0.890	0.890	0.889	-	65.06	72.71
10	238.41	0.793	0.793	0.793	0.793	-	57.90	75.72
20	238.41	0.750	0.750	0.751	0.750	-	54.69	77.06
30	238.41	0.630	0.631	0.630	0.630	-	45.73	80.82
60	238.41	0.605	0.604	0.604	0.604	-	43.79	81.63
90	238.41	0.593	0.593	0.593	0.593	-	42.97	81.98
120	238.41	0.557	0.558	0.557	0.557	-	40.28	83.10
150	238.41	0.447	0.445	0.446	0.447	-	32.07	86.55
180	238.41	0.446	0.446	0.447	0.447	-	32.07	86.55
210	238.41	0.447	0.447	0.447	0.447	-	32.07	86.55
240	238.41	0.446	0.447	0.447	0.447	-	32.07	86.55

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.114	0.114	0.114	0.114	10	72.24	69.70
10	238.41	0.111	0.110	0.111	0.111	10	70.00	70.64
20	238.41	0.105	0.104	0.105	0.105	10	65.52	72.52
30	238.41	0.088	0.088	0.088	0.088	10	52.84	77.84
60	238.41	0.086	0.085	0.087	0.086	10	51.34	78.46
90	238.41	0.085	0.085	0.085	0.085	10	50.60	78.78
120	238.41	0.084	0.085	0.084	0.084	10	49.85	79.09
150	238.41	0.085	0.084	0.083	0.084	10	49.85	79.09
180	238.41	0.084	0.084	0.084	0.084	10	49.85	79.09
210	238.41	0.085	0.083	0.084	0.084	10	49.85	79.09
240	238.41	0.084	0.084	0.084	0.084	10	49.85	79.09

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์
ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 200 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	238.41	0.259	0.259	0.259	0.259	-	18.04	92.43
10	238.41	0.258	0.257	0.258	0.258	-	17.97	92.46
20	238.41	0.255	0.255	0.255	0.255	-	17.75	92.56
30	238.41	0.253	0.251	0.251	0.252	-	17.52	92.65
60	238.41	0.237	0.238	0.238	0.238	-	16.48	93.09
90	238.41	0.200	0.201	0.202	0.201	-	13.72	94.25
120	238.41	0.165	0.167	0.167	0.166	-	11.10	95.34
150	238.41	0.152	0.152	0.152	0.152	-	10.06	95.78
180	238.41	0.152	0.152	0.151	0.152	-	10.06	95.78
210	238.41	0.153	0.151	0.152	0.152	-	10.06	95.78
240	238.41	0.150	0.153	0.153	0.152	-	10.06	95.78

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.437	0.436	0.438	0.437	10	313.28	9.21
10	345.07	0.435	0.435	0.435	0.435	10	311.79	9.64
20	345.07	0.436	0.435	0.435	0.435	10	311.79	9.64
30	345.07	0.434	0.435	0.436	0.435	10	311.79	9.64
60	345.07	0.433	0.434	0.434	0.434	10	311.04	9.86
90	345.07	0.435	0.435	0.434	0.435	10	311.79	9.64
120	345.07	0.436	0.435	0.434	0.435	10	311.79	9.64
150	345.07	0.435	0.435	0.435	0.435	10	311.79	9.64
180	345.07	0.433	0.436	0.436	0.435	10	311.79	9.64
210	345.07	0.433	0.434	0.434	0.434	10	311.04	9.86
240	345.07	0.435	0.436	0.434	0.435	10	311.79	9.64

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของการรับอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.155	0.157	0.156	0.156	-	10.36	97.00
10	345.07	0.151	0.151	0.151	0.151	-	9.99	97.11
20	345.07	0.149	0.148	0.150	0.149	-	9.84	97.15
30	345.07	0.137	0.137	0.137	0.137	-	8.94	97.41
60	345.07	0.124	0.123	0.122	0.123	-	7.90	97.71
90	345.07	0.119	0.119	0.120	0.119	-	7.60	97.80
120	345.07	0.108	0.108	0.108	0.108	-	6.78	98.04
150	345.07	0.095	0.095	0.096	0.095	-	5.81	98.32
180	345.07	0.094	0.093	0.094	0.094	-	5.73	98.34
210	345.07	0.094	0.095	0.093	0.094	-	5.73	98.34
240	345.07	0.094	0.094	0.094	0.094	-	5.73	98.34

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.196	0.197	0.196	0.196	10	133.43	61.33
10	345.07	0.190	0.191	0.190	0.190	10	128.96	62.63
20	345.07	0.184	0.183	0.185	0.184	10	124.48	63.93
30	345.07	0.175	0.175	0.175	0.175	10	117.76	65.87
60	345.07	0.171	0.170	0.171	0.171	10	114.78	66.74
90	345.07	0.164	0.164	0.164	0.164	10	109.55	68.25
120	345.07	0.159	0.160	0.158	0.159	10	105.82	69.33
150	345.07	0.154	0.154	0.154	0.154	10	102.09	70.41
180	345.07	0.153	0.154	0.155	0.154	10	102.09	70.41
210	345.07	0.153	0.155	0.155	0.154	10	102.09	70.41
240	345.07	0.154	0.153	0.155	0.154	10	102.09	70.41

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.29 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.179	0.180	0.179	0.179	10	120.75	65.01
10	345.07	0.175	0.175	0.174	0.175	10	117.76	65.87
20	345.07	0.168	0.169	0.168	0.168	10	112.54	67.39
30	345.07	0.161	0.160	0.160	0.160	10	106.57	69.12
60	345.07	0.155	0.155	0.155	0.155	10	102.84	70.20
90	345.07	0.147	0.146	0.148	0.147	10	96.87	71.93
120	345.07	0.141	0.141	0.141	0.141	10	92.39	73.23
150	345.07	0.139	0.138	0.138	0.138	10	90.15	73.88
180	345.07	0.138	0.138	0.138	0.138	10	90.15	73.88
210	345.07	0.136	0.139	0.139	0.138	10	90.15	73.88
240	345.07	0.138	0.139	0.137	0.138	10	90.15	73.88

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.30 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.229	0.227	0.227	0.228	10	157.31	54.41
10	345.07	0.221	0.221	0.222	0.221	10	152.09	55.93
20	345.07	0.214	0.214	0.214	0.214	10	146.87	57.44
30	345.07	0.202	0.201	0.202	0.202	10	137.91	60.03
60	345.07	0.197	0.196	0.198	0.197	10	134.18	61.12
90	345.07	0.191	0.192	0.192	0.192	10	130.45	62.20
120	345.07	0.191	0.191	0.191	0.191	10	129.70	62.41
150	345.07	0.190	0.189	0.191	0.190	10	128.96	62.63
180	345.07	0.190	0.190	0.191	0.190	10	128.96	62.63
210	345.07	0.189	0.191	0.191	0.190	10	128.96	62.63
240	345.07	0.191	0.190	0.190	0.190	10	128.96	62.63

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.31 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์
ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาทึ)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 300 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	345.07	0.453	0.451	0.453	0.452	-	32.45	90.60
10	345.07	0.438	0.438	0.438	0.438	-	31.40	90.90
20	345.07	0.431	0.432	0.430	0.431	-	30.88	91.05
30	345.07	0.410	0.410	0.410	0.410	-	29.31	91.51
60	345.07	0.389	0.388	0.390	0.389	-	27.75	91.96
90	345.07	0.350	0.350	0.350	0.350	-	24.84	92.80
120	345.07	0.337	0.338	0.336	0.337	-	23.87	93.08
150	345.07	0.323	0.323	0.323	0.323	-	22.82	93.39
180	345.07	0.324	0.322	0.323	0.323	-	22.82	93.39
210	345.07	0.323	0.323	0.324	0.323	-	22.82	93.39
240	345.07	0.322	0.323	0.323	0.323	-	22.82	93.39

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.32 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.565	0.564	0.564	0.564	10	408.06	4.35
10	426.63	0.561	0.560	0.560	0.560	10	405.07	5.05
20	426.63	0.559	0.561	0.561	0.560	10	405.07	5.05
30	426.63	0.560	0.560	0.560	0.560	10	405.07	5.05
60	426.63	0.561	0.560	0.559	0.560	10	405.07	5.05
90	426.63	0.560	0.560	0.559	0.560	10	405.07	5.05
120	426.63	0.560	0.561	0.560	0.560	10	405.07	5.05
150	426.63	0.560	0.560	0.560	0.560	10	405.07	5.05
180	426.63	0.559	0.561	0.561	0.560	10	405.07	5.05
210	426.63	0.560	0.560	0.560	0.560	10	405.07	5.05
240	426.63	0.560	0.559	0.561	0.560	10	405.07	5.05

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.33 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.278	0.277	0.277	0.277	-	19.39	95.46
10	426.63	0.271	0.271	0.271	0.271	-	18.94	95.56
20	426.63	0.263	0.262	0.264	0.263	-	18.34	95.70
30	426.63	0.257	0.257	0.256	0.257	-	17.90	95.81
60	426.63	0.244	0.244	0.244	0.244	-	16.93	96.03
90	426.63	0.231	0.231	0.232	0.231	-	15.96	96.26
120	426.63	0.218	0.219	0.217	0.218	-	14.99	96.49
150	426.63	0.204	0.204	0.204	0.204	-	13.94	96.73
180	426.63	0.203	0.204	0.204	0.204	-	13.94	96.73
210	426.63	0.202	0.205	0.205	0.204	-	13.94	96.73
240	426.63	0.203	0.205	0.204	0.204	-	13.94	96.73

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.34 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.306	0.307	0.306	0.306	10	215.52	49.48
10	426.63	0.300	0.300	0.301	0.300	10	211.04	50.53
20	426.63	0.297	0.298	0.296	0.297	10	208.81	51.06
30	426.63	0.294	0.295	0.294	0.294	10	206.57	51.58
60	426.63	0.288	0.287	0.288	0.288	10	202.09	52.63
90	426.63	0.282	0.281	0.282	0.282	10	197.61	53.68
120	426.63	0.279	0.279	0.279	0.279	10	195.37	54.21
150	426.63	0.274	0.273	0.275	0.274	10	191.64	55.08
180	426.63	0.273	0.274	0.274	0.274	10	191.64	55.08
210	426.63	0.275	0.274	0.274	0.274	10	191.64	55.08
240	426.63	0.274	0.274	0.274	0.274	10	191.64	55.08

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.35 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาทึ)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.296	0.296	0.296	0.296	10	208.06	51.23
10	426.63	0.293	0.292	0.293	0.293	10	205.82	51.76
20	426.63	0.287	0.287	0.286	0.287	10	201.34	52.81
30	426.63	0.283	0.284	0.284	0.284	10	199.10	53.33
60	426.63	0.275	0.276	0.275	0.275	10	192.39	54.91
90	426.63	0.269	0.269	0.269	0.269	10	187.91	55.95
120	426.63	0.259	0.258	0.258	0.258	10	179.70	57.88
150	426.63	0.251	0.251	0.252	0.251	10	174.48	59.10
180	426.63	0.250	0.251	0.252	0.251	10	174.48	59.10
210	426.63	0.252	0.252	0.250	0.251	10	174.48	59.10
240	426.63	0.251	0.251	0.251	0.251	10	174.48	59.10

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.36 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.335	0.335	0.336	0.335	10	237.16	44.41
10	426.63	0.331	0.332	0.331	0.331	10	234.18	45.11
20	426.63	0.325	0.324	0.326	0.325	10	229.17	46.16
30	426.63	0.319	0.319	0.319	0.319	10	225.22	47.21
60	426.63	0.312	0.312	0.311	0.312	10	220.00	48.43
90	426.63	0.306	0.307	0.305	0.306	10	215.52	49.48
120	426.63	0.303	0.304	0.303	0.303	10	213.28	50.01
150	426.63	0.303	0.302	0.302	0.302	10	212.54	50.18
180	426.63	0.301	0.302	0.302	0.302	10	212.54	50.18
210	426.63	0.303	0.301	0.303	0.302	10	212.54	50.18
240	426.63	0.302	0.303	0.302	0.302	10	212.54	50.18

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.37 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 400 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	426.63	0.703	0.702	0.701	0.702	-	51.10	88.02
10	426.63	0.700	0.700	0.701	0.700	-	50.96	88.06
20	426.63	0.692	0.692	0.691	0.692	-	50.36	88.20
30	426.63	0.683	0.683	0.683	0.683	-	49.69	88.35
60	426.63	0.618	0.619	0.618	0.618	-	44.84	89.49
90	426.63	0.597	0.597	0.597	0.597	-	43.27	89.86
120	426.63	0.590	0.591	0.589	0.590	-	42.75	89.98
150	426.63	0.536	0.536	0.536	0.536	-	38.72	90.93
180	426.63	0.536	0.535	0.536	0.536	-	38.72	90.93
210	426.63	0.537	0.536	0.536	0.536	-	38.72	90.93
240	426.63	0.537	0.535	0.537	0.536	-	38.72	90.93

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.38 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของกะลามะพร้าว ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาทึ)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.702	0.704	0.703	0.703	10	511.79	6.24
10	545.83	0.699	0.699	0.698	0.699	10	508.81	6.78
20	545.83	0.698	0.698	0.698	0.698	10	508.06	6.92
30	545.83	0.700	0.699	0.699	0.699	10	508.81	6.78
60	545.83	0.699	0.699	0.699	0.699	10	508.81	6.78
90	545.83	0.698	0.700	0.699	0.699	10	508.81	6.78
120	545.83	0.699	0.698	0.699	0.699	10	508.81	6.78
150	545.83	0.698	0.697	0.699	0.698	10	508.06	6.92
180	545.83	0.700	0.699	0.699	0.699	10	508.81	6.78
210	545.83	0.699	0.699	0.699	0.699	10	508.81	6.78
240	545.83	0.698	0.700	0.699	0.699	10	508.81	6.78

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.39 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.508	0.508	0.507	0.508	-	36.63	93.29
10	545.83	0.501	0.500	0.500	0.500	-	36.03	93.40
20	545.83	0.496	0.465	0.496	0.496	-	35.73	93.45
30	545.83	0.484	0.484	0.484	0.484	-	34.84	93.62
60	545.83	0.458	0.459	0.458	0.458	-	32.90	93.97
90	545.83	0.431	0.432	0.430	0.431	-	30.88	94.34
120	545.83	0.411	0.410	0.410	0.410	-	29.31	94.63
150	545.83	0.388	0.387	0.389	0.388	-	27.67	94.93
180	545.83	0.386	0.386	0.386	0.386	-	27.52	94.96
210	545.83	0.388	0.389	0.388	0.388	-	27.67	94.93
240	545.83	0.388	0.388	0.388	0.388	-	27.67	94.93

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.40 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ่น

เวลา (นาที่)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.439	0.439	0.440	0.439	10	314.78	42.33
10	545.83	0.434	0.435	0.436	0.435	10	311.79	42.88
20	545.83	0.428	0.428	0.428	0.428	10	306.57	43.83
30	545.83	0.421	0.421	0.422	0.421	10	301.34	44.79
60	545.83	0.415	0.416	0.415	0.415	10	296.87	45.61
90	545.83	0.407	0.406	0.408	0.407	10	290.90	46.71
120	545.83	0.402	0.402	0.402	0.402	10	287.16	47.39
150	545.83	0.399	0.400	0.400	0.400	10	285.67	47.66
180	545.83	0.400	0.401	0.399	0.400	10	285.67	47.66
210	545.83	0.400	0.400	0.400	0.400	10	285.67	47.66
240	545.83	0.399	0.401	0.401	0.400	10	285.67	47.66

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.41 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาท)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.428	0.430	0.429	0.429	10	307.31	43.70
10	545.83	0.424	0.425	0.425	0.425	10	304.33	44.24
20	545.83	0.420	0.421	0.421	0.421	10	301.34	44.79
30	545.83	0.416	0.416	0.416	0.416	10	297.61	45.48
60	545.83	0.407	0.407	0.407	0.407	10	290.90	46.71
90	545.83	0.397	0.396	0.398	0.397	10	283.43	48.07
120	545.83	0.390	0.390	0.390	0.390	10	278.21	49.03
150	545.83	0.382	0.383	0.383	0.383	10	272.99	49.99
180	545.83	0.383	0.384	0.382	0.383	10	272.99	49.99
210	545.83	0.384	0.383	0.383	0.383	10	272.99	49.99
240	545.83	0.383	0.382	0.383	0.383	10	272.99	49.99

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.42 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 1.000 กรัม ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.472	0.472	0.472	0.472	10	339.40	37.82
10	545.83	0.464	0.463	0.464	0.464	10	333.43	38.91
20	545.83	0.457	0.458	0.458	0.458	10	328.96	39.73
30	545.83	0.450	0.450	0.450	0.450	10	322.99	40.83
60	545.83	0.439	0.440	0.439	0.439	10	314.78	42.33
90	545.83	0.431	0.430	0.432	0.431	10	308.81	43.42
120	545.83	0.422	0.422	0.422	0.422	10	302.09	44.66
150	545.83	0.417	0.418	0.417	0.417	10	298.36	45.34
180	545.83	0.417	0.417	0.417	0.417	10	298.36	45.34
210	545.83	0.416	0.418	0.418	0.417	10	298.36	45.34
240	545.83	0.418	0.416	0.417	0.417	10	298.36	45.34

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก.43 ข้อมูลการดูดซับสารละลายฟีนอลที่อุณหภูมิห้องของคาร์บอนกัมมันต์
ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60) ปริมาณ 1.000 กรัม

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล 500 มิลลิกรัม/ลิตร							
	C ₀	ค่าการดูดกลืนแสง				การ เจือจาง (เท่า)	C	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	545.83	0.123	0.123	0.124	0.123	10	78.96	85.53
10	545.83	0.119	0.118	0.118	0.118	10	75.22	86.22
20	545.83	0.114	0.114	0.114	0.114	10	72.24	86.77
30	545.83	0.111	0.111	0.110	0.111	10	70.00	87.18
60	545.83	0.109	0.108	0.107	0.108	10	67.76	87.59
90	545.83	0.106	0.105	0.105	0.105	10	65.52	88.00
120	545.83	0.104	0.104	0.104	0.104	10	64.78	88.13
150	545.83	0.103	0.102	0.104	0.103	10	64.03	88.27
180	545.83	0.102	0.103	0.103	0.103	10	64.03	88.27
210	545.83	0.103	0.103	0.103	0.103	10	64.03	88.27
240	545.83	0.104	0.103	0.103	0.103	10	64.03	88.27

เมื่อ C₀ = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
C = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

2. แสดงค่าปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอล

ตารางที่ ก. 44 ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลที่สภาวะสมดุลการดูดซับ

ตัวอย่าง	C_0 (mg/l)	C_e (mg/l)	q (mg/g)
กะลามะพร้าว	125.48	98.36	5.42
	238.41	205.82	6.52
	345.07	311.79	6.66
	426.63	405.07	4.31
	545.83	508.81	0.74
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก	125.48	0.36	25.02
	238.41	2.45	47.19
	345.07	5.73	67.87
	426.63	13.94	82.54
	545.83	27.67	103.63
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl อิ่มตัว	125.48	22.67	20.56
	238.41	43.87	38.91
	345.07	102.21	48.57
	426.63	191.64	47.00
	545.83	285.67	52.03
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก	125.48	14.91	22.11
	238.41	32.08	41.27
	345.07	90.15	50.98
	426.63	174.48	50.43
	545.83	272.99	54.57
คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 60% โดยน้ำหนัก : NaCl อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก	125.48	32.22	18.65
	238.41	49.85	37.71
	345.07	128.96	43.22
	426.63	212.54	42.82
	545.83	298.36	49.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 44 ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลที่สภาวะสมดุลการดูดซับ (ต่อ)

ตัวอย่าง	C_0 (mg/l)	C_e (mg/l)	q (mg/g)
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)	125.48	2.15	24.67
	238.41	10.06	45.67
	345.07	22.82	64.45
	426.63	38.72	77.58
	545.83	64.03	96.36

เมื่อ q = ปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ
(มิลลิกรัม/กรัม)

C_0 = ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับที่วัดได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_e = ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (q)
จากสมการที่ 4.11

$$q = [(C_0 - C_e) / m] \times V \times 1,000$$

เมื่อ m = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวดูดซับ (กรัม)

V = ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ในการดูดซับ (ในการทดลอง คือ 200 มิลลิลิตร)

หมายเหตุ ค่า 1,000 คือ ค่าที่ใช้เพื่อแปลงหน่วยของปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ในการดูดซับ
(V) จากมิลลิลิตรเป็นลิตร

เช่น การคำนวณปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลของกะลามะพร้าวที่ $C_0 = 125.48$
มิลลิกรัม/ลิตร ดังตารางที่ ก. 44

$$\begin{aligned} q &= [(C_0 - C_e) / m] \times V \times 1,000 \\ &= [(125.48 - 98.36) / 1.000] \times 200 \times 1,000 \\ &= 5.42 \text{ มิลลิกรัม/กรัม} \end{aligned}$$

3. แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอล เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ในการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอล เมื่อใช้สมการของ Langmuir

จากสมการที่ 3.3

$$1/q = (1/q_m) + (1/bq_m) (1/C_e)$$

โดย q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (Monolayer capacity) (มิลลิกรัม/กรัม)

b = ค่าคงที่

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C_e$ จะได้ความชัน คือ $1/bq_m$ และจุดตัดแกน y คือ $1/q_m$ ซึ่งแสดงในผลการทดลองใน บทที่ 5 หัวข้อที่ 5.9.4

เช่น ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอล เมื่อใช้สมการของ Langmuir ของกะลามะพร้าว ดังตารางที่ ก. 45

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ก. 44

นำค่า q และ C_e ที่ $C_0 = 125.48$ มิลลิกรัม/ลิตร มาคำนวณให้อยู่ในรูป $1/q$ และ $1/C_e$ แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C_e$ จะได้ความชัน คือ $1/bq_m$ และจุดตัดแกน y คือ $1/q_m$ ซึ่งจากการเขียนกราฟที่ได้ในรูปที่ 5.21 จะได้สมการเชิงเส้น คือ

$$y = -68.811x + 0.7262$$

เมื่อ y คือ $1/q$

x คือ $1/C_e$

จากสมการเชิงเส้นจุดตัดแกน y คือ 0.7262

$$1/q_m = 0.7262$$

$$q_m = 1 / 0.7262$$

$$= 1.377 \text{ มิลลิกรัม/กรัม}$$

จากสมการเชิงเส้นความชัน คือ -68.811 ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$1/bq_m = -68.811$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b = [(1 / -68.811)] / q_m$$

แทนค่า q_m จะได้ว่า

$$\begin{aligned} b &= [(1 / -68.811)] / 1.377 \\ &= -0.011 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอล เมื่อใช้สมการของ Freundlich

จากสมการที่ 3.5 และ 3.6

$$q = KC_e^{1/n}$$

หรือ

$$\log q = \log K + [(1/n) \log C_e]$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} q &= \text{ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ} \\ &\quad \text{ที่ความเข้มข้นสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)} \\ C_e &= \text{ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)} \\ K, n &= \text{เป็นค่าคงที่} \end{aligned}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ จะได้ความชัน คือ $1/n$ และจุดตัดแกน y คือ $\log K$ เช่น ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอล เมื่อใช้สมการของ Freundlich ของกะลามะพร้าว ดังตารางที่ ก. 45

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ก. 44

นำค่า q และ C_e ที่ $C_0 = 125.48$ มิลลิกรัม/ลิตร มาคำนวณให้อยู่ในรูป $\log q$ และ $\log C_e$ แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ จะได้ความชัน คือ $1/n$ และจุดตัดแกน y คือ $\log K$ ซึ่งจากการเขียนกราฟที่ได้ในรูปที่ 5.22 จะได้สมการเชิงเส้น คือ

$$y = -0.8408x + 2.6123$$

เมื่อ y คือ $\log q$

x คือ $\log C_e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากสมการเชิงเส้นจุดตัดแกน y คือ 2.6123
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\log K = 2.6123$

$K = 10^{2.6123}$

$= 409.543$

จากสมการเชิงเส้นความชัน คือ -0.8408 ดังนั้น

$1/n = -0.8408$

ตารางที่ ก.45 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของกะลามะพร้าว

C ₀	Langmuir				Freundlich			
	Q	C _e	1/q	1/C _e	q	C _e	log q	log C _e
125.48	5.42	98.36	0.1845	0.0102	5.42	98.36	0.7340	1.9928
238.41	6.52	205.82	0.1534	0.0049	6.52	205.82	0.8142	2.3135
345.07	6.66	311.79	0.1502	0.0032	6.66	311.79	0.8235	2.4939
426.63	4.31	405.07	0.2320	0.0025	4.31	405.07	0.6345	2.6075
545.83	0.74	508.81	1.3514	0.0020	0.74	508.81	-0.1308	2.7066

ตารางที่ ก.46 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

C ₀	Langmuir				Freundlich			
	Q	C _e	1/q	1/C _e	q	C _e	log q	log C _e
125.48	25.02	0.36	0.0400	2.7778	25.02	0.36	1.3983	-0.4437
238.41	47.19	2.45	0.0212	0.4082	47.19	2.45	1.6738	0.3892
345.07	67.87	5.73	0.0147	0.1745	67.87	5.73	1.8317	0.7582
426.63	82.54	13.94	0.0121	0.0717	82.54	13.94	1.9167	1.1443
545.83	103.63	27.67	0.0096	0.0361	103.63	27.67	2.0155	1.4420

ตารางที่ ก.47 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

C_0	Langmuir				Freundlich			
	Q	C_e	$1/q$	$1/C_e$	q	C_e	$\log q$	$\log C_e$
125.48	20.56	22.67	0.0486	0.0441	20.56	22.67	1.3130	1.3555
238.41	38.91	43.87	0.0257	0.0228	38.91	43.87	1.5901	1.6422
345.07	48.57	102.21	0.0206	0.0098	48.57	102.21	1.6864	2.0095
426.63	47.00	191.64	0.0213	0.0052	47.00	191.64	1.6721	2.2825
545.83	52.03	285.67	0.0192	0.0035	52.03	285.67	1.7163	2.4559

ตารางที่ ก.48 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

C_0	Langmuir				Freundlich			
	Q	C_e	$1/q$	$1/C_e$	q	C_e	$\log q$	$\log C_e$
125.48	22.11	14.91	0.0452	0.0671	22.11	14.91	1.3446	1.1735
238.41	41.27	32.08	0.0242	0.0312	41.27	32.08	1.6156	1.5062
345.07	50.98	90.15	0.0196	0.0111	50.98	90.15	1.7074	1.9550
426.63	50.43	174.48	0.0198	0.0057	50.43	174.48	1.7027	2.2417
545.83	54.57	272.99	0.0183	0.0037	54.57	272.99	1.7370	2.4361

ตารางที่ ก.49 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

C_0	Langmuir				Freundlich			
	Q	C_e	$1/q$	$1/C_e$	q	C_e	$\log q$	$\log C_e$
125.48	18.65	32.22	0.0536	0.0310	18.65	32.22	1.2707	1.5081
238.41	37.71	49.85	0.0265	0.0201	37.71	49.85	1.5765	1.6977
345.07	43.22	128.96	0.0231	0.0078	43.22	128.96	1.6357	2.1105
426.63	42.82	212.54	0.0234	0.0047	42.82	212.54	1.6316	2.3274
545.83	49.49	298.36	0.0202	0.0034	49.49	298.36	1.6945	2.4747

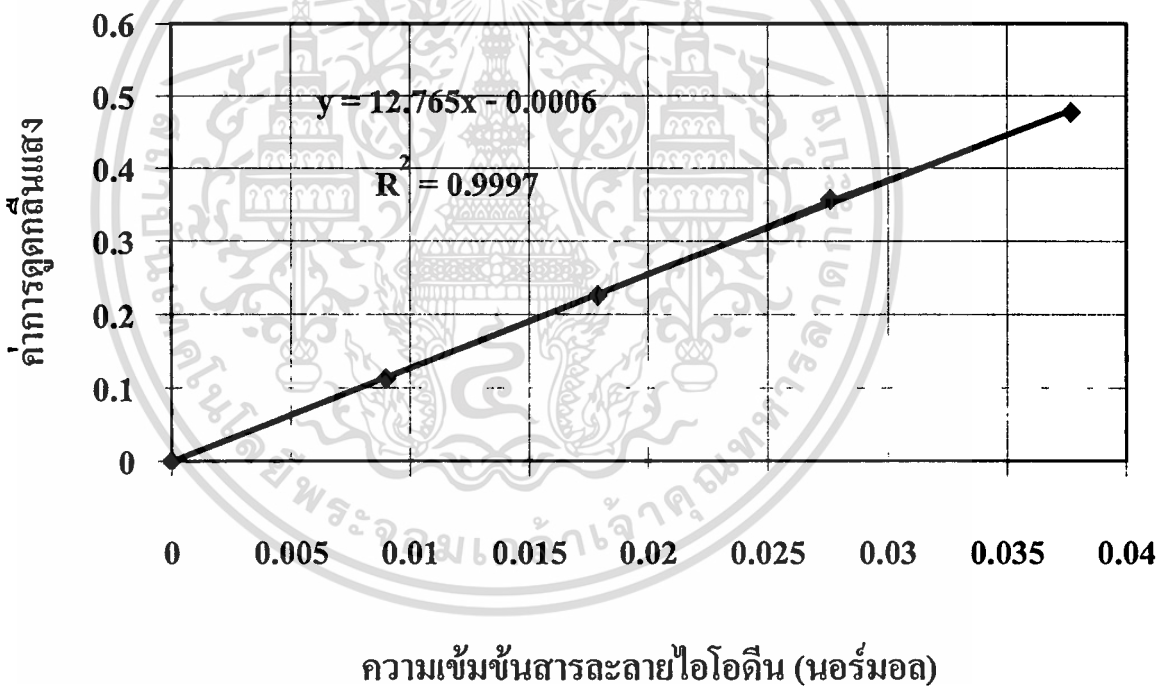
ตารางที่ ก.50 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการการดูดซับสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

C_0	Langmuir				Freundlich			
	Q	C_e	$1/q$	$1/C_e$	q	C_e	$\log q$	$\log C_e$
125.48	24.67	2.15	0.0405	0.4651	24.67	2.15	1.3922	0.3324
238.41	45.67	10.06	0.0219	0.0994	45.67	10.06	1.6596	1.0026
345.07	64.45	22.82	0.0155	0.0438	64.45	22.82	1.8092	1.3583
426.63	77.58	38.72	0.0129	0.0258	77.58	38.72	1.8897	1.5879
545.83	96.36	64.03	0.0104	0.0156	96.36	64.03	1.9839	1.8064

ก. 5 กราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีนและสารละลายฟีนอล

ตารางที่ ก.51 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีน

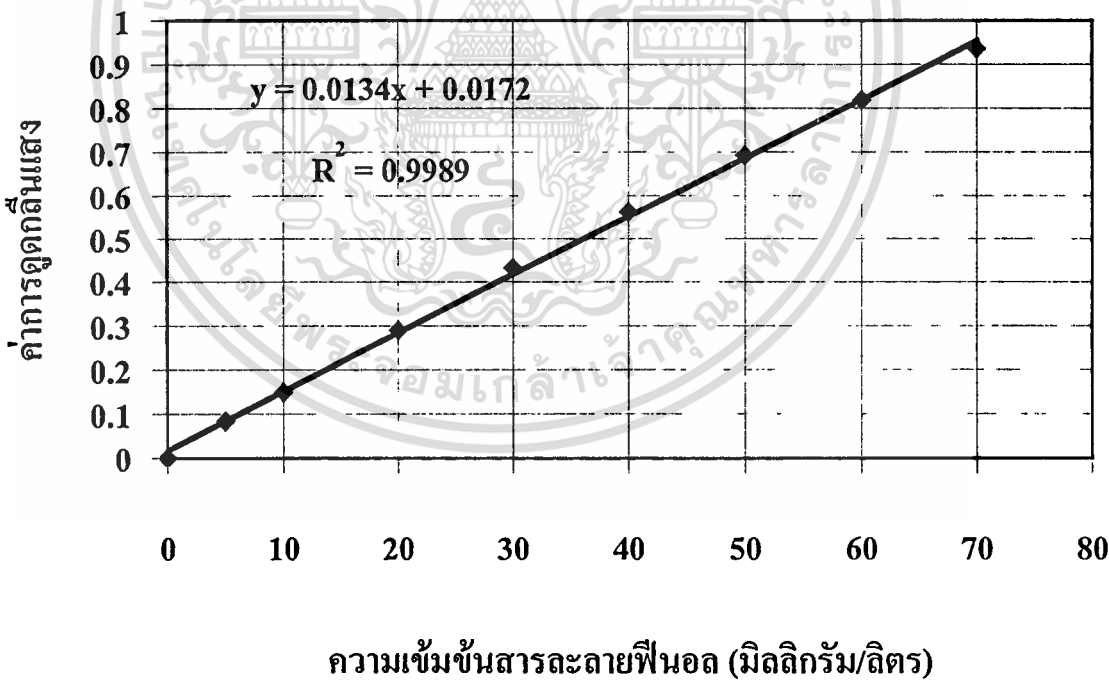
ความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.009	0.113
0.0179	0.226
0.0276	0.357
0.0377	0.478



รูปที่ ก.25 กราฟมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

ตารางที่ ก.52 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล

ความเข้มข้นสารละลายฟีนอล (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
5	0.084
10	0.149
20	0.291
30	0.433
40	0.563
50	0.693
60	0.819
70	0.936



รูปที่ ก.26 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CH M325-60)

TECHNICAL SPECIFICATION	
Product : Powdered Activated Carbon	
Grade : HRO CH M325-60	
Test Method : ASTM, Unless otherwise stated	
Application : Decolourization, Deodorization, Dechlorination and Organic compound removal	
PHYSICAL PROPERTIES	SPECIFICATION
Particle Size Distribution : Under 325 mesh (0.045 mm) (ASTM MESH/mm.)	MIN. 60%
Apparent Density (g/cc)	MIN. 0.50
Moisture (%w/w) (As Packed)	MAX. 8
ASH (%w/w) (As Packed)	MAX. 3.5
pH	9-11
Surface Area (m ² /g) (BET)	MIN. 1000
Iodine Number (mg/g) (AWWA B604)	MIN. 950
Carbon Tetrachloride Adsorption (%w/w) (ASTM 3467-88)	MIN. 40
Methylene Blue (cc/g) (JIS K 1407-67)	MIN. 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ เกิดวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2517 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัยนนทบุรี ปีการศึกษา 2534 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540 ปัจจุบันศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ. "การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น." วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 16, ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2542. หน้า 141-146
2. ธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ และวิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. "การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีสำหรับการดูดซับฟีนอล." วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, เมษายน 2546.