

การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากเรซินที่ใช้งานแล้วในการกำจัดสี
UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM SPENT RESIN
IN COLOR REMOVAL



นางสาวศุภัชยา ศรีมุกข์
นางสาวพัชรนันท์ มณีคำ
นางสาวอรัญญา กุลไชยกุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

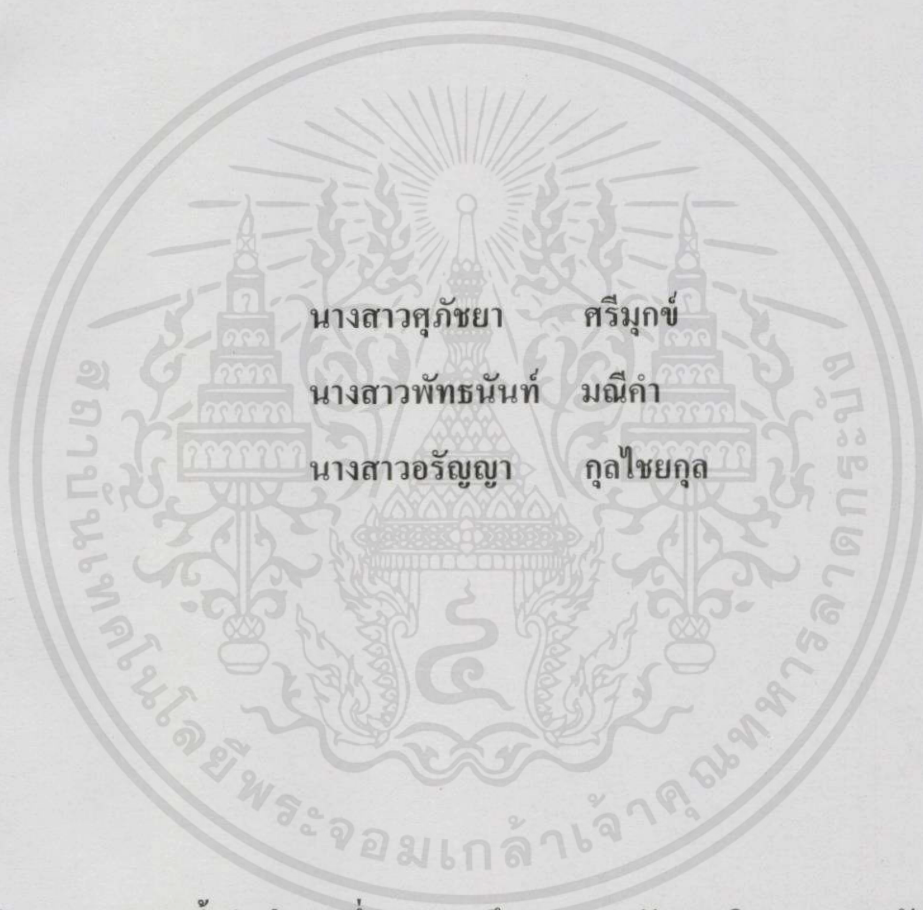
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากเรซินที่ใช้งานแล้วในการกำจัดสี

UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM SPENT RESIN
IN COLOR REMOVAL



นางสาวศุภชยา ศรีมุกข์
นางสาวพัทธนันท์ มณีคำ
นางสาวอรัญญา กุลไชยกุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2557
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM
SPENT RESIN IN COLOR REMOVAL**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2014** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากเรซินที่ใช้งานแล้วในการกำจัดสี
UTILIZATION OF ACTIVATED CARBON FROM SPENT RESIN
IN COLOR REMOVAL

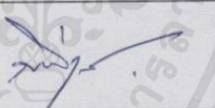
ชื่อนักศึกษา นางสาวศุภชยา ศรีมุกข์
 นางสาวพัชรนันท์ มณีคำ
 นางสาวอรัญญา กุลไชยกุล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	
อ.กถินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์จากเรซินที่ใช้งานแล้วในการกำจัดสี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวศุภชยา ศรีมุกข์
	นางสาวพัชรนันท์ มณีคำ
	นางสาวอรุณญา กุลไชยกุล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ครองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเรซินที่ใช้งานแล้ว และศึกษาการกำจัดสีในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ เรซินที่ใช้เป็นเรซินชนิดประจุลบที่ใช้แล้ว ในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Spent anionic exchange resin, SR) และ นำมาปรับสภาพใหม่ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Regenerate resin, RR) ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ ใช้ทั้ง SR และ RR เเผาแบบเผาถ่านทั่วไป และ นำมากระตุ้นด้วยสารเคมีต่างๆ คือ ซิงค์คลอไรด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ ซิงค์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิต่างๆ นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาศึกษาสมบัติ การดูดซับทางกายภาพ และ การบำบัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เมทิลีนบลู (MB) เข้มข้น เริ่มต้นต่างๆ ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ณ อุณหภูมิ 700°C (C-SR-ZnCl₂700) มีพื้นที่ผิว 251.43 m²/g มีขนาดรูพรุน 27.35 Å เป็นแบบไมโครพอร์ มีค่าไอโอไดน นัมเบอร์เท่ากับ 499.27 mg/g ที่อัตราส่วนถ่าน : MB เท่ากับ 0.05 : 10 (w/v) ที่เวลา 30 นาที และ ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู 10 mg/L ถ่าน C-SR-ZnCl₂700 สามารถกำจัดสีได้มากถึง 28.21%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ: เรซินที่ใช้งานแล้ว, ถ่านกัมมันต์, การกำจัดสี
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลแบบเบ็ดเสร็จ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Utilization of Activated Carbon from Spent Resin in Color Removal	
Students	Miss Supachaya	Srimook
	Miss Patthanan	Maneekham
	Miss Arunya	Kunchaikun
Degree	Bachelor of science	
Major Program	Environmental Chemistry	
Academic Year	2014	
Advisor	Asst.Prof. Krongkaew	Tippayasak

ABSTRACT

The aims of this project are to produce activated carbons (AC) from spent resin and their utilization in dye removal on wastewater. Resin were a spent anionic exchange resin (SR) from water purification process and their generated resin (RR) by sodium hydroxide. The carbonization step in the AC process was done as general process both SR and RR. The activation steps were done by varied with chemicals; Zinc chloride, Potassium hydroxide and Zinc oxide with varied temperatures. The physical adsorption properties of all AC were studied then the methylene blue color removal in synthetic wastewater at varied initial concentrations were examined. The results showed that AC activated by Zinc chloride at 700°C (C-SR-ZnCl₂,700) have maximum surface area 251.43 m²/g and micropore width 27.35 Å. The iodine number was 499.27 mg/g. At AC:MB ratio 0.05:10 (w/v), contact time 30 minutes, and MB initial concentration 10 mg/L, C-SR-ZnCl₂,700 can remove color more than 28.21%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Keywords: Spent resin, Activated carbon, Color removal

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ที่คอยให้การช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการพิเศษ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณา ความเมตตา ที่เสียสละเวลาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งแนะนำแนวทาง ในการดำเนินงาน ตลอดจนความห่วงใย การดูแล ความเอาใจใส่กับคณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท ทริท เคมีคอล จำกัด ที่อนุเคราะห์เรซินเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวของ นางสาว ศุภชยา ศรีมุขย์ ที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือ การเผาเรซินให้เป็นถ่าน โดยวิธีเผาแบบทั่วไป รวมถึงจัดหาวัสดุเชื้อเพลิงในการผลิตถ่าน จากเรซินในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.นราธิป วิทยากร และ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ห้องเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงการขอใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี การขอใช้ สถานที่ และ การดำเนินการต่างๆ ตลอดจนการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณบิดา-มารดา และ คนในครอบครัว เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และเป็น กำลังใจในการฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ตลอดจนการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงข้างต้นที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และ คำแนะนำต่างๆ สำหรับโครงการพิเศษนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เรซิน	3
2.2 ถ่านกัมมันต์	9
2.3 กระบวนการดูดซับ	19
2.4 สีย้อม	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	31
3.3 การดำเนินงานวิจัย	32
3.4 การเตรียมเรซินชนิด RR (Regenerate Resin)	33
3.5 กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน	33
3.6 กระบวนการกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์	35
3.7 การดูดซับสีเมทิลีนบลู	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน	38
4.2 กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน	39
4.3 คุณภาพของถ่านกัมมันต์	41
4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)	43
4.5 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์	45
4.6 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method	46
4.7 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ	46
4.8 การดูดซับสีเมทิลีนบลู	48
4.9 เปรียบเทียบวัตถุดิบ และ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์	50
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	51
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	51
5.3 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	61
ภาคผนวก ค	65
ภาคผนวก ง	84
ภาคผนวก จ	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของเรซิน Lewatit Monoplus รุ่น M500	6
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์	18
ตารางที่ 2.3 ประเภทและสมบัติของสีย้อม	26
ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	32
ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน SR กับ RR	38
ตารางที่ 4.2 ตรวจสอบคุณภาพของถ่านกัมมันต์	42
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Ce$ กับ $\log X/M$ ของถ่านชนิดต่างๆ	44
ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method	46
ตารางที่ 4.5 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุล และความเข้มข้นที่เหลือ	47
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลลินบลู	49
ตาราง ก-1 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน	65
ตาราง ก-2 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์	66
ตาราง ก-3 อุณหภูมิขณะคาร์บอนไนซ์เซชัน 24 ชั่วโมง	67
ตาราง ก-4 ร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักตั้งต้น	67
ตาราง ก-5 ร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง	68
ตาราง ก-6 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 700 °C	68
ตาราง ก-7 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH 300 °C	69
ตาราง ก-8 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH 700 °C	70
ตาราง ก-9 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnO 700 °C	71
ตาราง ก-10 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตาราง ค-11 ผลการวิเคราะห์ไฮโอดีนของ C-SR-KOH300 และ C-RR-KOH300	72
ตาราง ค-12 ผลการวิเคราะห์ไฮโอดีนของ C-SR-KOH700 และ C-RR-KOH700	72
ตาราง ค-13 ผลการวิเคราะห์ไฮโอดีนของ C-SR-ZnCl ₂ 400 และ C-RR-ZnCl ₂ 400	72
ตาราง ค-14 ผลการวิเคราะห์ไฮโอดีนของ C-SR-ZnCl ₂ 700 และ C-RR-ZnCl ₂ 700	73
ตาราง ค-15 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม	73
ตาราง ค-16 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	74
ตาราง ค-17 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-SR-ZnCl ₂ 700	74
ตาราง ค-18 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-RR-ZnCl ₂ 700	75
ตาราง ค-19 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-SR-KOH700	75
ตาราง ค-20 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของชุดควบคุม	76
ตาราง ค-21 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	76
ตาราง ค-22 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-SR-ZnCl ₂ 700	77
ตาราง ค-23 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-RR-ZnCl ₂ 700	77
ตาราง ค-24 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-SR-KOH700	78
ตาราง ค-25 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของชุดควบคุม	78
ตาราง ค-26 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของถ่านกัมมันต์ทางการค้า	79
ตาราง ค-27 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-SR-ZnCl ₂ 700	79
ตาราง ค-28 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-RR-ZnCl ₂ 700	80
ตาราง ค-29 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-SR-KOH700	80
ตาราง ค-30 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับค่าการดูดกลืนแสงของถ่านแต่ละชนิด	81
ตาราง ค-31 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับของถ่านแต่ละชนิด	82
ตาราง ค-32 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับพีเอชของถ่านแต่ละชนิด	83
ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ไฮโอดีนของ C-RR-KOH300	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเรซิน	8
รูปที่ 2.2 ประเภทของถ่านกัมมันต์แบ่งตามลักษณะรูปร่าง	12
รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	12
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์	16
รูปที่ 2.5 แบบจำลองวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase) บนผิวตัวดูดซับสาร	20
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับ	21
รูปที่ 3.1 กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน	34
รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	37
รูปที่ 4.1 เรซิน SR และ RR	38
รูปที่ 4.2 คาร์บอนไนซ์เซชัน	40
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิขณะการคาร์บอนไนซ์	40
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log X/M$ กับ $\log Ce$	43
รูปที่ 4.5 ค่าการดูดซับ ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์การค้า และ ถ่านที่ผลิตจากเรซิน	44
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์	45
รูปที่ 4.7 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลืองจากการดูดซับ	48
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลู ณ ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน	49
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ Ce	50
รูป ก-1 เครื่อง Vibrating ball mills และ เม็ดบดเซรามิกอลูมินา	58
รูป ง-1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log X/M$ กับ $\log C$	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำเต็ม
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส (Degreecelsius)
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (Microsiemenspercentimeter)
C_0	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C_e	ความเข้มข้นที่เหลือ
C-SR	ถ่านจากเรซิน SR
C-RR	ถ่านจากเรซิน RR
C-SR-KOH300	ถ่านจากเรซิน SR ที่กระตุ้นด้วย KOH ที่ 300°C
C-RR-KOH300	ถ่านจากเรซิน RR ที่กระตุ้นด้วย KOH ที่ 300°C
C-SR-KOH700	ถ่านจากเรซิน SR ที่กระตุ้นด้วย KOH ที่ 700°C
C-RR-KOH700	ถ่านจากเรซิน RR ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ที่ 700°C
C-SR- ZnCl_2 400	ถ่านจากเรซิน SR ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ที่ 400°C
C-RR- ZnCl_2 400	ถ่านจากเรซิน RR ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ที่ 400°C
C-SR- ZnCl_2 700	ถ่านจากเรซิน SR ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ที่ 700°C
C-RR- ZnCl_2 700	ถ่านจากเรซิน RR ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ที่ 700°C
C-SR-ZnO	ถ่านจากเรซิน SR ที่กระตุ้นด้วย ZnO
C-RR-ZnO	ถ่านจากเรซิน RR ที่กระตุ้นด้วย ZnO
cm^3/g	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
g	กรัม (Gram)
g/mL	กรัมต่อมิลลิลิตร
$\log \frac{X}{M}$	ลอการิทึมการดูดซับ ไอโอดีน
$\log C_e$	ลอการิทึมความเข้มข้น ไอโอดีนที่เหลือ
M	โมลาร์ (Molarity)
M	น้ำหนัก (กรัม)
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม (Milligrampergram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อนุญาตเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร (Milligramperliter)
mL	มิลลิลิตร
N	นอร์มัล (Normality)
nm	นาโนเมตร (Nanometre)
q	ปริมาณเมทิลีนบลูบนตัวดูดซับ
S.D.	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
SR	เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว
RR	เรซินที่ผ่านการปรับสภาพ
rpm	รอบต่อนาที (Roundperminute)
\bar{x}	ค่าเฉลี่ย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน พบว่ามีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มจำนวนมากขึ้น ตามข้อมูลสถิติโรงงานอุตสาหกรรมที่จดทะเบียนไว้กับกระทรวงอุตสาหกรรม และได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) ที่ว่าราชอาณาจักรประจำปี พ.ศ.2555 มีจำนวน 134,830 โรงงาน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) และจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ. 2556 มีจำนวน 138,177 โรงงาน (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556) ทั้งนี้ก็พบว่าในกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงานนั้น จะก่อให้เกิดของเสียที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์เกิดขึ้น เช่น ในโรงงานที่มีการนำเรซิน มาใช้ประโยชน์ ใช้บำบัดน้ำให้ปราศจากไอออน จะทำให้เกิดปริมาณเรซินที่เป็นของเสียเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปจะกำจัดโดยการฝังกลบ หรือวิธีการอื่นๆที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากเรซินของเสียที่อาจเกิดขึ้นในภายหลัง แต่นอกจากวิธีที่นำเรซินของเสียมากำจัดแล้วนั้น ยังมีอีกวิธีที่สังเกตเห็นในความสำคัญของเรซินของเสีย โดยการนำเอาเรซินของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง เช่น การแปรสภาพเรซินของเสียโดยวิธีการที่เหมาะสมเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรม การฟอกสีของน้ำตาล, ใช้ในการทำให้น้ำและ อากาศบริสุทธิ์, ใช้ในการดูดตัวทำละลายกลับคืนมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมบางอย่าง เช่น อุตสาหกรรมยาง, ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย, ใช้ในการกำจัดกลิ่น, ใช้ในการกำจัดควันของเครื่องบินไอพ่นจากสนามบิน, ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทำปฏิกิริยาของก๊าซ, ใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่น, ใช้ในการกำจัดพวกสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกจากสารละลายที่ใช้ในการชุบโครเมียม, ใช้บรรจุในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งวิธีนี้นอกจากจะช่วยลดขั้นตอนในการกำจัดเรซิน ของเสียแล้ว ยังช่วยลดปริมาณเรซินของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีจำนวนมากขึ้นในทุกปีอีกด้วย ซึ่งในอนาคต มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาเรซินของเสียมีปริมาณมากเกินไปจะใช้วิธีกำจัดโดยการฝังกลบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาการแปรสภาพจากเรซินของเสียที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งอาจมีความสามารถในการกำจัดสีได้ เพื่อให้ น้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้น สามารถปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ส่งผล หรืออาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเรซินที่ใช้แล้วมาทำการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์
- 2) ศึกษาสารเคมีกระตุ้นที่เหมาะสม กับ ถ่านจากเรซิน
- 3) ศึกษาคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาเรซิน
- 4) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการเผาเรซินให้เป็นถ่านกัมมันต์
 - 1.1 เปรียบเทียบเรซินเริ่มต้นในการใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ เรซินที่ผ่านการใช้งานปกติ และ เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาปรับสภาพ
 - 1.2 ศึกษาการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี 3 ชนิด คือ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ณ อุณหภูมิต่างๆ
- 2) ศึกษาการดูดซับสีเมทิลีนบลู
 - 2.1 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ
 - 2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลู ณ ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถลดปริมาณของเสียเรซินที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์
- 2) ทราบแนวทางการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น
- 3) ทราบแนวทางการบำบัดสีย้อม โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เรซิน

2.1.1 สมบัติของเรซิน

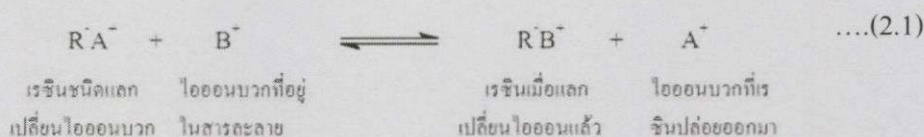
เรซิน หมายถึง สารพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน (Polymerization) ของสารอินทรีย์ได้หลายรูปแบบ เช่น จากสไตรีนและไดไวนิลเบนซีน หรือ พอลิเมทาคริลิก หรือเมทาคริลิก แอซิด และ ไดไวนิลเบนซีน หรืออะคริลิก แอซิด และ ไดไวนิลเบนซีน กระบวนการพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน สามารถทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์เชื่อมโยงกัน (Cross-linking) ทำให้ได้เรซินที่สมบัติแตกต่างกัน เช่น โครงสร้างแบบร่างแห (Three-dimension network) มีความแข็งแรงมาก ดังนั้น จึงไม่ละลายในตัวทำละลาย (Solvent) ทั่วไป

เรซินที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ เรซินจากการพอลิเมอร์ไรซ์จากสไตรีน กับ ไดไวนิลเบนซีน (ธวัชชัย, 2551)

สมบัติทางกายภาพ มีสมบัติ แข็ง ใส เหนียว สามารถใช้งาน ในอุณหภูมิสูงกว่าพลาสติกแบบเทอร์โมพลาสติกแต่เมื่อเทียบกับโลหะแล้ว เรซินมีความแข็งแรงน้อยกว่ามาก แต่เมื่อเสริมความแข็งแรงด้วยใยแก้วจะได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีน้ำหนักเบา เหนียว ไม่เปราะ และแข็งแรงกว่าโลหะ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักค่อนน้ำหนัก มีสมบัติทางไฟฟ้า โดยสามารถใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ได้ มีสมบัติทางเคมี ในการทนการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี และไม่เกิดสนิม

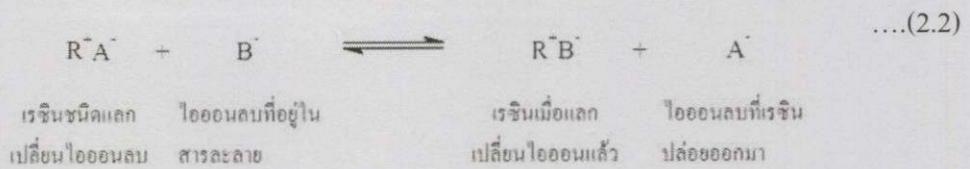
เรซินที่เตรียม มีสมบัติขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ที่นำเข้าไปในอะโรมาติกนิวเคลียส ดังนั้น เรซินที่ใช้ในการทำแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแบ่งตามสมบัติของ หมู่ฟังก์ชันใส่เข้าไปได้ 2 ชนิด ดังนี้

- เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation-exchange resin) คือ เรซินที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน เช่น -OH, -COOH, -PO(OH)₂, -SO₃H เป็นต้น ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนบวก (Cation) จากสารละลายที่อยู่ใกล้เคียงได้ ซึ่งอาจเขียนปฏิกิริยาทั่วไปได้ ดังปฏิกิริยา 2.1



นอกจากนี้ยังเป็นเอกสารเกี่ยวกับเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion-exchange resin) คือ เรซินที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่อะมิโน (-NH₂) ทั้งไพรมารี (Primary, 1°) เซกนดารี (Secondary, 2°) และเทอร์เชียรี (Tertiary, 3°) และ หมู่ควอเทอร์นารีแอมีน (Quaternary amine group) ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยา

กับไอออนลบจากสารละลายที่อยู่ใกล้เคียงได้ ซึ่งอาจเขียนปฏิกิริยาทั่วไปได้ ดังปฏิกิริยา 2.2

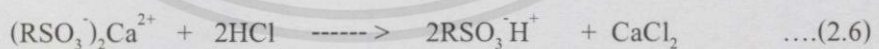
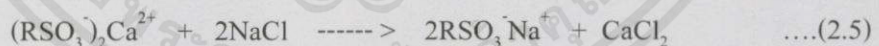


หากแบ่งตามลักษณะการใช้งานตามหมู่ฟังก์ชัน จะสามารถแบ่งได้เป็น หมู่กรด (Acid group) และ หมู่เบส (Base group) นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยลงไปได้อีกเป็น เรซินแบบกรดแก่ (Strong acid ion Exchanger) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acid ion Exchanger) เรซินแบบด่างแก่ (Strong base ion Exchanger) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak base ion Exchanger) ดังนี้

- เรซินแบบกรดแก่ (Strong acidic cationic resin) มีหมู่ซัลโฟนิก (SO_3^-) เป็นประจุไฟฟ้าลบ โดยมี H^+ หรือ Na^+ เป็นประจุบวก หน้าที่ของเรซินแบบกรดแก่จะใช้ไอออนบวกของตัวเอง แลกกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} เป็นต้น เรซินแบบนี้ปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดซัลฟิวริก หรือกรดไฮโดรคลอริก ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ ในรูป H^+ หรือ Na^+ ดังปฏิกิริยา 2.3 - 2.4



เรซินแบบกรดแก่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ทั้งหมด เมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถฟื้นฟูเรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องฟื้นฟูด้วยโซเดียมคลอไรด์ ส่วนในรูป H^+ ต้องฟื้นฟูด้วยกรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก ดังปฏิกิริยา 2.5 - 2.6



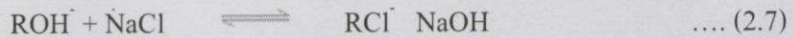
- เรซินแบบกรดอ่อน (Weak acidic cationic resin) มีหมู่คาร์บอกซิลิก (COO^-) เป็นหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าลบ โดยมี H^+ หรือ Na^+ เป็นประจุบวก เรซินแบบนี้มีปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดอะซิติก

- เรซินแบบด่างแก่ (Strong basic anionic resin) มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวก คือ หมู่ฟังก์ชัน Quaternary Amine และมี Cl^- หรือ OH^- เป็นประจุลบ มีปฏิกิริยาเคมีเหมือนด่างแก่ หน้าที่ของเรซินแบบด่างแก่ คือ ใช้ไอออนลบของเรซินแลกเปลี่ยนกับไอออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} และ SiO_2

เรซินแบบต่างแ่แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. Type I มีความเป็นด่าง และ ความคงทนสูง มีความสามารถในการจับซิลิกาได้ดี
2. Type II มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และ ประสิทธิภาพในการฟื้นฟู ปฏิริยาในการแลกเปลี่ยนไอออน และ รีเจนเนอเรชัน เป็นปฏิริยาย้อนกลับได้ ดังปฏิริยา

ที่ 2.7



สารที่ใช้ในการฟื้นฟู คือ โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเรซินแบบต่างแ่ไม่จำเป็นต้องมีไอออนอิสระก็ได้ ดังนั้นกลไกการทำงานของเรซินจะเป็นลักษณะ Absorption ไม่ใช่ลักษณะการแลกเปลี่ยนประจุ

- เรซินแบบด่างอ่อน (Weak basic anionic resin) มีหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวก คือ หมู่ฟังก์ชัน Primary, Secondary หรือ Tertiary Amino และมี Cl^- , OH^- หรือไม่มีก็ได้ เป็นประจุลบ การกำจัดไอออนลบของเรซินแบบนี้จะแตกต่างกับเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้จะกำจัดเฉพาะกรดแ่ เช่น HCl , H_2SO_4 และ HNO_3 ออกจากน้ำ และ ไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น SiO_2 , CO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแ่เกิดขึ้นโดยที่กรดแ่ทั้ง โมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน

ในการทดลองนั้น ใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุลบที่ผ่านการใช้งานแล้ว ยี่ห้อ Lewatit Monoplus รุ่น M500 มีสมบัติดังตารางที่ 2.1 ซึ่งมี Quaternary amine Type I เป็นหมู่ฟังก์ชัน เป็นประจุไฟฟ้าบวก และมี Cl^- เป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ จึงสามารถแลกเปลี่ยนไอออนลบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของเรซิน Lewatit Monoplus รุ่น M500 (www.lewatit.com, 2006)

รายละเอียดทั่วไปของเรซิน

ให้ไอออน	Cl^-
หมู่ฟังก์ชัน	Quaternary amine, type I
เมตริกซ์	รูปตาข่ายของ polystyrene
โครงสร้าง	ลูกบิดชนิดเจล
ลักษณะที่ปรากฏ	สีเหลือง, โปร่งแสง

ลักษณะทางกายภาพและเคมี

	หน่วยวัด	
ค่าสัมประสิทธิ์ที่สอดคล้อง	Max	1.1
ขนาดของเม็ด	mm.	0.62(+/-0.05)
ช่วงสัดส่วนของเม็ด	ขนาดของเม็ด	+/-0.05 มม.Vol.
		> 90
ความหนาแน่น	(+/-0.05%)g/l	700
ค่าความอึมน้ำ	approx. g/ml	1.08
	Wt. %	4.8 – 5.5
ค่าความจุจำเพาะทั้งหมด	min.eq/l	1.3
การแลกเปลี่ยนประจุ $\text{Cl}^- \rightarrow \text{OH}^-$	Vol.Max	22
ความเสถียรในช่วง pH		0 - 14
การเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์	Max.year	2
การเก็บรักษาช่วงอุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$	-20 - 40

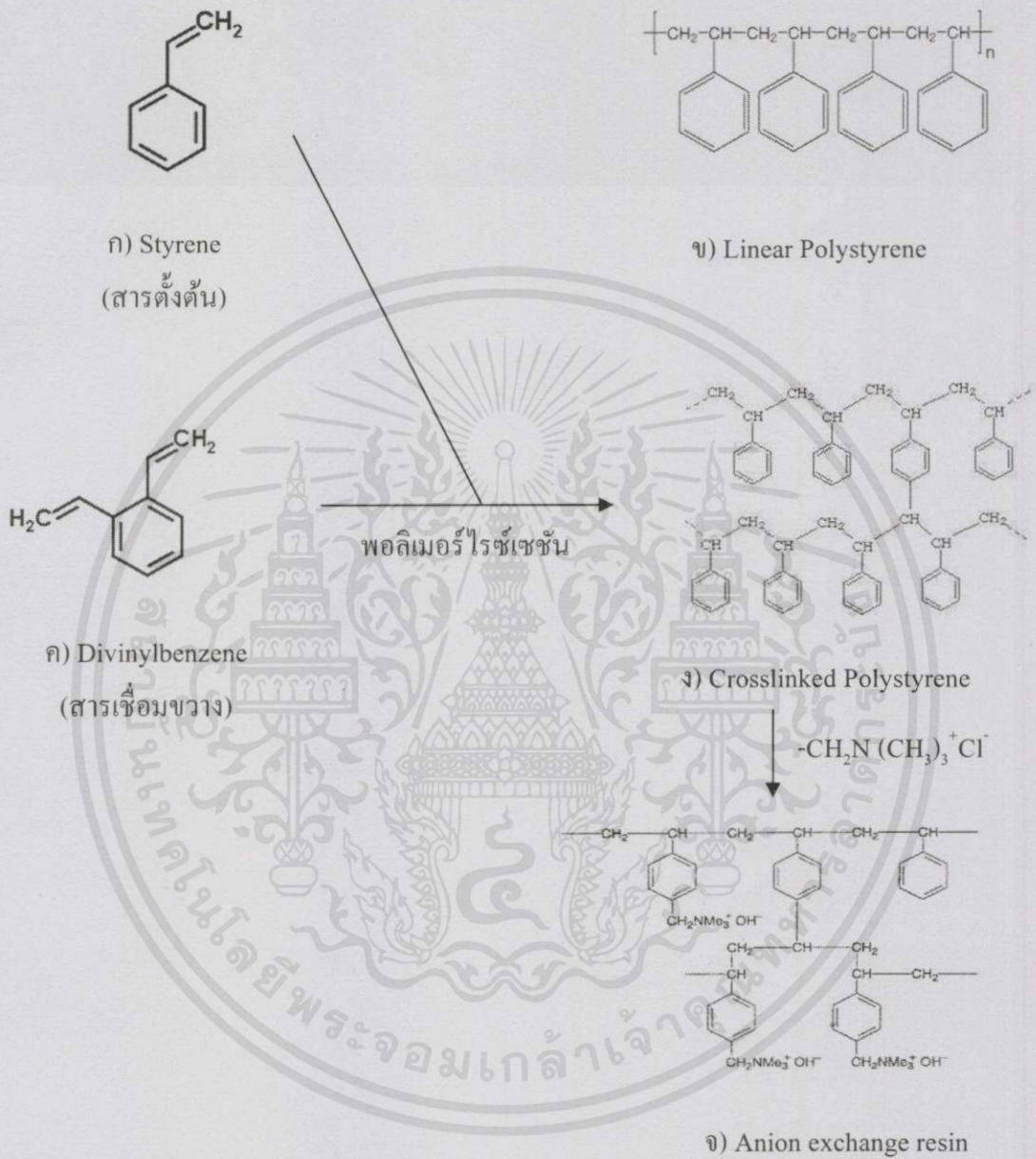
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพการทำงานที่เหมาะสม

อุณหภูมิ		Max, °C	70
ช่วง pH			0 - 12
ความลึก		Min, mm.	800
ความดันจำเพาะต่ำสุด	(15 °C)	approx.kPa*h/m ²	1.0
ความดันต่ำสุด			200
ความเร็วเชิงเส้น	exhaustion	Max.m/h	60***
ความเร็วเชิงเส้น	ล้างย้อน (20 °C)		7
การขยายของเม็ด	(20 °C, per m/h)		11
ระเหยพื้นน้ำ	ล้างย้อน (ภายนอก/ภายใน)	Vol.%	80 - 100
ล้าง			NaOH
ล้างทวนกระแสน	ระดับ		50
ระบบWS	ความเข้มข้น	approx. %wt	2 - 4
ความเร็วเชิงเส้น	พื้นฟูสภาพ	approx. m/h	5
ความเร็วเชิงเส้น	การล้าง		5
การล้างน้ำ	ช้า/เร็ว		10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โครงสร้างทางเคมีโดยทั่วไปของเรซิน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเรซิน (เกศสุชา, 2537)

ก) ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารตั้งต้น

ข) เมื่อมีหลายโมเลกุลมาต่อกันจะเป็นพอลิเมอร์ประเภทโซ่ตรง

ค) การต่อกันเป็นสามมิติเกิดขึ้นได้เมื่อมีสารเชื่อมขวาง

ง) เรซินแบบโครงสร้างแห้วที่เกิดจากการพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน

จ) หลังเติมหมู่ไอออน ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนลบได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ประโยชน์ของเรซิน

เรซินต้องมีไอออนอิสระที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำได้ ไม่ละลายน้ำ และมีช่องว่างภายในโครงร่างไฮโดรคาร์บอนอย่างเพียงพอ เพื่อให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าออกได้สะดวก เรซินโดยทั่วไปมีลักษณะกลม ขนาดใกล้เคียงทรายกรอง แต่หนักไม่เท่า มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.3 ค่าถ่วงจำเพาะทรายประมาณ 2.65 มีความชื้นภายในตัวร้อยละ 40-50 จึงมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในตัว ซึ่งมีความสำคัญต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ระดับการบวมน้ำ หรือ กักเก็บน้ำ เมื่อแช่อยู่ในน้ำของเรซินขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมขวาง ถ้าเรซินมีไฮโดรคาร์บอนที่มีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ ช่องว่างภายในจะมีมาก เก็บน้ำได้มาก แต่ความสามารถ (คิดต่อปริมาตรของเรซิน) ในการแลกเปลี่ยนไอออนจะต่ำในทางตรงข้ามกัน ถ้าเรซินที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูง จะมีความสามารถ (คิดต่อปริมาตรของเรซิน) ในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง มีความชื้นน้อย และ พองตัวน้อย อย่างไรก็ตาม ถ้าแรงยึดเหนี่ยวสูงเกินไปจนทำให้ช่องว่างภายในเรซินเหลือน้อย ไอออนไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวก ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง และ อาจทำให้เรซินแตกง่ายด้วย เรซินมักจะนำมาใช้ในการกำจัดสารละลายน้ำที่อยู่ในรูปของไอออนเท่านั้น ผู้ใช้ไม่ควรใช้เรซินแทนทรายกรองน้ำเป็นอันขาด เพราะสารแขวนลอยต่างๆ จะลดทอนอายุการใช้งานของเรซิน ดังนั้นน้ำที่จะเข้าถึงเรซินควรเป็นน้ำใส

แต่สำหรับเรซินที่เหลือจากการใช้กำจัดสารละลายในน้ำที่อยู่ในรูปของไอออนแล้วนั้น ก็จะก่อให้เกิดเป็นเรซินของเสียที่เป็นอันตราย จึงต้องมีวิธีการกำจัดเรซินเหล่านั้นต่อไปอย่างเหมาะสม

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556)

ถ่านกัมมันต์ คือวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายใน และ มีความพรุนสูงเป็นการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุน และมีพื้นที่ผิวภายในสูงซึ่งหากดูที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87 - 90 % และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และ ไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิตดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซ และ ของเหลวได้ในปริมาณสูงซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ ตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยจากสมบัติที่เหมาะสม และมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) ชนิดหนึ่งแต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (Activation)

ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อน และการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุโครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนต์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Microporous structure) และ มีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้ว พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่พื้นผิว และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (Silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (เพียรพรรค ทศคร, 2535)

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดซึ่งทำได้โดย การทำให้เกิดรูพรุนหรือ โครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม (Angstrom, Å) ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้น พื้นที่ผิวจึงสูง จะมีความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) สูงด้วย เช่น การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์จะทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาด และ พื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of adsorbate) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (Temperature) และ เวลาในการสัมผัส (Contact time)

2.2.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ แบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ คือ

1 .แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

1.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

1.2 การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ ก๊าซออกซิไดซ์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของฟิวคาร์บอน

2.1 รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 nm มักใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือ ไอระเหย

2.2 รูพรุนขนาดกลาง (Transitional or mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15-100 nm มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3 รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 100 nm มักใช้ในการฟอกสี หรือ ผลิตยา

3. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

3.1 ความหนาแน่นต่ำน้อยกว่า 0.35 กรัม/มิลลิลิตร ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

3.2 ความหนาแน่นสูงมากกว่า 0.45 กรัม/มิลลิลิตร ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดซับก๊าซพิษ หรือ ไอระเหยให้อัตราการดูดซับที่สูง

4. แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

4.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) ดังรูปที่ 2.2 ก เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงโดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15 – 0.25 มิลลิเมตร นิยมใช้ในการดูดซับสารในสถานะของเหลว เช่น การฟอกสี และ ดูดกลิ่นในของเหลว

4.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ดังรูปที่ 2.2 ข เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือ เป็นถ่านกัมมันต์แบบผงแล้วมาเติมตัวประสานทำให้เป็นเม็ดสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 mesh ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 และสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh ได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และ นำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซ และ ไอระเหยโดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

ก. Pellett activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับเครื่องอัดใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือ การทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ และ ใช้ทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซ และ ไอพิษต่างๆ

ข. Granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือ ทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์

4.3 ถ่านกัมมันต์แบบเป็นแท่ง (Extruded) ดังรูปที่ 2.2 ค ใช้ในเบดนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด และ แบบขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผง เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.2.3 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ ยาง พลาสติก ถ่านหิน กากกาแฟ และฟิท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์ สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือ เริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิตแต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบด และ คัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนในเซชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็ง และ เหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนในเซชันก่อนแล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2536)

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติ ดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูก และ หาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่านมักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันอินทรีย์วัตถุ หรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural char) เช่น ถ่านหินก็ได้ถ่านสังเคราะห์แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท

1. ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard artificial char) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันที่ความดันสูง
2. ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft artificial char) เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านกากน้ำตาล

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงได้มีการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการนำของเสียเหลือทิ้งมาผลิตถ่านกัมมันต์คือวัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนในการผลิต

อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบแบ่งได้ ดังนี้

1. สารเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ขี้เลื่อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด วัชพืชทะเล กากกาแฟ ไม้ เปลือกถั่ว เมล็ดพืช กากน้ำตาล เป็นต้น
2. ถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ ฟิท บิทูมินัส หินน้ำมัน ถ่านฟิท ถ่านหินน้ำมัน แอนทราไซต์ แกรไฟต์ เป็นต้น
3. วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดูก ปลา กากหนัง เป็นต้น

อนินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีดังนี้ ฝุ่นจากปล่องไฟ กากโปแตสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ เศษยาง กากกรดปีโตรเลียม ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา เป็นต้น

2.2.4 โครงสร้าง และ สมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบน้อยกว่า ผลึกแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซีน หรือ กลุ่มของคาร์บอนอะตอม ที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม คือ แต่ละอะตอมมีพันธะเดี่ยวอีก 3 อะตอม ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนในการเกิดพันธะนี้เป็นแบบซิกมาอิเล็กตรอน (Sigmaelectron) อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอน (Phi electron) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียของค้ำประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่นขนาดของรู เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ และ มีความลึกไม่สม่ำเสมอลักษณะรูปร่างของรูนั้น ไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางรูเป็นรูปตัววี สามารถจำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนได้

1. แมคโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100 - 200 nm ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้น แมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

2. เมโซพอร์ (Mesopores) หรือ ทรานซิชันนัลพอร์ (Transitionalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 - 100 nm ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate Catalyst)

3. ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 nm ปริมาตร 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งมากถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับ

และพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ

รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุน แต่ละขนาด

หรือที่เรียกกันว่า “การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัสดุคิบที่ใช้ และ วิธีการกระตุ้นตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)

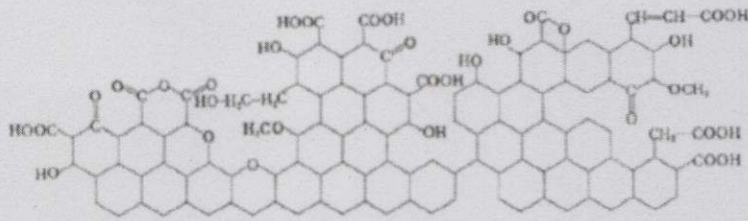
โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมาก ประกอบด้วยรูพรุนกระจัดกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมโครพอร์ เมโซพอร์ และ ไมโครพอร์เรียกว่า “โครงสร้างผสม (Mixed Structure Type)” พบว่าแมโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาค โดยมี เมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกที่หนึ่ง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 - 300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะ และ ธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ อาจเกิดจากไฟอิลิเล็กตรอนแรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชัน การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแกร่งกว่าโอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

2.2.5 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆ ได้ เช่น อะตอมของออกซิเจน และ ไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ทั้งในกระบวนการคาร์บอนในเซชัน และการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป การที่มีอะตอมของออกซิเจน และ ไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมีจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชัน (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆ ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด เช่น หมู่Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lactone และ Carboxylic Acid Anhydride

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือ สามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมาก ทำให้แสดงความเป็นกรด ซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อย ทำให้ความเป็นเบสซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ (Jankowska *et al.*, 1991)

จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน อะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และ เกิดช่องว่างหรือโพรงได้ ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์ และ สารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่ เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์ และ สารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรงที่จะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทนความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

2.2.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

ก. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซ หรือไอ เช่น

ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษทั้งที่ใช้ในการทหาร และ ที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษ และ ไอของสารอินทรีย์ได้

- ใช้แยกก๊าซโซลีนออกจากก๊าซธรรมชาติ

- ใช้แยกเบนซีน (Benzene) ออกจากก๊าซอุตสาหกรรม

- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และ คายออกที่ความดันของไอต่างๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมักอุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น

- กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีนแอม โมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

- กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (Organic sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ

สิ่งเจือปนอื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- กำจัดกลิ่นในอากาศในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ดูดกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

ข. ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสี และ ทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสี และ ทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน และ ไขมัน สำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่ และ เปอร์ออกไซด์ ออกจากน้ำมัน และ ไขมันด้วย
- แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพ็กติน ซ็อกโกแลต น้ำผลไม้ เพราะไม่เป็นอันตราย และ ไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ทำให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติดีขึ้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและยา เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในยาและเคมีภัณฑ์อื่นๆ เช่น สเตรปโตมัยซิน (Streptomycin) คาเฟอีน (Caffeine) โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) รวมทั้งกรดต่างๆ
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดสี รส และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst support) สำหรับซิงค์อะซิเตท (Zinc acetate) ในโรงงานผลิตไวนิลคลอไรด์ (Vinyl acetate)
- ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ให้ยาถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ยาจะค่อยๆออกฤทธิ์โดยมีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ตัวอย่างคือไฮดรอกซีอะมิโนฟีนิลอะซิติก (Hydroxyl amino phenylar sonic acid) สำหรับรักษาโรคที่เกิดจากการติดเชื้ออะมีบา และ พาราไซต์ และ ยังใช้ดูดสารพิษจากผู้ที่กินยาเกินขนาด หรือกินยาพิษ นอกจากนี้ยังใช้รักษาอาการมีก๊าซมากในกระเพาะอาหารอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์

ผู้วิจัย/ผู้เขียน	วัตถุดิบ	สภาวะการบอไนซ์ที่ เหมาะสม	สถานะในการกระตุ้น		คุณสมบัติ		สารที่ถูกดูด ซับ
			วิธีกระตุ้น	อัตราส่วน	I ₂ No.(mg/g)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	
กันตภณ คงบุทร, จุฬาลักษณ์ พันธุ์รักษ์, 2554	เปลือกทุเรียน	ภายใต้ความดันสุญญากาศ T 500 °C	ทางเคมีด้วยKOH 50%, 900 °C สุญญากาศ	(KOH) 1 : 2 (ถ่าน)	-	406.9	สีซ็อมแอ ซิคบลู 80
จิตติ หวานแสนะห์, เจษฎา มานะสิทธิชัย, 2549	กระดุกไก่	เตาเผาเบคนิงเผาอบอากาศ T 550 °C 60 min	ไอน้ำยังยวด 750 °C 90 min	-	458	242	-
ธนกมล เศรษฐหิรัญ และคณะ, 2551	กะลามะพร้าว	700 °C	ทางเคมีด้วยไมโครเวฟ 900 W 50 s, เวลาสัมผัส 72 hr	H ₂ SO ₄ 50% 4g/20ml	284	-	-
นิภาพร บุญครอง, มลิสาน นวลเสื่อ, 2550	เปลือกหมาก และเม็ล็ด หมาก	ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เปลือก T 600 °C 120 min, เม็ล็ด T 650 °C 90 min	ด้วยไอน้ำยังยวด T 800 °C 180 min	-	-	เปลือก <408, เม็ล็ด500	-
เพ็ญศรี กุลอารีรัตน์ และคณะ, 2549	กระบอกไม้ ไผ่	เผาแบบห้องถิน ถึง 200 L 2-3 hr	ทางเคมีด้วยKOH 600 °C 2hr	(KOH) 2 : 1 (ถ่าน)	748	-	-
มัณฑุกันต์ นาคนาคา และคณะ, 2554	เปลือกถั่วลิสง	T 400 °C 1 hr	ทางเคมีด้วยไมโครเวฟ 700 W 90 s	(H ₃ PO ₄) 2 : 1	418	303.1	-
รติ แพร์กขกิจ, ศันสิธร เลหาเดช, 2551	เนื้อหมาก	800 °C 1 hr	ด้วยไอน้ำและZnCl ₂ 30% 800 °C 1 hr	(ZnCl ₂) 3 : 1 (ถ่าน)	-	427.1	-

2.3 กระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption Process) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) การดูดซับมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจงซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมีกระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือแรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อยคือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแล้วไม่ทำให้การเรียงตัวของโครงสร้างของแข็งเปลี่ยนไป โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่แข็งแรง เกิดพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับและเป็นแบบเฉพาะเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและผิวหน้าของตัวดูดซับ หลังการดูดซับชั้นของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับบนผิวหน้าเพียงชั้นเดียว

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption)

เกิดเมื่อตัวถูกดูดซับและวัสดุดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนที่มีประจุกับวัสดุดูดซับที่มีประจุตรงข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ผิวของวัสดุดูดซับกับไอออนของตัวถูกดูดซับ

4. การดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption)

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของ โมเลกุลตัวถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับที่หมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยน โครงสร้างไป พฤติกรรมดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

2.3.1 กลไกของกระบวนการดูดซับผิว (Adsorption mechanism)

เป็นการกักพวงสารละลาย หรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่อยู่ในของเหลวให้อยู่บนผิวของสารอีกชั้นหนึ่ง โดยสารละลาย หรือสารแขวนลอยขนาดเล็กจะถูกดูดซับ การดูดซับที่ผิวนี้อจะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง โดยมีได้ทั้งแบบก๊าซ -ของแข็ง และ ของเหลว -ของแข็ง ในการดูดซับที่ผิวโมเลกุลของสารละลาย หรือสารแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากตัวทำละลาย และ ไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอก

รูปที่ 2.5 แบบจำลองวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase) บนผิวตัวดูดซับสาร

การถ่ายเทโมเลกุลจากสารละลายไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในสารละลายเหลือน้อยเพราะ โมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ และ การดูดซับทางเคมี ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นการดูดซับทางกายภาพ แต่ถ้าเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมี

อธิบายขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (McKay, 1983) [Sanuel, 1987]

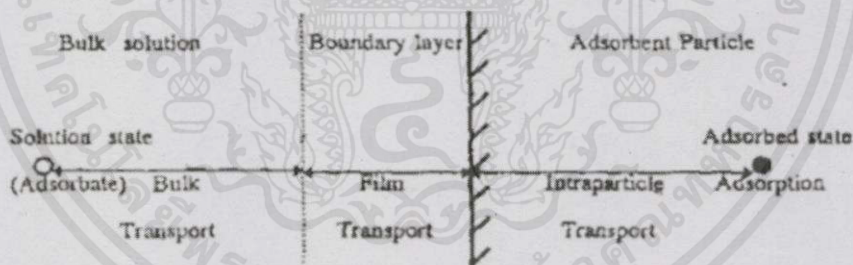
1. ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (Bulk solution transport) ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้กับอนุภาคของตัวดูดซับ (Boundary layer) การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ (Diffusion) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว

2. ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของตัวดูดซับ (Film diffusion) ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบางๆ ของสารละลายที่อยู่หนึ่งที่ถูกรอบๆ อนุภาคของตัวดูดซับ โดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล (Molecular diffusion) ระยะทาง และ เวลาในการเคลื่อนที่ของ

โมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับ หรือ การปั่นป่วนของสารละลายโดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆจะลดลง เมื่ออัตราการไหล และ ความปั่นป่วนสูงขึ้น

3. ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในตัวดูดซับ (Pore diffusion) ภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆ รอบอนุภาคของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้ (Intraparticle transport) อาจเกิดขึ้น โดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูพรุนในตัวดูดซับ หรือ โดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ (Surface diffusion)

4. ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับ (Adsorption bond) การสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับระหว่างตัวดูดซับ และ ตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้น ขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับกระบวนการดูดซับแบบกายภาพ (Physical adsorption) ด้วยเหตุนี้ ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกริยาในการกำจัดโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลายแต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกริยาจะช้าซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอนต่างๆที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้น ขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลาย



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับ (McKay, 1983)

2.3.2 วิธีการดูดซับ

1. แบบถังแช่ (Batch method)

เป็นการศึกษาการดูดซับโดยให้วัสดุดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับในสารละลาย วัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับเข้าถึงสมดุลได้โดยการแช่ทิ้งไว้ ซึ่งอาจใช้เวลานานเพื่อให้การดูดซับเข้าสู่

เอกสารถิ่นที่ระสมคูล แต่ถ้าต้องการให้การดูดซับเข้าสู่สมคูลเร็วขึ้นก็จะต้องทำการเข้าไปด้วยประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบต่อเนื่อง (Continuous method)

เป็นการศึกษาการดูดซับ โดยให้ตัวถูกละลายไหลผ่านวัสดุดูดซับตลอดเวลา หรือเรียกว่าแบบคอลัมน์ (Column method) นำวัสดุดูดซับบรรจุลงในคอลัมน์ แล้วผ่านสารละลายของตัวถูกละลายลงไป ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแบบนี้ ได้แก่ อัตราการไหล ขนาดคอลัมน์ ความสูงของวัสดุที่บรรจุ พบว่าการดูดซับในคอนบนของคอลัมน์จะมีปริมาณมากกว่าในตอนล่าง และ ประสิทธิภาพการของดูดซับแบบต่อเนื่องจะดีกว่าแบบถังแช่ ด้วยเหตุที่ว่าสารละลายของตัวถูกละลายจะสัมผัสกับวัสดุได้นานกว่า

2.3.3 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสาร (Mass transfer) มาสะสม (Accumulation) ที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิว โดยให้สารละลายที่มีตัวถูกละลาย (Adsorbate) ไหลสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลายจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิว และ เกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับ ได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย (Lyphobic, solvent disliking) และ ความชอบของตัวถูกละลายที่มีต่อตัวดูดซับ (Specific affinity) แต่การดูดซับไม่รวมถึงขบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface precipitation process) หรือ ขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือ ขบวนการอื่นๆที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้ว โดยทั่วไปจะใช้คำว่า Sorption (Danald, 1995)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film diffusion หรือ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ กล่าวคือ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบวัสดุดูดซับ จะมีความหนามากจึงเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่เข้าหาวัสดุดูดซับ ดังนั้น Film diffusion จึงเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม หากน้ำมีความปั่นป่วนสูง โมเลกุลของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่เข้าหาวัสดุดูดซับได้โดยง่าย กรณีนี้ Pore diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2534)

2. ขนาด และ พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุดูดซับ คือ ขนาด และ พื้นที่ผิว โดยขนาดของวัสดุดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผัน กับ อัตราการดูดซับ และพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับจัดเป็นสัดส่วน โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ วัสดุดูดซับที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กจะมีอัตราเร็วในการดูดซับมากกว่าโมเลกุลขนาดใหญ่ และ วัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดซับโมเลกุลของตัวถูกละลายได้มากตามไปด้วย

3. ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย ในกระบวนการดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกละลาย จะถูกดึงออกจากน้ำไปเกาะติดอยู่กับวัสดุดูดซับ หากตัวถูกละลายมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับตัวถูกละลายจะมีค่าสูง ดังนั้น จึงเป็นการยากที่จะดึงให้ตัวถูกละลายไปเกาะติดอยู่กับวัสดุดูดซับ

4. ขนาดของตัวถูกละลาย ขนาดของตัวถูกละลายมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในโพรงของวัสดุดูดซับ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การดูดซับจะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อขนาดของตัวถูกละลายมีความใกล้เคียงกับขนาดของโพรงของวัสดุดูดซับ (เล็กกว่าโพรงเล็กน้อย) ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างมวลของตัวถูกละลาย และ วัสดุดูดซับจะมีค่าสูงสุด

5. pH มีผลต่อความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออน และ ความสามารถในการละลายน้ำของสาร ดังนั้น จึงส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับด้วย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2534)

6. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็ว และ ขีดความสามารถในการดูดซับ โดยอัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงตามที่อุณหภูมิสูงขึ้น และ จะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง ทั้งนี้ เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic) (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2550)

2.4 สีย้อม (Dye stuffs)

สีย้อม เป็น สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดไม่สามารถละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยไปทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (Ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้น เกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้น มีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400 – 700 nm สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะ มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่าง โทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาคือออกมาเป็นต่างกันไป ทั้งนี้เราสามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

สีย้อมธรรมชาติ (Natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบพืช เช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้ไผ่ สีแดงจากดอกกรรณิการ์ สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

สีย้อมสังเคราะห์ (synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี สีย้อมจากสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียม ผ่านหินเมื่อน้ำมันปิโตรเลียม หรือผ่านหินผ่านการสกัด จะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซิน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอิน แนพทาลิน และพาราฟิน ซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมา มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับ ความเหมาะสมกับเส้นใย และ กระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การที่จะนำสีย้อมใดๆ มาย้อมให้ได้ผลดีนั้น ขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีอำนาจมากกว่าน้ำเรา จะสามารถทำให้เกิดสถานะเช่นนี้ ขึ้นได้เมื่อ โมเลกุลของสีย้อม มีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการคูติดเส้นใยได้เอง (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆ ว่าอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิดที่ทำให้สีคูติดเส้นใย คือ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond), แรง แวนเดอวัลส์ (Van der Waals' force), แรงไอออน (Ionic force) และ พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กำลังแรงเหล่านี้ มักไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง การคูติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อม กับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน สำหรับแรงยึดติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดที่ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ การเกิดสีของสีย้อม สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจาก การเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกกันว่า “โครโมฟอร์” ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม (ธงชัย, 2527) คือ

- กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group)
- กลุ่มไนโตร (Nitro Group)
- กลุ่มอะโซ (Azo Group)
- กลุ่มเอทิลีน (Ethylene Group)
- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group)
- กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (Carbonyl-Nitrogen Group)
- กลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group)

กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้ จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการคูกลืนแถบสีขาวไว้บางแถบแสง และ ปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีต่างกัน

ความเป็นพิษของสีย้อม และ มลพิษของสีย้อมโดยทั่วไป สีย้อมเป็นสารที่จัดได้ว่ามีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่ามีอัตราการตาย หรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือทางจมูกโดยการสูดดมทางผิวหนังโดยการสัมผัส และ ทางระบบทางเดินอาหาร โดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน แต่ก็เป็นที่ทราบกันดีว่าสารวัตถุเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ สีย้อม มีจำนวนไม่น้อยที่มีความเป็นพิษสูง และมีหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง

ผลกระทบของสีข้อมต่อสิ่งแวดล้อม หรือสมบัติด้านมลพิษของสีข้อมนั้น พบว่าสีข้อมเป็นสารที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่ความเป็นพิษต่อปลาค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของสีข้อมในน้ำทิ้ง ปัจจุบันมิได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีข้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำทิ้ง เนื่องจากสีข้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม ดังนั้น แม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมปัญหาที่เกิดจากสีข้อมในน้ำทิ้งจากโรงงาน สามารถสรุป ได้ดังนี้

1. ก่อให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ
2. สีข้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง
3. ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช
4. การผลิตออกซิเจนลดลง เนื่องจากผลกระทบจากข้อ 3 ซึ่งส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
5. ความเป็นพิษของตัวสีข้อม บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง

ทั้งหมดข้างต้น ส่งผลให้สภาวะของแหล่งน้ำไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ สีข้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีข้อม ตลอดจนวิธีใช้ต่างกัน และ จากกระบวนการผลิต พบว่า ประมาณ 10-15% ของสีข้อมจะถูกปล่อยไปสู่สิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีสารตั้งต้นต่างๆ เช่น เส้นใยสิ่งทอที่ได้จากธรรมชาติ และ จากการสังเคราะห์ พลาสติก หนัง กระดาษ น้ำมันถ่านหิน ขี้ผึ้ง และ ที่สำคัญคือ อาหาร และ เครื่องสำอาง สีข้อมบางชนิดพบว่าเป็นสารพิษ หรือสารกัดกร่อน เป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง และ เมื่อได้รับสะสมไปเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมสีข้อมของไทยจึงควรมีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมี และ การปฏิบัติตัวเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ประเภท และ สมบัติของสีย้อม

ประเภทของสีย้อม	สมบัติ
1. สีเอซิด (Acid dye)	เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน
2. สีไดเรกต์ (Direct dye)	เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส
3. สีเบสิก (Basic or Cationic dye)	เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอน และ โยอะคริลิกได้ดี
4. สีดีสเพอร์ส (Disperse dye)	ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติการกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และ อะคริลิกได้ดี สีดีสเพอร์สแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากหมู่เคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ และสีย้อมแอมมิโน แอนทราควิโนน
5. สีรีแอคทีฟ (Reactive dye)	ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ
6. สีอะโซอิก (Azoic acid)	ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ ใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท
7. สีเว็ท (Vat dye)	ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีเว็ทละลายน้ำ โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์
8. สีมอร์แดนต์ หรือโครม (Mordant or chrome dye)	เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนต์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้ จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน และ เส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี
9. สีอินเกรน (Ingrain dye)	ไม่ละลายน้ำ โดยเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำใช้สำหรับย้อมผ้า
10. สีออกซิเดชัน (Oxidation dye)	ไม่ละลายน้ำ อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้ย้อมผ้า และ ขนสัตว์
11. สีซัลเฟอร์ (Sulfer dye)	ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ นิยมนำมาย้อมผ้า

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลธิชา และ ลักขมณ (2554) ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่ใช้ในการกระตุ้นในช่วงความเข้มข้น 5, 10 และ 15 %wt, เวลาในการกระตุ้น 8, 12 และ 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน 400, 450 และ 500 °C จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 15 %wt เวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง และ อุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน 500 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ซึ่งจากการทดสอบโดยการดูดซับด้วยก๊าซไนโตรเจนและคำนวณจากสมการของ BET พบว่าได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และ ปริมาตรรูพรุนรวมสูงสุดเท่ากับ $831 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $0.61 \text{ cm}^3/\text{g}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมโดยในการศึกษานี้ใช้ $Cu(II)$ ที่ช่วงความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm พบว่าที่ความเข้มข้นของ $Cu(II)$ 100 ppm ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้สูงสุดเท่ากับ 18.36%

ชิตชนก และ ธัญชนก (2555) การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้เปลือกเมล็ดคางพาราเป็นวัตถุดิบตั้งต้น และ ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น โดยมีสองวิธีการที่แตกต่างกันคือ วิธีการแช่แล้วกระตุ้น และการแช่แล้วเผาก่อนการกระตุ้น จากผลการทดลอง พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะเป็นชนิดที่ 1 ซึ่งบ่งบอกว่าประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคเป็นส่วนใหญ่ ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้คือ $383.1 \text{ m}^2/\text{g}$ และ ขนาด รูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 20.9 \AA ได้จากวิธีการแช่แล้วกระตุ้น โดยใช้สภาวะการแช่เปลือกเมล็ดคางพาราในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วน 300 g/L ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ เมื่อใช้วิธีการเดียวกันโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีร้อยละเชิงพื้นที่ผิวจำเพาะ และ เชิงปริมาตรของ รูพรุนขนาดจุลภาคสูงสุดเท่ากับ 90.1 และ 96.4 ตามลำดับ จากนั้น นำถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดมาศึกษาความสามารถการเก็บประจุในสารอิเล็กโตรไลต์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดคางพารามีคุณสมบัติในการ เป็นตัวเก็บประจุได้

รุจิรา ปิ่นแก้ว (2556) ศึกษาการผลิต และ การเตรียมถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถ่านต่อปริมาณของสารละลายตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ตัวทำละลายอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์

จากนั้น จึงวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เถ้า และ ความชื้น ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับฟีนอล ค่าการดูดซับเมทิลลิโนบลู และ ค่าการดูดซับมีเทนจากผลการทดลองพบว่า สภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับไอโอดีน คือ 0.5 M $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 60 นาที สำหรับสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับเมทิลลิโนบลู คือ 1 M KOH ที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับเมทิลลิโนบลูสูงสุด ในการศึกษาการดูดซับฟีนอล พบว่าการกระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิห้องเวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับสูงการวิเคราะห์การดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้น พบว่า เวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ 60 นาที และ สภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุด คือ สภาวะการกระตุ้นด้วยความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้องเวลา 120 นาที ค่าการดูดซับมีเทน เท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด และ ปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

Sukananta, P. (2010) การศึกษาสมบัติ และ คุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จากเปลือกมังคุดที่เตรียมแบบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น เพื่อศึกษา สมบัติเกี่ยวกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด (1 ชั้น) และ เตรียมจากถ่านเปลือกมังคุด (2 ชั้น) โดยทำการเผาเปลือกมังคุดที่อุณหภูมิ 350 °C ทำการกระตุ้นเปลือกมังคุด และ ถ่านด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ แล้วนำไปเผา ที่อุณหภูมิ 600 °C ศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง SEM ทำการหาพื้นที่ผิวด้วยการดูดซับสารละลายเมทิลลิโนบลู และ ก๊าซไนโตรเจน ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มี รูพรุนขนาด 1-2 μm ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 1 ชั้น มีพื้นที่ผิวที่ได้จากการ ดูดซับสารละลายเมทิลลิโนบลู (S(MB) = 417 m^2/g) และ แก๊สไนโตรเจน (S(N₂) = 1867 m^2/g) สูงกว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 2 ชั้น (S(MB) = 239 m^2/g และ S(N₂) = 1024 m^2/g)

Tran Quoc Tuana et al. (2011) ซิลเวอร์นาโน เตรียมจากเทคนิค Sonoelectrodeposition ซึ่งใช้แผ่นซิลเวอร์เป็นแหล่งของซิลเวอร์ไอออน เทคนิคนี้ช่วยผลิตอนุภาคนาโนขนาด 4-30 nm ซิลเวอร์นาโนจะถูกเก็บในถ่านกัมมันต์จากถ่านมะพร้าวที่มีพื้นที่ผิวสูง พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดคือ 890 m^2/g ซิลเวอร์นาโน ไม่ทำให้คุณสมบัติ และ ความสามารถในการดูดซับเมทิลลิโนบลูเปลี่ยนแปลง ในการดูดซับซิลเวอร์นาโนแสดงให้เห็นว่า E.Coli มีความเข้มข้นลดลงเป็น 16 g/mL และ ช่วยทำให้ถ่านดูดซับดีขึ้น วัสดุมีศักยภาพในการป้องกัน รักษาการติดเชื้อจุลินทรีย์ และ การปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม

Drona Raj Baral and Vinaj Kumar Jha (2012) ทำการศึกษาถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ไม่ใช่แล้ว วัสดุสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ด้วย XRD และ วัดการดูดซับเมทิลลิโนบลูโดยใช้ Langmir และ Freundlich Isotherm พบว่า Langmir Isotherm เหมาะสมกว่า และได้ค่า Q_{max} 0.227, 0.225 และ 0.256 mmol/g สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมในอากาศ, ไนโตรเจน และ ใอน้ำ ตามลำดับ ขณะเดียวกันก็มีค่าสูงถึง 0.275 mmol/g สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมให้ลบบด้วย H_3PO_4 จากปฏิกิริยา

โดยรวมพบว่า มีอัตราค่าคงที่ 8.314×10^{-4} Lg/(mmol/min) จากการเตรียมถ่าน กัมมันต์นี้ ได้พื้นที่ผิวที่ดีที่สุด คือ $334.2 \text{ m}^2/\text{g}$

Mehrorang Chaedi et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการดูดซับ BPR (Bromophenol red) บนสามตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ขนาดอนุภาคระดับนาโน (NP-AC) ที่แตกต่างกัน คือ Pd-NP-AC, Ag-NP-AC และ ZnO-NP-AC แบบแบตช์ (Batch) ได้กำหนดปัจจัยที่เหมาะสมกับแต่ละแบบจำลอง เช่น ค่าคงที่ ค่าจำเพาะสมดุลการดูดซับ และ ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในแต่ละแบบจำลอง ใช้ Langmir Isotherm ได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของ Pd-NP-AC เท่ากับ 143 mg/g ของ Ag-NP-AC เท่ากับ 250 mg/g และ ของ ZnO-NP-AC เท่ากับ 200 mg/g

Ayodeji Oladiran and ILYAS Abdul-Mojeed Olabisi (2013) การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยเตรียมจากซิงค์คลอไรด์ ใช้ XRD สำหรับดูโครงสร้างตาข่าย กำหนด $a=b= 3.2492 \text{ \AA}$ $c=5.20661 \text{ \AA}$ ใช้กับโครงสร้างหกเหลี่ยม และ ขนาดผลึกประมาณ 5.3689 nm UV-vis spectrophotometer ใช้ดูดกลืนในช่วง UV-vis ที่ความยาวคลื่น 277 nm และ 235 nm

Isilay Ozdemir et al. (2014) จากการศึกษา การเตรียมถ่านจากถ่านองุ่น โดยใช้ซิงค์คลอไรด์กระตุ้นทางเคมี มีต้นทุนต่ำ ในการทดลองกำหนดอุณหภูมิ และ เวลาในการเผาที่แตกต่างกัน เวลาการกระตุ้น และ อัตราการกระตุ้น แสดงผล คือ อุณหภูมิในการเผา และ อัตราส่วนในการกระตุ้นมีผลต่อพื้นที่ผิว และ โครงสร้างรูพรุนของการถ่าน สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านให้มีพื้นที่ผิวสูงสุด คือ เผาที่อุณหภูมิที่ $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 120 นาที กระตุ้นเวลา 36 ชั่วโมง และ อัตราส่วนซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านองุ่น คือ $2:1$ ผลที่ได้ พื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด, ค่าไอโอไดนัมเบอร์, pH_{zpc} และ %yield มีค่าดังนี้ $1411 \text{ m}^2/\text{g}$, $0.723 \text{ cm}^3/\text{g}$, 1760 mg/g , 2.84 และ 26.48% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุลบ ยี่ห้อ LEWATIT monoplus รุ่น M500 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR)
2. เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุลบ ยี่ห้อ LEWATIT monoplus รุ่น M500 ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว (Regenerate Resin, RR)
3. ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
5. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ BAKER Analyzed ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ($AgNO_3$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher scientific ประเทศอังกฤษ
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนักเกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. ไอโอดีนชนิดเกล็ด (I_2) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
9. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
10. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
11. โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
13. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
14. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Na_2HCO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher scientific ประเทศอังกฤษ
15. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
16. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo Erba reagents ประเทศอิตาลี
17. ถ่านกัมมันต์การค้า ยี่ห้อ CABOT NORIT รุ่น SA2 ประเทศสหรัฐอเมริกา
18. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)
19. แป้งมัน
20. น้ำ DI (Deionized Water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบให้ความร้อน ยี่ห้อ Menmert รุ่น UN55 ประเทศไทย
2. เตาเผา ยี่ห้อ Naberthem รุ่น Controller P320 ประเทศเยอรมัน
3. Thermometer แบบดิจิตอล รุ่น Testo 925 ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED224s ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 827 ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น C860 ประเทศเบลเยียม
7. เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum GX

ประเทศไทย

8. เครื่อง UV-Spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น 10S ประเทศไทย
9. เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น Orbital shaker ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องให้ความร้อนและปั่นกวน (Heat and stirrer)
11. เดซิเคเตอร์ (Desicator)
12. ตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 325 mesh ตามมาตรฐาน ASTM
13. เครื่อง Vibratory Sieve Shaker ยี่ห้อ Retsch vibro รุ่น 15055 ประเทศเยอรมัน
14. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน ยี่ห้อ Tokyo Rikakikai รุ่น A-3S
15. กระดาษกรองหยาบ ยี่ห้อ Machereil-Nagel เบอร์ MN615
16. กระดาษกรองละเอียด ยี่ห้อ Advantec เบอร์ 5C
17. เครื่องบด Vibrating ball mills ยี่ห้อ SWECO รุ่น Vibro-Energy MILL และ ลูกบด

เซรามิกอลูมินา

18. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (BET) ยี่ห้อ Quantachrome รุ่น Autosorb-1
19. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินงานวิจัย

เรซินที่นำมาศึกษาคือเรซินที่ผ่านใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR) ยี่ห้อ LEWATIT Monoplus รุ่น M500 เป็นเรซินประจุลบ ซึ่งเรซินที่นำมาศึกษาไม่มีสารพิษตกค้าง เนื่องจากเป็นเรซินที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนเรซิน RR (Regenerate Resin) ได้จากเรซิน SR ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว ตามหัวข้อ 3.4 โดยจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทุกหัวข้อตามตารางที่ 3.1 หาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
สมบัติทั่วไปเรซิน <ul style="list-style-type: none"> - ค่าพีเอช - ค่าการนำไฟฟ้า - การอุ้มน้ำ (Water retention, %WR) - ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchange capacity) 	<ul style="list-style-type: none"> - pH Meter - Conductivity Meter - เทคนิค ASTM D3173 - ใช้ปริมาณคลอไรด์ไอออนที่ถูกดูดซับเป็นตัวแทนโดยวิธีบังคับแลกเปลี่ยน (Gillman G.P., 1986)
ตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ <ul style="list-style-type: none"> - ค่าพีเอช - ค่าการนำไฟฟ้า - ปริมาณความชื้น (Moisture, %M) - การดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) - พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน - หมู่ฟังก์ชัน 	<ul style="list-style-type: none"> - pH Meter - Conductivity Meter - ASTM D3173 - ASTM D4607 - BET Method - Fourier transform infrared Spectroscopy (FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมเรซินชนิด RR (Regenerate Resin)

1. แช่เรซินชนิด SR ด้วย NaOH 4 % ในขวดรูปชมพู่ อัตราส่วน 1:5 (w/v) แล้วใช้พาราฟิล์มปิดขวดรูปชมพู่ให้สนิท
2. นำไปเข้าเครื่องเขย่านาน 5 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
3. นำเรซินที่แช่ไว้ มากรองแบบลดความดัน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
4. ทดสอบคลอไรด์ในสารละลายที่ได้จากการกรอง ด้วยการหยด AgNO_3 จะเกิดตะกอนสีขาวของ AgCl ล้างจนไม่มีตะกอนสีขาว
5. ทดสอบค่าพีเอช และ ค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือที่ปรับเทียบแล้ว โดยการจุ่มโพรบลงในสารละลายที่ได้จากการกรอง ล้างเรซิน RR จนมีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียง หรือ เท่ากับค่าพีเอช และ การนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นที่ใช้ล้าง
6. เรซินที่ผ่านขั้นตอนรีเจนเนอเรต เรียกว่า เรซินชนิด RR

3.5 กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน

ทำการคาร์บอนไนซ์เรซินให้เป็นถ่านโดยวิธีแบบทั่วไป นำเรซิน SR และ RR มาคาร์บอนไนซ์ในขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

1. เรซินชนิด SR และ RR ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ โดยภาชนะควรทนความร้อนได้ไม่น้อยกว่า $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นวางในหลุมที่ขุดไว้ ดังรูปที่ 3.1 ก
2. ตั้งกะสิมาปิดคลุมไว้เพื่อป้องกันฝุ่นผงที่เด้กลงไปในภาชนะ ดังรูปที่ 3.1 ข
3. ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในการเผา สุมไม้ให้ทั่วหลุม ดังรูปที่ 3.1 ค
4. นำแกลบ เศษข้าวโพดไม่ ฟางข้าว ropy ให้ทั่ว ดังรูปที่ 3.1 ง
5. ใช้ยางในรถเป็นเชื้อเพลิงเบื้องต้นในการจุดไฟ นำไม้ขนาดเล็กละเอียดใส่ลงไปเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ไฟติด ดังรูปที่ 3.1 จ
6. เมื่อไฟติดจนทั่วกอง ทำการโรยแกลบให้ทั่วกอง และ ทำการเผาถ่านทิ้งไว้ โดยวัดอุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.1 ช
7. เมื่อไฟมอดหมด นำภาชนะที่ใส่เรซินออกมา ได้ถ่านที่ผลิตจากเรซิน ดังรูปที่ 3.1 ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ตัวอย่างใส่ภาชนะ



ข. คลุมด้วยสังกะสี



ค. เชื้อเพลิง



ง. ไรย์ฟาง แกลบ เศษข้าว โปดโม้



จ. จุดไฟ



ช. วัตถุอันตราย



ฉ. ได้ถ่านจากเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน

3.6 กระบวนการกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์

3.6.1 การกระตุ้นด้วยซิงค์ออกไซด์ จากซิงค์คลอไรด์ (Oladiran *et al.* 2013)

1. ใช้อัตราส่วน $Zn(OH)_2$ ต่อถ่าน 2:1 โดยน้ำหนัก ($Zn(OH)_2$ ได้จากการเตรียม ดังภาคผนวก ข -1) เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาณน้อยที่สุดแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 rpm นาน 24 ชั่วโมง
2. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาแล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
3. ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำร้อนจนพีเอชของสารละลายเป็นกลาง และ ทดสอบคลอไรด์ด้วยการหยดสารละลาย $AgNO_3$
4. นำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง

3.6.2 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (Ozdemiretc *et al.*, 2014)

1. ใช้อัตราส่วน $ZnCl_2$ ต่อถ่าน 2:1 โดยน้ำหนัก เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาณน้อยที่สุด นำเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm นาน 24 ชั่วโมง
2. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำร้อนจนพีเอช ของสารละลายที่ล้างมีค่าเป็นกลาง ทดสอบคลอไรด์ด้วยการหยดสารละลาย $AgNO_3$ และ ล้างตัวอย่าง ครั้งสุดท้ายด้วยน้ำเย็น
3. นำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง

3.6.3 การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ชิดชนก และ รัชชนก, 2555)

การเตรียมสารเคมี

-โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 M: ชั่ง KOH 28.053 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตร เป็น 500 mL

วิธีการกระตุ้น

1. ชั่งถ่าน และ ตวงสารละลาย KOH 1 M ในอัตราส่วน KOH ต่อถ่านเป็น 3:1 ปริมาตร ต่อน้ำหนัก นำไปแช่ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 24 ชั่วโมง
2. กรองถ่านออกจากสารละลาย จากนั้นกระตุ้นที่อุณหภูมิ 300 °C นาน 2 ชั่วโมง
3. ล้างด้วยน้ำกลั่น จนพีเอชของสารละลายเป็นกลาง และ ทดสอบคลอไรด์ด้วยการหยด สารละลาย $AgNO_3$
4. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 3 ชั่วโมง
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการกระตุ้นเป็น 700 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การดูดซับสีเมทิลีนบลู

3.7.1 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ

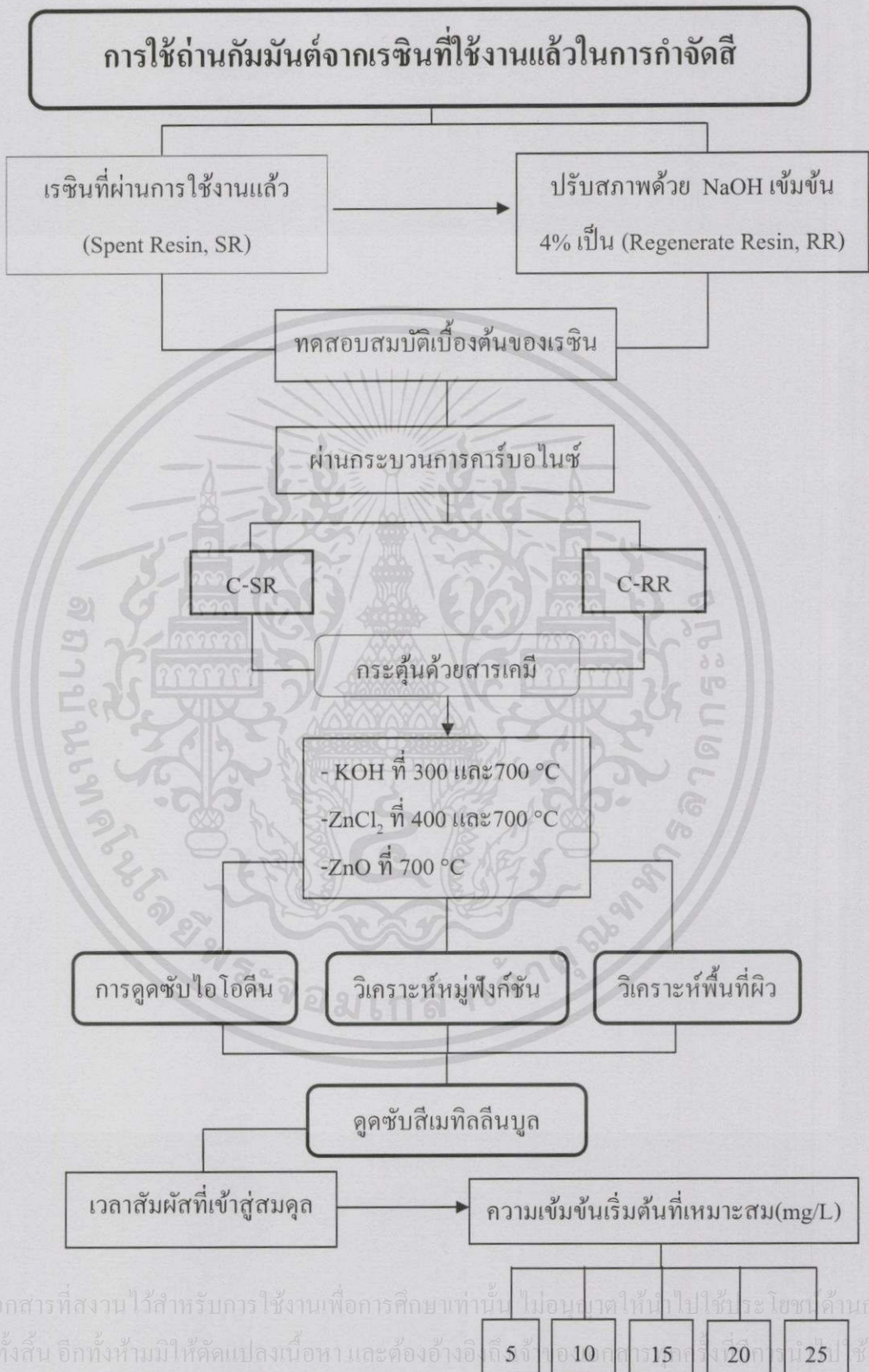
1. ชั่งถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดประมาณ 0.0500 g ใส่ขวดรูปชมพู่ 3 ขวด
2. ปิเปตสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 5 mg/L พีเอช 5 ปริมาตร 10 mL ลงในขวดรูปชมพู่ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที
3. ทำชุดควบคุม เหมือนข้อ 1-2 โดยไม่ใส่ถ่านกัมมันต์
4. กรองสารละลายตามแรงโน้มถ่วงของโลก รองรับสารละลายที่กรองด้วยหลอดทดลองขนาดเล็ก
5. นำสารละลายที่กรองได้ไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับโดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่สแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมได้ที่ 669 nm
6. สร้างกราฟระหว่างเวลาสัมผัส (นาที) และ ค่าความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)
7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1- 6 โดยเพิ่มระยะเวลาสัมผัสครั้งละ 5 นาทีไปเรื่อยๆ จนถึงจุดสมดุลการดูดซับ

3.7.2 การดูดซับสีเมทิลีนบลู ณ ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

1. ทำซ้ำตามขั้นตอน 3.7.1 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L ค่าพีเอช 5 ปริมาตร 10 mL
2. ใช้เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุล ตามข้อ 3.7.1
3. สร้างกราฟระหว่าง q (mg/g) กับ C_e (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง 5 จ้า 10 จ้า 15 จ้า 20 จ้า 25 จ้า

รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน

เรซินที่ใช้ทำการทดลองแบ่งเป็นเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR) และ เรซินที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว (Regenerate Resin, RR) เปรียบเทียบกับเรซินใหม่ (New Resin, NR) เรซินที่นำมาใช้ เป็นเรซินที่ผ่านกระบวนการทำน้ำดื่ม จึงแน่ใจได้ว่าไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่างๆปนเปื้อนมากับเรซิน จึงนำมาตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของเรซิน ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เรซิน SR และ RR

ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน SR กับ RR

พารามิเตอร์		NR*	SR	RR
พีเอช	1:5	-	5.73±0.06	9.37±0.32
	1:10	-	6.13±0.23	9.13±0.38
	1:15	-	7.73±0.21	9.07±0.15
การนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1:5	-	15.27±0.93	758.33±1.53
	1:10	-	12.30±0.26	748.33±3.06
	1:15	-	8.57±0.25	725.67±4.04
การอุ้มน้ำ (Water retention, %WR)		48 – 55%	57.33%±2.89	64.00%±1.73
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุลบ(Anion Exchange Capacity, AEC)			0.0056±0.00	0.0054±0.00

* ที่มา: LANXESS Energizing Chemistry, 2006

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสมบัติทั่วไปของเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) และ เรซินที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว (RR) มีความแตกต่างกัน โดยวิเคราะห์จากค่าพีเอช และ ค่าการนำไฟฟ้า ในส่วนของ SR ค่าพีเอชในอัตราส่วนเรซินต่อน้ำกลั่น 1:5, 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.73 ± 0.06 , 6.13 ± 0.23 และ 7.73 ± 0.21 ตามลำดับ ในอัตราส่วนเรซินต่อน้ำกลั่นต่ำ มีค่าพีเอชเป็นกรดอย่างชัดเจน แสดงว่า SR มีการปลดปล่อยโปรตอนสู่สารละลายได้บ้างเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำกลั่นมากขึ้น พบว่ามีค่าพีเอชสูงขึ้นใกล้เคียงกับน้ำกลั่น เนื่องจาก SR ผ่านกระบวนการทำน้ำสะอาด จึงทำให้ค่าพีเอช และ ค่าการนำไฟฟ้าไม่สูงมาก ส่วน RR ที่ถูกปรับสภาพด้วย NaOH 4% อาจจะมี OH^- หลุดออกมาปะปนกับสารละลาย ทำให้ค่าพีเอชค่อนข้างเบส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.37 ± 0.32 , 9.13 ± 0.38 และ 9.07 ± 0.15 ตามลำดับ ส่วนค่าการนำไฟฟ้าทั้ง SR และ RR ตามอัตราส่วน 1:5, 1:10, 1:15 ตามลำดับ จะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายเจือจางลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำของ SR และ RR มีค่าสูงกว่า NR เล็กน้อย เพราะทั้ง SR และ RR คือ เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วอาจมีบางส่วนที่แตกหัก เกิดพื้นที่ว่าง ทำให้น้ำสามารถแทรกตัวไปตามพื้นที่ว่างนั้นได้ เป็นผลให้ SR และ RR มีค่าการอุ้มน้ำเท่ากับ $57.33\% \pm 2.89$ และ $64.00\% \pm 1.73$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการอุ้มน้ำที่สูงกว่า NR

4.2 กระบวนการคาร์บอนไอซ์เซชัน

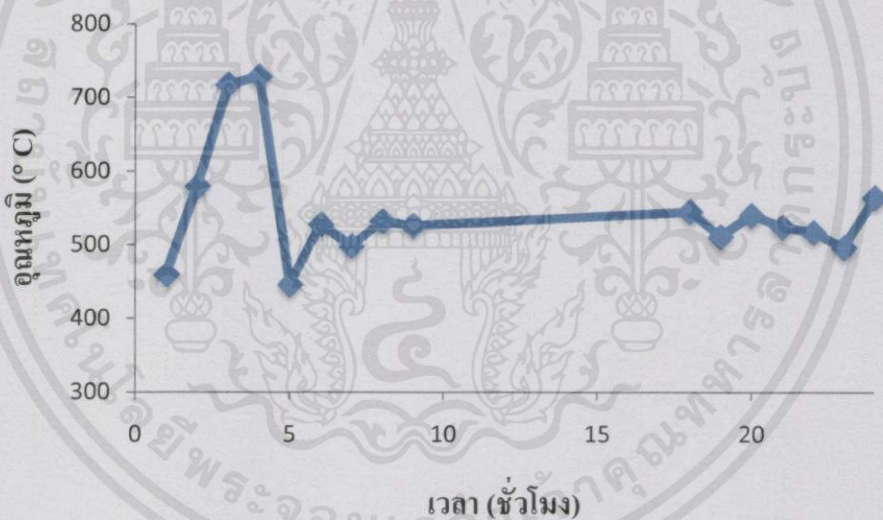
ขั้นตอนการเผาเรซินชนิด SR และ RR โดยใช้ภาชนะหม้อโลหะทำการเผาแบบทั่วไป มีร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักตั้งต้นของ SR และ RR เท่ากับ 11.17 และ 9.71 ตามลำดับ สำหรับร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักแห้งของ SR และ RR เท่ากับ 19.48 และ 15.17 ตามลำดับ ซึ่ง SR มีผลผลิตสูงกว่า RR เพราะ SR อาจมีพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ฟังก์ชัน เช่น Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} ที่ได้จากการกำจัดความกระด้างในกระบวนการผลิตน้ำ สำหรับ RR ถูกปรับสภาพทำให้อิ่มตัวด้วย NaOH อาจเป็นไปได้ว่าหมู่ OH^- จะระเหยเป็นไอ หรือ หลุดออกไปขณะให้ความร้อน ร้อยละผลผลิตของถ่านจากเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วแต่ไม่ได้ทำการปรับสภาพ (C-SR) จึงสูงกว่าร้อยละผลผลิตของถ่านจากเรซินที่ผ่านการปรับสภาพ (C-RR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 คาร์บอนซีเซน

จากรูปที่ 4.2 สังเกตด้วยสายตาจะพบว่า C-SR และ C-RR ที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์แล้วมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันมาก และยังคงมีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีดำ อาจมีบางส่วนแตกหักไปบ้าง



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิขณะทำการคาร์บอนไนซ์

จากรูปที่ 4.3 อุณหภูมิขณะทำการคาร์บอนไนซ์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 547 ± 19.00 °C อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 732°C และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 466 °C (รายละเอียดดังภาคผนวก ค) ใช้เวลา 24 ชั่วโมง สังเกตได้ว่าในช่วงแรก อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะเป็นช่วงจุดไฟ เกิดการเผาไหม้ความร้อนสะสมอย่างรวดเร็ว ไอน้ำ และ สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่มีจุดเดือดต่ำถูกเผาไหม้ระเหยออกมา ให้พลังงานความร้อนสะสมจึงมีอุณหภูมิสูง จากนั้นเมื่อ VOCs เผาไหม้หมด อุณหภูมิจึงลดลงบ้าง และ ค่อนข้างคงที่ตลอดการคาร์บอนไนซ์

4.3 คุณภาพของถ่านกัมมันต์

ถ่านที่ผลิตจากเรซินตั้งต้น 2 ชนิด คือ SR และ RR นำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีทั้ง 3 ชนิด คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ในสภาวะการกระตุ้นที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงแบ่งถ่านเพื่อนำมาตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ ดังตารางที่ 4.2 และ ปัจจัยสำคัญที่สามารถทำให้ทราบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้ ก็คือ การหาประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607 ดังหัวข้อที่ 4.4 และ การหาพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน ด้วย BET Method ดังหัวข้อที่ 4.6

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าพีเอชของ C-RR มีค่าเป็นเบสมากกว่า C-SR เล็กน้อย เนื่องจากขั้นตอนการปรับสภาพเรซิน อาจจะมีหมู่ OH^- หลงเหลืออยู่ ทำให้ OH^- หลุดออกมาเล็กน้อย ส่วนค่าพีเอชของถ่านที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าพีเอชเป็นเบสสูง เนื่องจากอาจมีโมเลกุลของ OH^- เข้าไปอยู่ในช่องว่างของ Crosslink เมื่อได้รับความร้อนในขั้นตอนการระเหยแห้ง อาจทำให้พันธะแตก หรือ ปรายออก ได้หมู่ OH^- ออกมา เมื่อนำไปวัดค่าพีเอชในอัตราส่วนถ่าน : น้ำกลั่น เป็น 1:5, 1:10 และ 1:15 ตามลำดับ ค่าพีเอชเป็นเบสที่ลดลง ตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่วนถ่านที่กระตุ้นด้วย ตัวกระตุ้นต่างๆ จะมีค่าพีเอชเป็นเบส และ กรด ตามสารเคมีที่ใช้ตัวกระตุ้น เป็นเพราะในขั้นตอนการชะล้างหลังกระตุ้นอาจมีสารเคมีตกค้างอยู่ ทำให้ค่าพีเอชที่ได้ออกมาเป็นเบส และ กรดเล็กน้อย ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของ C-SR และ C-RR มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าถ่านที่กระตุ้นด้วยสารเคมี เนื่องด้วยถ่านที่ถูกกระตุ้นอาจมีสารเคมีที่หลุดออกมาสู่สารละลาย ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

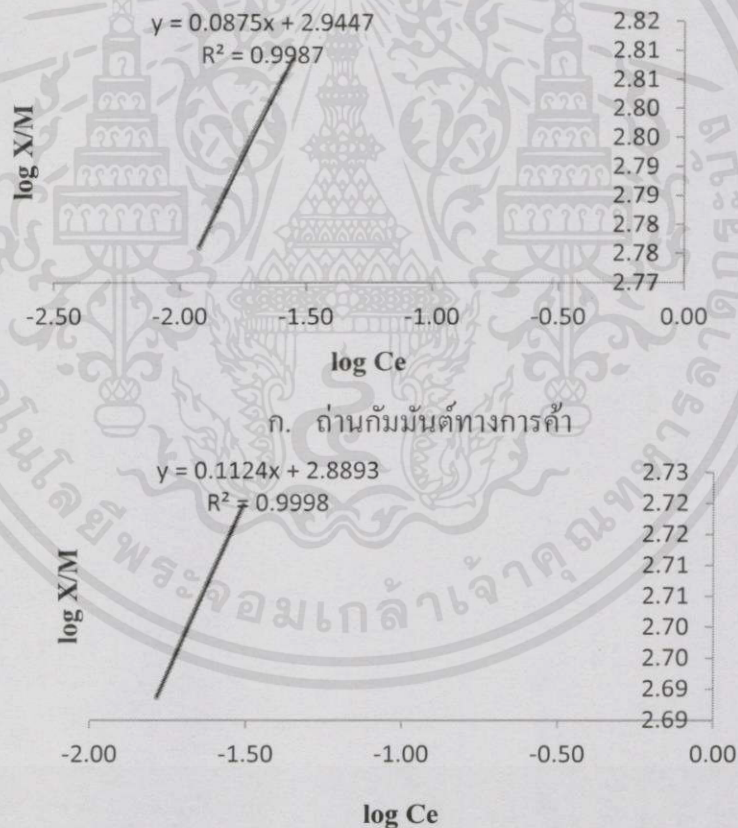
ตารางที่ 4.2 ตรวจสอบคุณภาพของถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์		C - SR	C - RR	KOH 300 °C		KOH 700 °C		ZnCl ₂		ZnO	
				C-SR	C-RR	C-SR	C-RR	C-SR	C-RR	C-SR	C-RR
pH	1:5	6.67±0.12	8.33±0.15	9.68±0.01	10.05±0.10	10.04±0.07	9.73±0.01	5.24±0.04	5.03±0.01	6.53±0.05	6.56±0.04
	1:10	6.93±0.55	8.57±0.06	9.47±0.04	9.68±0.01	9.94±0.04	9.69±0.01	5.25±0.04	5.22±0.02	6.64±0.01	6.70±0.02
	1:15	6.97±0.29	8.83±0.06	9.48±0.03	9.53±0.04	9.85±0.03	9.57±0.01	5.76±0.13	5.58±0.02	6.87±0.03	6.94±0.01
การนำไฟฟ้า (µs/cm)	1:5	3.79±0.63	5.62±0.38	670.67 ±36.20	935.0 0±40.95	1536667 ±37859.39	745.00 ±2.00	1946667 ±20816.66	3806667 ±133166.67	156.67 ±5.86	145.67 ±4.73
	1:10	1.94±0.03	3.91±0.16	369.33 ±10.12	540.33 ±25.54	765.33 ±22.19	522.33 ±5.86	932.67 ±45.35	202333 ±63508.53	92.3 ±5.04	85.33 ±0.91
	1:15	1.43±0.10	3.03±0.02	244.67 ±4.16	272.00 ±19.97	513.00 ±6.56	402.00 ±5.00	552.33 ±13.05	120000 ±30000	61.17 ±3.14	59.7 ±1.87
ปริมาณความชื้น (moisture, %M)		2.27±0.66	1.84±0.17	1.18±0.06	1.23±0.08	1.40±0.01	1.34±0.04	1.72±0.02	1.59±0.04	1.78±0.02	1.59±0.02

4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

นำถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาหาค่าการดูดซับไอโอดีน เพื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิด C-SR และ C-RR ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ ซิงค์คลอไรด์ ยกเว้นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ไม่ละลายน้ำ มีขนาด และ น้ำหนักใกล้เคียงกับถ่านจากเรซิน ทำให้แยกออกจากถ่านได้ยาก จึงไม่สามารถนำมาทดลองได้

บด และ ร่อนถ่านกัมมันต์ผ่านตะแกรงขนาด 100 และ 325 mesh ถ่านกัมมันต์จะต้องผ่าน ตะแกรงขนาด 100 mesh 95% ของน้ำหนัก และ ผ่านตะแกรงขนาด 325 mesh 60% ของน้ำหนัก จากนั้นชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ ตามรายละเอียดในภาคผนวก ง-3.5 ไทเทรตกับโซเดียมไฮโอซัลเฟต เพื่อหาความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลือจากการดูดซับ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมปริมาณ ไอโอดีนบนถ่านกัมมันต์ ($\log X/M$) กับ ลอการิทึมความเข้มข้นของ ไอโอดีนที่เหลือ ($\log C_e$) ดังรูปที่ 4.4 ได้ความสัมพันธ์จากกราฟตามตารางที่ 4.3

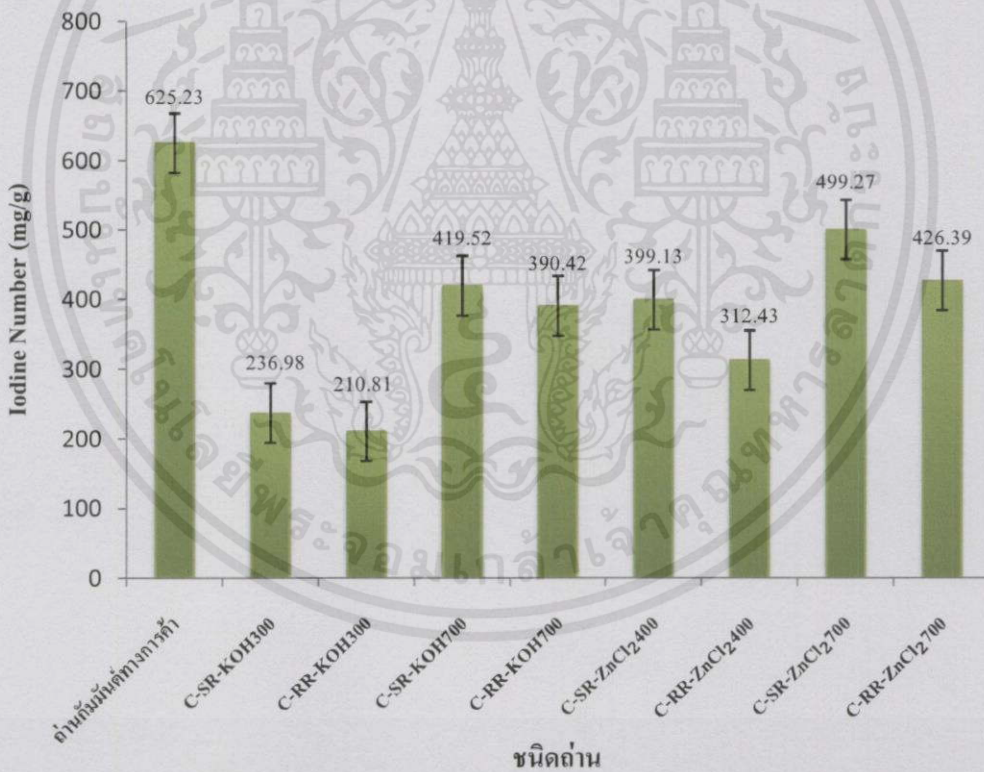


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \frac{X}{M}$ กับ $\log C_e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง log Ce กับ log X/M ของถ่านชนิดต่างๆ

ชนิดของถ่าน	y	R ²
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	$y = 0.0875x + 2.9447$	$R^2 = 0.9987$
C-SR-KOH 300	$y = 0.1299x + 2.5954$	$R^2 = 0.9852$
C-RR-KOH 300	$y = 0.1282x + 2.5417$	$R^2 = 0.9887$
C-SR-KOH 700	$y = 0.0231x + 2.662$	$R^2 = 0.9979$
C-RR-KOH 700	$y = 0.0237x + 2.6318$	$R^2 = 0.9951$
C-SR-ZnCl ₂ 400	$y = 0.1346x + 2.8298$	$R^2 = 0.9773$
C-RR-ZnCl ₂ 400	$y = 0.0779x + 2.6271$	$R^2 = 0.9974$
C-SR-ZnCl ₂ 700	$y = 0.1124x + 2.8893$	$R^2 = 0.9998$
C-RR-ZnCl ₂ 700	$y = 0.1226x + 2.8381$	$R^2 = 0.9975$



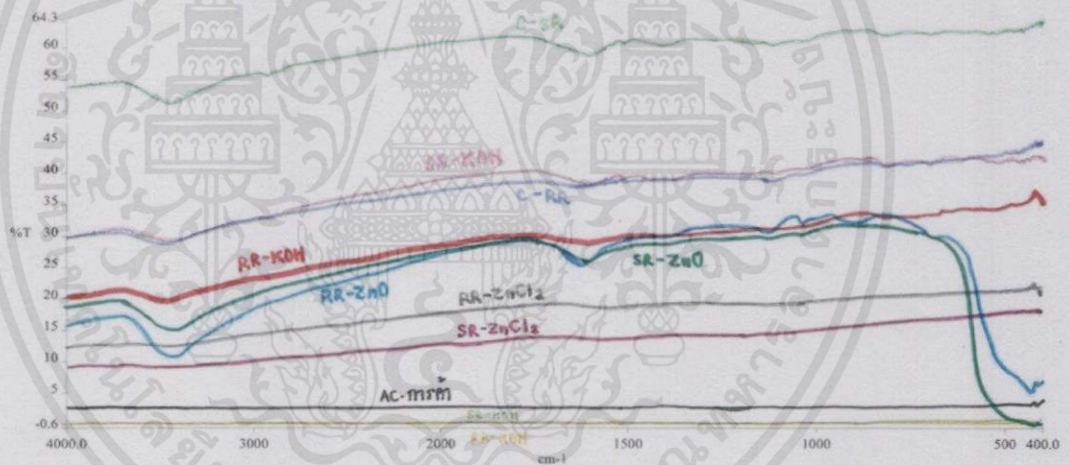
รูปที่ 4.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า และ ถ่านที่ผลิตจากเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 625.23 mg/g ส่วน C-SR และ C-RR ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ และ C-SR ที่กระตุ้นด้วย KOH ในสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 499.27, 426.39 และ 419.52 mg/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด 3 อันดับ จึงนำถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มาทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method และ ทดลองดูดซับสีเมทิลลินบนลูเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าต่อไป

4.5 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับต่างกัน เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีอาจทำให้มีหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไป หมู่ฟังก์ชันสามารถอธิบายได้จากแถบการสั่นที่ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอินฟราเรดสเปกตรัม จึงนำถ่านทุกชนิดมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) ในช่วงเลขคลื่น 400-4000 cm^{-1}



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้า, C-SR-KOH700, C-RR-KOH700, C-SR-ZnCl₂700, C-RR-ZnCl₂700 ปรากฏพีคของ OH-Stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 3400 cm^{-1} น้อยมาก หรือแทบไม่ปรากฏเลย ส่วน C-SR, C-RR, C-SR-KOH300, C-RR-KOH300, C-SR-ZnO700 และ C-RR-ZnO700 ปรากฏพีคของ OH-Stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 3400 cm^{-1} และ พีคของ C=C stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 1650 cm^{-1} เพิ่มขึ้น ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method

เลือกตรวจสอบค่า BET ของถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด คือ ถ่านจากเรซินชนิด SR ที่กระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ ณ อุณหภูมิ 700 °C (C-SR-ZnCl₂700), ถ่านจากเรซินชนิด RR ที่กระตุ้นด้วย ซิงค์คลอไรด์ ณ อุณหภูมิ 700 °C (C-RR-ZnCl₂700) และ ถ่านจากเรซินชนิด SR ที่กระตุ้นด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ณ อุณหภูมิ 700 °C (C-SR-KOH700) เนื่องจากเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการ ดูดซับไอโอดีนสูงสุด ดังรายละเอียดตามรูปที่ 4.5 ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method

ผลวิเคราะห์	ถ่านกัมมันต์ ทางการค้า*	C-SR-ZnCl ₂ 700	C-RR-ZnCl ₂ 700	C-SR-KOH700
พื้นที่ผิว (m ² /g)	1150 m ² /g	251.43	238.94	190.73
ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	-	0.1719	0.1584	0.1953
ขนาดรูพรุน (Å)	-	27.35	26.15	40.96

*ที่มา: www.norit-ac.com, 2009

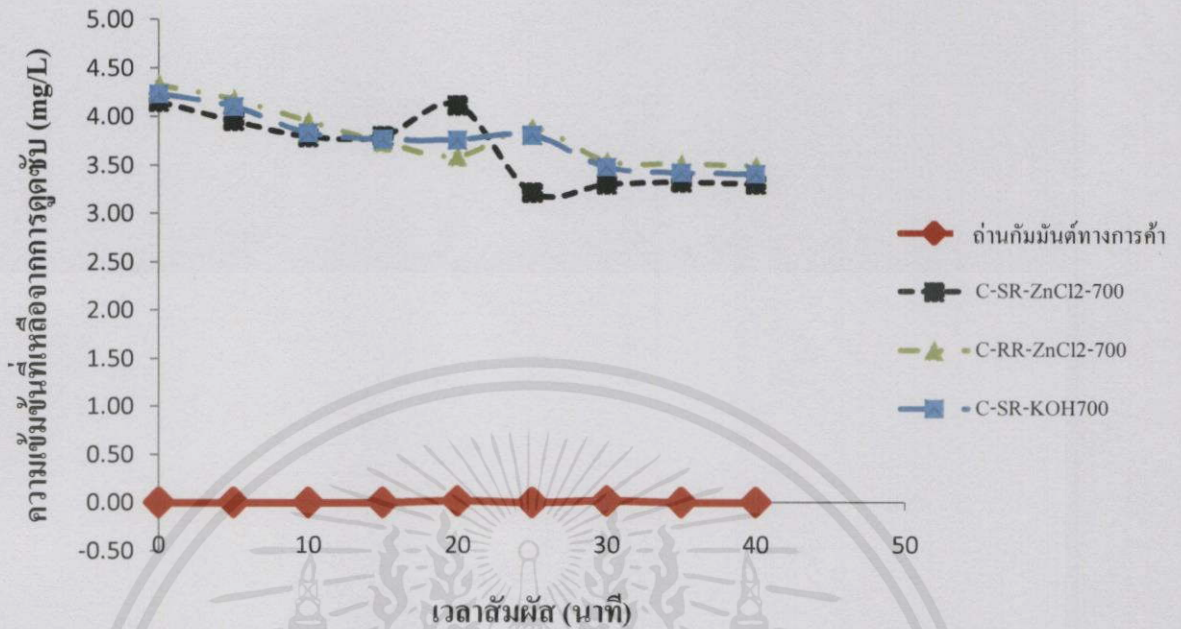
จากตารางที่ 4.4 พบว่าถ่านชนิด C-SR-ZnCl₂700 มีพื้นที่ผิวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่น (251.43 m²/g) มีปริมาตรรูพรุนทั้งหมดของ C-SR-ZnCl₂700, C-RR-ZnCl₂700 และ C-SR-KOH700 เท่ากับ 0.1719, 0.1584 และ 0.1953 cm³/g ตามลำดับ และ พบว่าขนาดรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์ คือ 27.35 และ 26.15 Å ตามลำดับ จัดเป็นรูพรุนชนิด Micropores ซึ่งเป็นรูพรุนที่มีความสำคัญต่อการดูดซับ ส่วน C-SR-KOH700 มีขนาดรูพรุน 40.96 Å จัดเป็นรูพรุนชนิด Mesopores

4.7 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ

ทำการทดลองกับถ่านการค้า และ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด ตามข้อ 4.4 โดยใช้น้ำหนักถ่านประมาณ 0.0500 g ใส่สารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 5 mg/L ค่าพีเอช 5 ปริมาตร 10 mL ตั้งทิ้งไว้ ในทุกๆ 5 นาที ต้องกรองสารละลาย และ วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 669 nm จนกว่าค่าการดูดกลืนแสงของถ่านกัมมันต์ทุกชนิดคงที่โดยทำชุดควบคุม เพื่อหักลับผลจากแสงแดดที่สามารถทำให้สีของเมทิลีนบลูจางหายไป ได้เวลา กับ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับ ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุล และ ความเข้มข้นที่เหลือ

เวลา (นาที)	ควบคุม		ถ่านกัมมันต์ทางการค้า		C-SR-ZnCl ₂ 700		C-RR-ZnCl ₂ 700		C-SR-KOH700	
	การดูดกลืนแสง (Abs)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)	การดูดกลืนแสง (Abs)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)	การดูดกลืนแสง (Abs)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)	การดูดกลืนแสง (Abs)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)	การดูดกลืนแสง (Abs)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)
0	1.015	5.52	0.001	0.00	0.763	4.15	0.795	4.33	0.778	4.23
5	0.986	5.36	0.001	0.00	0.726	3.95	0.768	4.18	0.754	4.10
10	0.876	4.77	0.000	0.00	0.696	3.79	0.727	3.95	0.703	3.83
15	0.899	4.89	-0.004	0.00	0.697	3.79	0.687	3.74	0.691	3.76
20	0.951	5.17	0.003	0.02	0.756	4.11	0.660	3.59	0.690	3.75
25	0.863	4.69	-0.005	0.00	0.590	3.21	0.713	3.88	0.699	3.80
30	0.864	4.70	0.002	0.02	0.605	3.29	0.651	3.54	0.638	3.47
35	0.847	4.61	-0.007	0.00	0.610	3.32	0.646	3.51	0.627	3.41
40	0.865	4.70	-0.006	0.00	0.606	3.30	0.641	3.49	0.626	3.40



รูปที่ 4.7 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีเวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลแตกต่างกัน โดยที่ถ่านกัมมันต์ทางการค้า เข้าสู่สมดุลทันที เมื่อเติมสารละลายเมทิลดีนลงไป C-SR-ZnCl₂700 มีค่าความเข้มข้นที่เหลือของเมทิลดีนลดลงเล็กน้อย นาทีที่ 25 ก่อนจะคงที่ตลอดจนนาทีที่ 40 ส่วน C-RR-ZnCl₂700 และ C-SR-KOH700 มีความเข้มข้นที่เหลือของเมทิลดีนลดลงที่ นาทีที่ 30 ตลอดจนนาทีที่ 40 ในการทดลองจึงให้เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลของถ่านทุกชนิดที่ 30 นาที

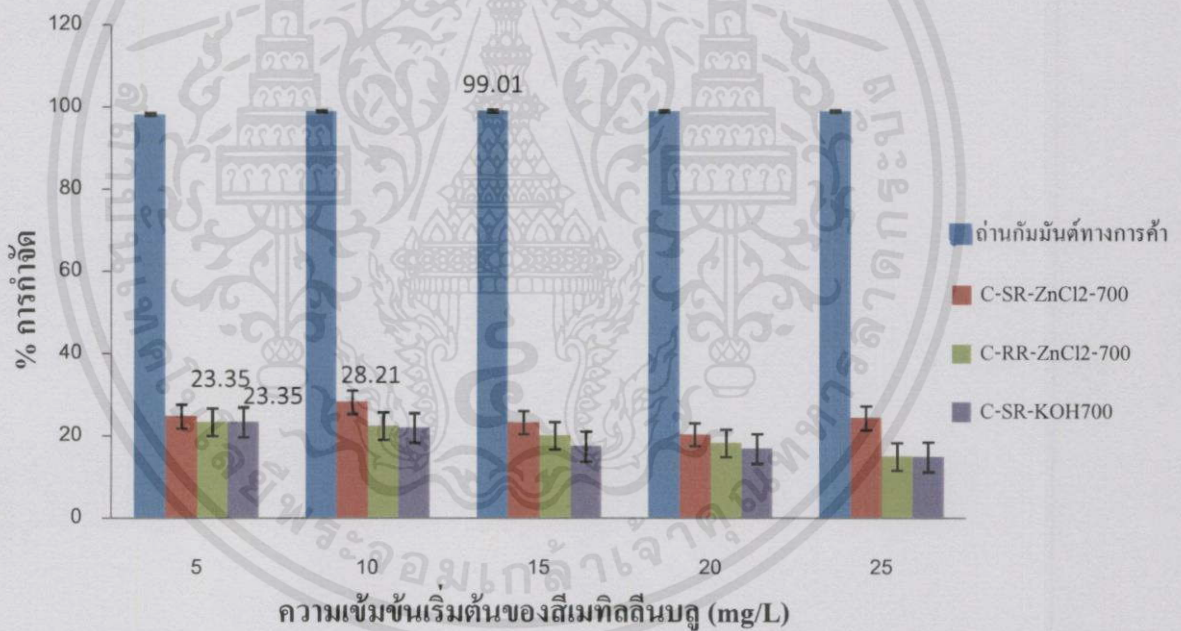
4.8 การดูดซับสีเมทิลดีนบลู

ทำการทดลองการดูดซับสีเมทิลดีนบลูกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ 3 ชนิด ใช้เวลาสัมผัสที่เข้าสู่สมดุลเท่ากับ 30 นาทีตลอดการทดลอง โดยแปรค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลดีนบลูเป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L ตามลำดับ เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสีเมทิลดีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ได้แต่ละชนิด ได้ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

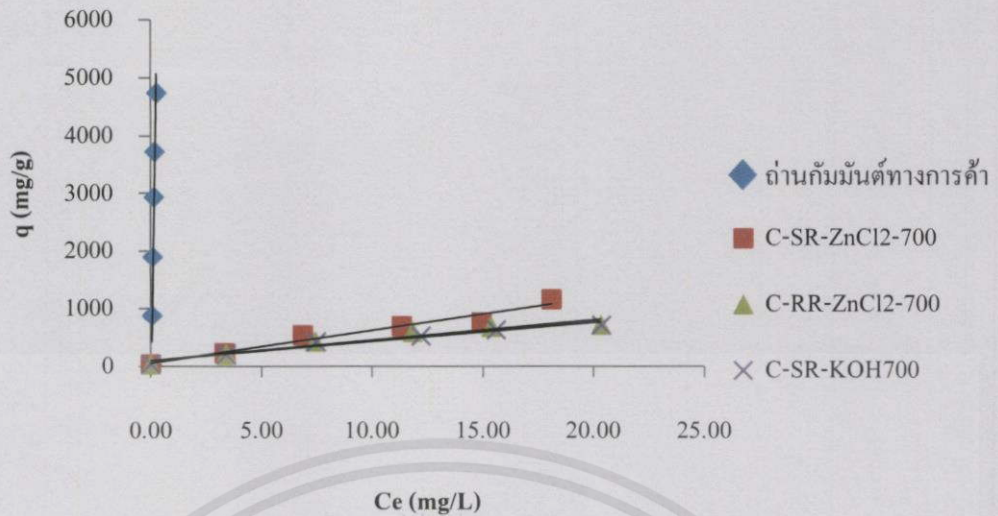
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลลีนบลู

C_0 (mg/L)	ถ่านกัมมันต์ ทางการค้า		C-SR-ZnCl ₂ 700		C-RR-ZnCl ₂ 700		C-SR-KOH700	
	Ce	q	Ce	q	Ce	q	Ce	q
	(mg/L)	(mg/g)	(mg/L)	(mg/g)	(mg/L)	(mg/g)	(mg/L)	(mg/g)
5	0.08	874.67	3.35	220.67	3.41	208.00	3.41	208.00
10	0.10	1896.00	6.88	540.67	7.43	430.00	7.48	420.67
15	0.15	2929.33	11.34	690.00	11.82	595.33	12.21	517.33
20	0.19	3717.33	14.95	765.33	15.36	684.67	15.61	634.00
25	0.26	4730.67	18.10	1162.00	20.32	718.00	20.36	711.33



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลลีนบลู ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงถึง 15 mg/L ถ่านกัมมันต์ทางการค้ายังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลลีนบลูได้ดีที่สุด คือ 99.01 % ส่วน C-SR-ZnCl₂700 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลลีนบลูได้เพียง 28.21 % ส่วน C-RR-ZnCl₂700 และ C-SR-KOH700 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลลีนบลูได้ดีเท่ากันคือ 23.35 %



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ C_e

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสีเมทิลลีนบลูสูง (High Affinity) ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเรซิน มีความสามารถในการดูดซับสีเมทิลลีนบลูต่ำ (Low Affinity) กว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

4.9 เปรียบเทียบวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

จากตารางที่ 2.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และ พื้นที่ผิว พบว่าถ่านกัมมันต์จากเรซินมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบชนิดอื่น แต่ค้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ ส่วนพื้นที่ผิว พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเรซินมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ แต่สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากกระดุกไก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนลบ ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ SR และ RR โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$, KOH และ ZnO โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า เมื่อนำไปไทเทรตหาค่าการดูดซับไอโอดีนพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ณ อุณหภูมิ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนซิงค์คลอไรด์ต่อถ่าน 2:1 มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนได้ดีที่สุด ในการกระตุ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าทั้งถ่านที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ และ KOH มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น และ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเรซิน SR มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนดีกว่าถ่านที่ผลิตจากเรซิน RR เมื่อนำมาดูดซับสีเมทิลีนบลู พบว่าถ่านชนิด C-SR- $ZnCl_2$ 700 มีพื้นที่ผิวมากจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าถ่านชนิดอื่นที่เตรียมได้ แต่มีค่าการดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมาก จะมีขนาดรูพรุนเล็ก ดูดซับได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวน้อย แต่มีรูพรุนขนาดใหญ่ เพราะรูพรุนขนาดใหญ่ ใหญ่เกินไปสำหรับการดูดซับโมเลกุลของเมทิลีนบลู จากการหาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ทางการค้าหรือตัวที่ดูดซับได้ดีที่สุด ไม่พบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญต่อการดูดซับ อาจเป็นไปได้ว่าหมู่ฟังก์ชันไม่สามารถบอกผลการดูดซับได้ และ ที่สำคัญพบว่าถ่านที่ผลิตขึ้นจากเรซินประจุลบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ดังนั้นถ่านที่ผลิตจากเรซินมีสมบัติไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในการดูดซับสี เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. สิ้นเปลืองพลังงาน เพราะใช้อุณหภูมิในขั้นตอนการกระตุ้นสูง
2. ใช้น้ำชะล้างสารเคมีหลังการกระตุ้นปริมาณมาก

3. ถ่านที่ผลิตได้ไม่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำเรซินไปฝั่งแฉดก่อน เพื่อลดพลังงานในการไล่น้ำขณะทำการคาร์บอน
2. นำเรซินที่ใช้แล้ว ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ทางการเกษตร เป็นต้น
3. ควรศึกษาประสิทธิภาพถ่านจากเรซินที่ไม่ผ่านการกระตุ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์] http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 มิถุนายน 2557).

กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์: **Standard for activated carbon**. [ออนไลน์] <http://www2.rid.go.th/research/vijais/moa/fulltext/TIS900-2547.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 14 มิถุนายน 2557).

จิตติ หวานเสนาะ และ เจษฎา มานะสิทธิชัย. การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกระดูกไก่. สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 37.

เจือจันทน์ เกตษา. ผลของอุณหภูมิคาร์บอนไอเซนซันต่อสมบัติของถ่านชาร์ และ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. (วันที่ค้นข้อมูล: 16 มิถุนายน 2557). วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 8-22.

จตุพร อรุณ โชติ และคณะ. 2554. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบโดยกระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า. วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า I.

ชลธิชา ประจักษ์สูตร และ ด็กษมณ คูบุญอารักษ์. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคั่วบด. [ออนไลน์] http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20120220144231.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 14 มิถุนายน 2557).

ชาญ เศรษฐิภูต และคณะ. 2552. การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านไม้จากไม้ป่า ไม้ตง และ ไม้มันหมู จากจังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 4-39.

ณัฐวิภา จงรัก. การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และ โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม. หน้า 1-2.

ทวีวรรณ เกษอินทร์ และอลิษา ใจเอื้อ. 2546. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ซิงค์คลอไรด์. โครงการงานวิทยาศาสตรบัณฑิต. คณะวิชาเทคโนโลยีเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ. หน้า I.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ธราพงศ์ วิทิตสานต์ และคณะ. 2548. ศูนย์วิจัย และ ตรวจสอบคุณภาพถ่าน. รายงานวิจัย สำนักงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
กองทุนสนับสนุนงานวิจัย. หน้า 94-107.

ธีระ วงศ์เนตร และ ปรีชา ปัญญา. การผลิตถ่านกัมมันต์จากหังน้ำมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]

<http://202.29.15.38/goldenteak/images/stories/pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มิถุนายน 2557).

นพรัตน์ พุทธสุวรรณ และ สุขสถิตย์ บำรุงยา. 2549. การดูดซับสารละลายสีย้อมคองโกเรดด้วย ถ่านกัมมันต์ในเบตไนง. สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า I.

นิภาพร บุญครอง และ มลิสาน นวลเสื่อ. 2550. การศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม คาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกหมาก และ เมล็ดหมาก. สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า I.

ปริญทร เต็มฉวารศิลป์. 2551. การเตรียม และ การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จาก ไม้ตองและไม้หมาจู. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 12-37.

ปรียาพา พาณิชย์ และ พุทธิธิดา ภูโอบ. 2556. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากปาล์ม. [ออนไลน์]

http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20140228172110.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 มิถุนายน 2557).

ปัญญา มณีจักร. 2556. การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางเพื่อดูดซับโครเมียม (III) ไอออน จากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. หน้า 119.

พรรณธิดา บรรจง และ เศชา ฉัตรศิริเวช. 2554. การดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากเปลือกถั่วแมคคาเดเมีย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 1-2.

เพ็ญศรี กุลอารีย์รัตน์ และ อัญชุลี ลิขิตสกุลมีชัย. 2549. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกระบอกไม้ไผ่ที่ เหลือทิ้งจากการบรรจุข้าวหลาม. ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 5-15.

ภควดี สุขอนันต์. 2553. การศึกษาสมบัติ และ คุณลักษณะของพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือก มังคุด ที่เตรียมแบบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น. [ออนไลน์] <http://www.crdc.kmutt.ac.th/document/download/agr/agr4/285-288.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มิถุนายน 2557).

ยงยุทธ ขุนไกร และ อภิสันันท์ หนุงษ์หนองรี. 2552. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางเพื่อ

กำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. หน้า I.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวน เวลสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ไซบระยะ ไซชนคานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษทางปกครองและอาญาต่องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

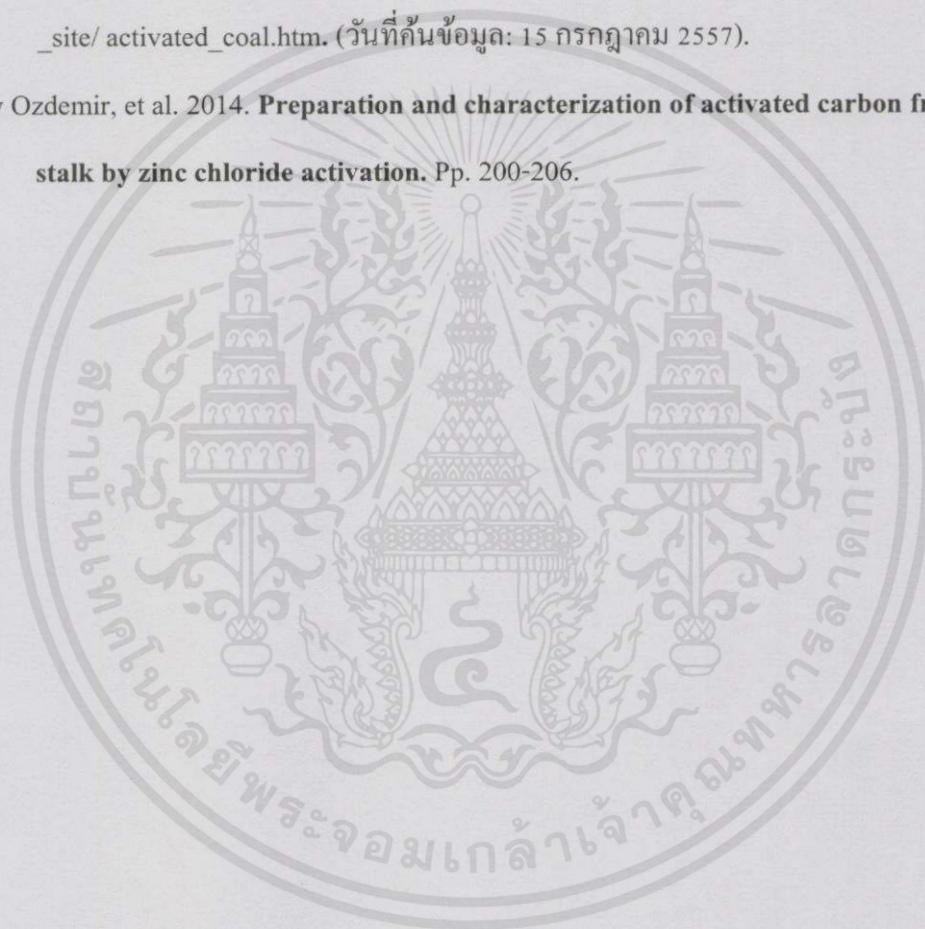
- รวีวรรณ ขงเมืองน้อย และคณะ. ประสิทธิภาพการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ตะเคียน
ใช้แล้วโดยวิธีกระตุ้นทางเคมีที่ใช้สารละลายเกลือสมุทร และ เกลือสินเธาว์. [ออนไลน์]
http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20130226130036.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล:
14 มิถุนายน 2557).
- รุจิรา ปิ่นแก้ว. 2556. การผลิต และ การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับ
มีเทน. ปรินญาณพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์. หน้า 10-27.
- สมพร บุญเทพ. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านที่ได้จากการไพโรไลซิสเปลือกเมล็ด
ยางพารา. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
กรุงเทพ๑. หน้า I.
- ศโรชา เพ็งศรี และ สมใจ เพ็งปรีชา. การกำจัดกลิ่นเฮอริ่นออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมัน
ประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย. [ออนไลน์] http://research.conference.kps.ku.ac.th/article_9/pdf/p_sci_tech12.pdf (วันที่ค้นข้อมูล: 19 สิงหาคม
2557).
- ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2554. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไผ่ลวก. [ออนไลน์] http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2554/ichem21054pk_ch1.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 กรกฎาคม 2557).
- อุรวารณ อุ่นแก้ว. ถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์] <https://www.google.co.th/url?sa=l&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=22&cad=rja&uact=8&ved=0CE0QFjALOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.napatsarun.com%2Fcarbon.doc&ei=oHtwVJy3OM2yuAST4oHwCw&usg=AFQjCNE5dxuAajk5m3yzKqLHBq9fIKmDw&sig2=dLn8uDQMllbeXWxRLzgrTw> (วันที่ค้น
ข้อมูล: 15 มิถุนายน 2557).

ASTM International. 2011. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon (D4607-94).**

ASTM International. 2012. **Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke (D3173-94).**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ayodeji Oladiran and ILYAS Abdul-MojeedOlabisi. **Synthesis and characterizations of ZnO nanoparticles with Zinc chloride as zinc source.** [ออนไลน์] [http://www.ajsc.leena-luna.co.jp/AJSCPDFs/Vol.2\(2\)/AJSC2013\(2.2-06\).pdf](http://www.ajsc.leena-luna.co.jp/AJSCPDFs/Vol.2(2)/AJSC2013(2.2-06).pdf). (วันที่ค้น ข้อมูล: 15 กรกฎาคม 2557).
- Wikipedia. 2557. **ถ่านกัมมันต์.** [ออนไลน์] <http://th.wikipedia.org/wiki/ถ่านกัมมันต์>. (วันที่ค้น ข้อมูล: 19 มิถุนายน 2557).
- บุญรอด วงษ์สวาท. ถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์] http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/activated_coal.htm. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 กรกฎาคม 2557).
- Isilay Ozdemir, et al. 2014. **Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation.** Pp. 200-206.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ทดสอบสมบัติเบื้องต้น

ก-1 สมบัติทั่วไปของเรซิน

ก-1.1 การนำไฟฟ้า และความเป็นกรดเบส ของเรซิน (Conductivity, pH)

1. เตรียมเรซิน และ น้ำกลั่นในอัตราส่วน (ของแข็ง: ของเหลว โดยน้ำหนัก) ที่ 1:5, 1:10 และ 1:15
2. ทำการคนตัวอย่างเรซินในน้ำกลั่น แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
3. ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าพีเอชด้วยเครื่องมือที่ปรับเทียบแล้ว

ก-1.2 การอุ้มน้ำของเรซิน (Water retention, %WR)

1. นำซามระเหยอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. เตรียมเรซิน 1.0 ± 0.5 g ใส่ลงในซามระเหย
3. อบที่เตาอบด้วยอุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และ นำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักที่หายไปด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

ก-1.3 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange Capacity, AEC)

การเตรียมสารเคมี

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4%: ชั่ง NaOH 20 g ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (DI Water) แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 mL สารละลายต้องเก็บในขวดพลาสติก
- สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M: ชั่ง NaCl 2.925 g ละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (DI Water) แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 mL

วิธีการทดลอง

1. ชั่งเรซินชนิด SR จำนวน 10 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% 50 mL ปิดปากขวดด้วยพาราฟิล์ม
3. เขย่า 5 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้ความเร็ว 120 rpm ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เรซินอิ่มตัวด้วยอนุมูลไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 4. กรองเรซินด้วยกระดาษกรองหยาบบกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 5. ชะล้างเรซินด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ครั้งละ 30 mL จนเรซินอิ่มตัวด้วย
คลอไรด์

6.ล้างเรซินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% ครั้งละ 30 mL เพื่อให้คลอไรด์หลุดออกมาจากเรซินและถูกแทนที่ด้วยอนุมูลไฮดรอกไซด์

7.เก็บสารละลายนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตวิธีโมสร

8.คำนวณหาค่า AEC ตามสมการ $AEC = \frac{(A - B) \times N \times 100}{W \times 1000} \dots (ก-1)$

ก-2 ตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์

ก-2.1 วิเคราะห์การนำไฟฟ้า และความเป็นกรดเบส ของถ่านกัมมันต์

1. เตรียมถ่าน และน้ำกลั่นในอัตราส่วน (ของแข็ง: ของเหลว โดยน้ำหนัก) ที่ 1:5, 1:10 และ 1:15

2. คนตัวอย่างถ่านในน้ำกลั่น แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

3. วัดค่าการนำไฟฟ้า และค่าพีเอชด้วยเครื่องมือที่ปรับเทียบแล้ว

ก-2.2 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture, %M)

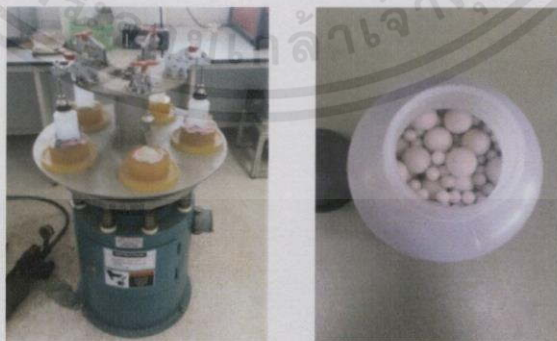
1. นำขามระเหยอบที่อุณหภูมิ 105-110°C เวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. ชั่งถ่าน 1.0 ± 0.5 g ใส่ลงในขามระเหย

3. อบที่เตาอบ อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และ ชั่งหาน้ำหนักที่หายไปด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

ก-2.3 การดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)(ASTM D4607)

1. บดถ่านกัมมันต์ทางการค้าด้วยเครื่อง Vibrating ball mills โดยใส่เม็ดบด 3/4 ของขวด ดังรูป ก-1



รูป ก-1 เครื่อง Vibrating ball mills และ เม็ดบดเซรามิกอลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่อเชิงพาณิชย์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งถ่านกัมมันต์ทางการค้าเพื่อบด ครั้งละ ไม่เกิน 30 g เติมเอทิลแอลกอฮอล์ให้มีความ

สูงเหนือลูกบดประมาณ 1 cm บดประมาณ 5 ชั่วโมง

3. แยกเมล็ดบดออกจากสารละลาย ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105-110 °C จนเอทิลแอลกอฮอล์ระเหยออกจนหมด จึงทิ้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์
 4. บดถ่านกัมมันต์ทางการค้าให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 mesh ได้ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก และ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ได้ร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่อง Vibratory sieve shaker
 5. อบถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่อุณหภูมิ 110–120 °C เวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเคซิเคเตอร์
 6. ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ทางการค้า 1.32, 1.55 และ 1.80 g ใส่ในขวดรูปชมพู่
 7. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จำนวน 10 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เปิดจุกต้มในตู้ดูดควันให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้า และ ซัลเฟอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์ทางการค้า ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิห้อง
 8. เปิดสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วปริมาตร 100 mL ใส่ขวดรูปชมพู่ และ ปิดจุกอย่างรวดเร็วพร้อมทั้งเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที
 9. กรองแยกถ่านกัมมันต์ทางการค้าออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรองหยาบ โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอึดตัวด้วยสารละลาย จากนั้นเปิดมา 50 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่
 10. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนสารละลายใส บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้
 11. ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ และ เปลี่ยนจากถ่านกัมมันต์ทางการค้าเป็นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเรซิน คำนวณน้ำหนักที่ใช้แน่นอน 3 ค่า จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 1 – 10
- หมายเหตุ ข้อ 6. เปลี่ยนน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากเรซินตามค่าการคำนวณในภาคผนวก ง

ก-2.4 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Fourier transform infrared, FT-IR)

1. ตักตัวอย่างประมาณ 0.0005-0.0010 g บดผสมกับ KBr ประมาณ 0.1000 g

2. เตรียมตัวอย่างใสแม่พิมพ์ แล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

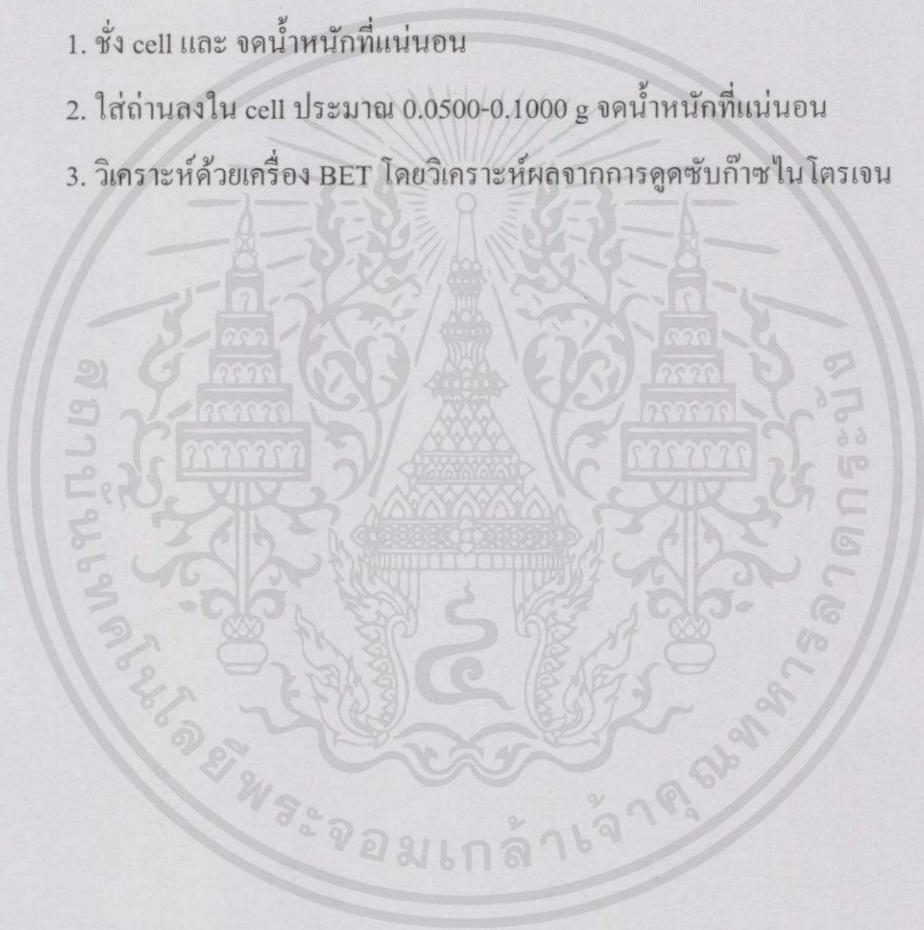
3. ใช้ฟิล์มพอลิสไตรีนในการปรับเทียบ ก่อนวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2.5 วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (Bruner-Emmet-Tellet, BET)

เครื่องวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยวิธี Bruner-Emmet-Tellet (BET) ใช้วิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงกายภาพ เพื่ออธิบายลักษณะของพื้นที่ผิว และ โครงสร้างรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวดูดซับ ถ่านกัมมันต์จะถูกรวมก๊าซไว้เป็นเวลา 1 คืน ก่อน จะนำมาวิเคราะห์ เครื่อง BET สามารถวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวโดยใช้สมการของ BET ปริมาตรรูพรุน ทั้งหมดสามารถหาได้จาก $P/P_0 = 0.995$ พื้นที่ผิว และ ปริมาตรของไมโครพอร์สามารถหาได้จาก วิธี t-plot

1. ชั่ง cell และ จดน้ำหนักที่แน่นอน
2. ใส่ถ่านลงใน cell ประมาณ 0.0500-0.1000 g จดน้ำหนักที่แน่นอน
3. วิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET โดยวิเคราะห์ผลจากการดูดซับก๊าซไนโตรเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการเตรียมสารเคมี

ข-1 การเตรียมสารสำหรับกระตุ้นถ่านด้วยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จากซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂)

- สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น 0.4 M: ชั่ง ZnCl₂ 54.516 g เติมน้ำกลั่นปรับเป็น 1 L
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.8 M: ชั่ง NaOH 32 g เติมน้ำกลั่นปรับ 1 L
- การเตรียมซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zn(OH)₂):

นำสารละลาย ZnCl₂ 0.4 M 100 mL ปั่นกวนให้สารละลายผสมกันสมบูรณ์

ค่อยๆ เติม NaOH 0.8 M ลงไปจนมี
ฟิเอชประมาณ 11.44 เพื่อให้เกิด Zn(OH)₂

นำไปกรองแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำ DI จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่
โดยทดสอบด้วย AgNO₃

นำตะกอนที่กรองได้ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 การเตรียมสารเคมีดูดซับไอโอดีน

-สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 %:

ปีเปตสารละลาย HCl มา 67.6 mL จาก conc. HCl (ความเข้มข้น 37 % โดยปริมาตร) ใต
ในขวดปรับปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่มากกว่า 200 mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500
mL

-สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 N:

ชั่งไอโอดีน 12.70 g และ โพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.10 g ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็น
ของแข็ง เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป คนสารละลายด้วย
แท่งแก้วตลอดเวลา เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมด ปรับด้วยน้ำ
กลั่นให้ปริมาตรครบ 1 L แล้วจึงเทสารลงเก็บในขวดสีชา

-สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 N:

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.82 g แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดปริมาตร 75 ± 25 mL คนสารละลาย
ให้เข้ากัน (เติมโซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 0.10 g ป้องการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟต
เนื่องจากแบคทีเรีย) ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1 L แล้วจึงเทสารละลายในขวดสีชา และ เก็บ
ไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาใช้

-สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 N:

อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4.00 g ที่อุณหภูมิ 110°C นาน 2 ชั่วโมงแล้วมาเก็บไว้
ในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 3.5667 g มาละลายด้วยน้ำกลั่น 100 mL แล้วปรับด้วย
น้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1 L เก็บสารละลายในขวดสีชา

-สารละลายน้ำแป้ง:

ชั่งแป้ง 1 g ผสมกับน้ำกลั่น 25 mL คนตลอดเวลา จากนั้นเทสารลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือด
ใหม่ๆ ปริมาตร 1 L ต้มต่อไปอีก 4-5 นาที หรือ จนใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บใส่ขวด (น้ำแป้งควร
เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำาทดลอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

ข-3.1 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.00 g ลงไป เขย่าให้ละลาย
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก จำนวน 5 mL ลงไปในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายสีเหลืองเข้ม
4. ไทเทรตด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน
5. เติมน้ำแข็งลงไป 2-3 หยด จากนั้นไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นใส ไม่มีสี บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

ข-3.2 สารละลายไอโอดีน

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแข็ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

ข-4 การเตรียมสารดูดซับเมทิลีนบลู

- สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 5:

เตรียมได้จากสารละลาย KHP ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 mL: NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 45.2 mL

- สารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 500 mg/L:

ชั่งเมทิลีนบลูหนัก 0.2500 g ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 จนถึงขีดบอกปริมาตร

- สารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L:

ปิเปตสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 500 mg/L ปริมาตร 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 mL

เอกลสารนี้ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5

ไม่ว่ากรณีจนถึงขีดบอกปริมาตร มิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมกราฟมาตรฐานเมทิลลีนบลู

ปิเปตสารละลายเมทิลลีนบลูเข้มข้น 500 mg/L ปริมาตร 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 และ 0.40 mL ใส่ขวดปรับปริมาตร 10 mL



ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 5



เขย่าให้เข้ากัน สารละลายเมทิลลีนบลูนี้มีความเข้มข้น 4, 8, 12, 16 และ 20 mg/L ตามลำดับ



วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 669 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง ก-1 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน

พารามิเตอร์	ครั้งที่	SR			RR		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	5.80	6.40	7.90	9.00	9.50	9.60
	2	5.70	6.00	7.50	8.70	9.30	9.40
	3	5.70	6.00	7.80	9.20	8.90	9.10
	\bar{x}	5.73	6.13	7.73	9.37	9.13	9.07
	S.D.	0.07	0.28	0.28	0.32	0.38	0.15
Conductivity (ms/cm)	1	15.90	12.10	8.60	760.00	740.00	722.00
	2	14.20	12.20	8.80	757.00	746.00	725.00
	3	15.70	12.60	8.30	758.00	744.00	730.00
	\bar{x}	15.27	12.30	8.57	758.33	743.33	725.67
	S.D.	0.93	0.26	0.25	1.53	3.06	4.04
การอุ้มน้ำ (Water retention, %WR)	1	59.00			65.00		
	2	56.00			65.00		
	3	59.00			62.00		
	\bar{x}	57.33			64.00		
	S.D.	1.73			1.73		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหามและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	ครั้งที่	C-SR			C-RR		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	6.80	7.50	8.40	8.20	8.60	8.80
	2	6.60	7.90	8.80	8.30	8.50	8.80
	3	6.60	7.40	8.80	8.50	8.60	8.90
	\bar{x}	6.67	7.60	8.67	8.33	8.57	8.83
	S.D.	0.12	0.26	0.23	0.15	0.06	0.06
Conductivity (ms/cm)	1	3.09	1.94	1.39	5.58	4.01	3.05
	2	4.32	1.97	1.36	5.26	3.72	3.03
	3	3.96	1.91	1.54	6.01	4.00	3.02
	\bar{x}	3.09	1.94	1.39	5.62	3.91	3.03
	S.D.	0.63	0.03	0.10	0.38	0.16	0.02
ความชื้น (Moisture, %M)	1		1.15			1.15	
	2		1.15			1.25	
	3		1.25			1.30	
	\bar{x}		1.18			1.23	
	S.D.		0.06			0.08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-3 อุณหภูมิขณะคาร์บอไนซ์เซชัน 24 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิ (°C)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
1	478	460	466	468	9.17
2	597	512	598	569	49.37
3	720	723	729	724	4.58
4	732	716	712	720	10.58
5	492	476	487	485	8.19
6	528	586	521	545	35.68
7	498	512	537	516	19.76
8	532	535	528	532	3.51
9	548	511	504	521	23.64
10	564	524	540	543	20.13
20	512	540	545	532	17.79
21	540	526	532	533	7.02
22	524	488	495	502	19.09
23	517	506	546	523	20.66
24	496	514	523	511	13.75
25	514	497	564	525	34.83
	\bar{x}			547	19.00

ตาราง ค-4 ร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักตั้งต้น

คำนวณจากน้ำหนักวัตถุตั้งต้น

ผลผลิตตั้งต้น			
ชนิด	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	ร้อยละผลผลิต
SR	4120.00	460.00	11.17
RR	4120.00	400.00	9.71

ตาราง ก-5 ร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง

(วัตถุดิบตั้งต้นของ SR และ RR มีความชื้นเท่ากับ 57.33% และ 64.00% ตามลำดับ)

ผลผลิตตั้งต้นโดยน้ำหนักแห้ง			
ชนิด	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	ร้อยละผลผลิต
SR	4120.00	460.00	19.48
RR	4120.00	400.00	15.17

ตาราง ก-6 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 700 °C

พารามิเตอร์	ครั้งที่	C-SR- $ZnCl_2$			C-RR- $ZnCl_2$		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	5.2	5.25	5.28	5.03	5.20	5.58
	2	5.21	5.25	5.28	5.04	5.22	5.59
	3	5.86	5.81	5.61	5.03	5.23	5.56
	\bar{x}	5.24	5.25	5.76	5.03	5.22	5.58
	S.D.	0.04	0.04	0.13	0.01	0.02	0.02
Conductivity (ms/cm)	1	1.97	0.98	0.57	3.96	2.06	1.25
	2	1.94	0.99	0.54	3.72	1.95	1.22
	3	1.93	0.91	0.55	3.74	2.06	1.19
	\bar{x}	1.95	0.93	0.55	3.80	2.02	1.22
	S.D.	0.02	0.05	0.01	0.13	0.55	0.03
ความชื้น (Moisture, %M)	1	1.02			0.93		
	2	1.01			0.94		
	3	0.99			0.91		
	\bar{x}	1.01			0.93		
	S.D.	0.02			0.02		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-7 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH 300 °C

พารามิเตอร์	ครั้งที่	C-SR-KOH			C-RR-KOH		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	9.68	9.51	9.52	9.73	9.69	9.56
	2	9.67	9.45	9.47	9.72	9.70	9.58
	3	9.68	9.44	9.46	9.74	9.69	9.57
	\bar{x}	9.68	9.47	9.48	9.73	9.69	9.57
	S.D.	0.01	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1	641.0	363.0	246.0	743.0	520.0	416.0
	2	660.0	364.0	240.0	748.0	522.0	403.0
	3	711.0	381.0	248.0	749.0	528.0	404.0
	\bar{x}	670.67	369.33	244.67	746.67	523.33	407.67
	S.D.	36.20	10.12	4.16	3.21	4.16	7.23
ความชื้น (Moisture, %)	1		1.15			1.15	
	2		1.15			1.25	
	3		1.25			1.36	
	\bar{x}		1.18			1.23	
	S.D.		0.06			0.08	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-8 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH 700 °C

พารามิเตอร์	ครั้งที่	C-SR-KOH			C-RR-KOH		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	10.10	9.99	9.82	10.09	9.69	9.49
	2	10.05	9.91	9.85	10.11	9.67	9.57
	3	9.97	9.92	9.87	9.97	9.67	9.54
	\bar{x}	10.04	9.94	9.85	10.05	9.68	9.53
	S.D.	0.07	0.04	0.03	0.09	0.01	0.04
Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)	1	1510	790	512	888	532	267
	2	1580	747	507	963	520	294
	3	1520	759	520	954	569	255
	\bar{x}	1536.67	765.33	513.00	935.00	540.33	272.00
	S.D.	37.86	22.19	6.56	40.95	25.54	19.97
ความชื้น (Moisture, %)	1		1.41			1.30	
	2		1.39			1.36	
	3		1.39			1.37	
	\bar{x}		1.40			1.34	
	S.D.		0.01			0.29	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-9 สมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnO 700 °C

พารามิเตอร์	ครั้งที่	C-SR-KOH			C-RR-KOH		
		1:5	1:10	1:15	1:5	1:10	1:15
pH	1	6.47	6.63	6.87	6.54	6.68	6.93
	2	6.55	6.64	6.84	6.53	6.71	6.94
	3	6.56	6.64	6.89	6.60	6.70	6.94
	\bar{x}	6.53	6.64	6.87	6.56	6.70	6.94
	S.D.	0.05	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01
Conductivity($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1	159	95.60	57.6	151	84.30	58.00
	2	161	94.80	62.4	142	86.00	59.40
	3	150	86.50	63.5	144	85.70	61.70
	\bar{x}	156.67	92.30	61.17	145.67	85.33	59.70
	S.D.	5.86	5.04	3.14	4.73	0.91	1.87
การอุ้มน้ำ (Water retention, %)	1		0.08			0.04	
	2		0.10			0.05	
	3		0.07			0.05	
	\bar{x}		0.08			0.05	
	S.D.		0.02			0.02	

ตาราง ค-10 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

M (g)	ถ่านการค้า			
	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1.32	16.9	12.50	12.60	14.00
1.55	11.70	8.40	9.10	9.73
1.80	6.40	6.10	5.30	5.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-11 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของ C-SR-KOH300 และ C-RR-KOH300

C-SR-KOH300					C-RR-KOH300				
M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)				M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
2.86	16.50	17.60	17.00	17.03	4.06	14.00	14.10	14.30	14.13
3.36	13.00	13.80	13.20	13.33	4.78	10.20	10.50	9.90	10.20
3.87	10.10	10.40	10.30	10.27	5.49	6.40	6.40	7.00	6.60

ตาราง ค-12 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของ C-SR-KOH700 และ C-RR-KOH700

C-SR-KOH700					C-RR-KOH700				
M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)				M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1.99	16.50	17.60	17.00	17.03	2.14	15.00	14.80	14.80	14.87
2.32	13.00	13.80	13.20	13.03	2.47	10.60	10.50	10.70	10.60
2.66	10.10	10.40	10.30	10.27	2.80	6.60	6.50	6.70	6.60

ตาราง ค-13 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของ C-SR-ZnCl₂400 และ C-RR-ZnCl₂400

C-SR-ZnCl ₂ 400					C-RR-ZnCl ₂ 400				
M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)				M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1.98	14.10	14.20	14.50	14.27	2.45	14.60	14.70	14.50	14.60
2.30	10.90	10.20	10.30	10.47	2.88	10.70	10.50	10.70	10.63
2.70	7.20	7.00	7.10	7.10	3.31	6.90	7.00	7.10	7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-14 ผลการวิเคราะห์ไอโอดีนของ C-SR-ZnCl₂700 และ C-RR-ZnCl₂700

C-SR-ZnCl ₂ 700					C-RR-ZnCl ₂ 700				
M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)				M (g)	ปริมาตร Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1.91	14.4	14.2	14.6	14.4	1.49	15.40	14.80	15.20	15.13
2.23	11.1	10	10.7	10.6	1.76	10.40	11.00	12.30	11.20
2.54	7.1	7.2	8.5	7.6	2.02	8.80	7.00	8.20	8.00

ตาราง ก-15 เวลาสัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	1.015	1.031	1.000	1.015	0.02
5	0.993	0.983	0.982	0.986	0.01
10	0.873	0.882	0.873	0.876	0.01
15	0.897	0.901	0.899	0.899	0.00
20	0.945	0.954	0.954	0.951	0.01
25	0.858	0.864	0.866	0.863	0.00
30	0.855	0.868	0.869	0.864	0.01
35	0.847	0.847	0.847	0.847	0.00
40	0.893	0.855	0.846	0.865	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-16 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00
5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
15	-0.006	-0.004	-0.002	-0.004	0.00
20	0.004	0.002	0.004	0.003	0.00
25	-0.006	-0.004	-0.004	-0.005	0.00
30	0.001	0.003	0.003	0.002	0.00
35	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	0.00
40	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	0.00

ตาราง ก-17 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-SR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	0.757	0.759	0.772	0.763	0.01
5	0.732	0.724	0.722	0.726	0.00
10	0.693	0.697	0.698	0.696	0.00
15	0.698	0.695	0.697	0.697	0.00
20	0.754	0.757	0.757	0.756	0.00
25	0.588	0.590	0.592	0.590	0.00
30	0.601	0.607	0.608	0.605	0.00
35	0.614	0.614	0.601	0.610	0.01
40	0.605	0.603	0.610	0.606	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-18 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-RR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	0.787	0.787	0.812	0.795	0.01
5	0.783	0.765	0.757	0.768	0.01
10	0.722	0.726	0.732	0.727	0.00
15	0.695	0.682	0.684	0.687	0.01
20	0.658	0.660	0.662	0.660	0.00
25	0.706	0.713	0.721	0.713	0.01
30	0.643	0.654	0.654	0.651	0.01
35	0.651	0.651	0.636	0.646	0.01
40	0.653	0.643	0.629	0.641	0.01

ตาราง ก-19 เวลาสัมผัสกับค่าการดูดกลืนแสงของ C-SR-KOH700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	0.778	0.755	0.800	0.778	0.02
5	0.772	0.746	0.743	0.754	0.02
10	0.700	0.700	0.710	0.703	0.01
15	0.691	0.691	0.691	0.691	0.00
20	0.687	0.691	0.691	0.690	0.00
25	0.697	0.700	0.700	0.699	0.00
30	0.634	0.640	0.641	0.638	0.00
35	0.630	0.630	0.621	0.627	0.01
40	0.630	0.627	0.619	0.626	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-20 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของชุดควบคุม

เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	5.52	5.61	5.44	5.52	0.09
5	5.40	5.35	5.34	5.36	0.03
10	4.75	4.80	4.75	4.77	0.03
15	4.88	4.90	4.89	4.89	0.01
20	5.14	5.19	5.19	5.17	0.03
25	4.67	4.70	4.71	4.69	0.02
30	4.65	4.72	4.73	4.70	0.04
35	4.61	4.61	4.61	4.61	0.00
40	4.86	4.65	4.60	4.70	0.14

ตาราง ก-21 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-22 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-SR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.12	4.13	4.20	4.15	0.04
5	3.98	3.94	3.93	3.95	0.03
10	3.77	3.79	3.80	3.79	0.02
15	3.80	3.78	3.79	3.79	0.01
20	4.10	4.12	4.12	4.11	0.01
25	3.20	3.21	3.22	3.21	0.01
30	3.27	3.30	3.31	3.29	0.02
35	3.34	3.34	3.27	3.32	0.04
40	3.29	3.28	3.32	3.30	0.02

ตาราง ค-23 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-RR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.28	4.28	4.42	4.33	0.08
5	4.26	4.16	4.12	4.18	0.07
10	3.93	3.95	3.98	3.95	0.03
15	3.78	3.71	3.72	3.74	0.04
20	3.58	3.59	3.60	3.59	0.01
25	3.84	3.88	3.92	3.88	0.04
30	3.50	3.56	3.56	3.54	0.03
35	3.54	3.54	3.46	3.51	0.05
40	3.55	3.50	3.42	3.49	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-24 เวลาสัมผัสกับความเข้มข้นที่เหลือของ C-SR-KOH700

เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/L)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.23	4.11	4.35	4.23	0.12
5	4.20	4.06	4.04	4.10	0.09
10	3.81	3.81	3.86	3.83	0.03
15	3.76	3.76	3.76	3.76	0.00
20	3.74	3.76	3.76	3.75	0.01
25	3.79	3.81	3.81	3.80	0.01
30	3.45	3.48	3.49	3.47	0.02
35	3.43	3.43	3.38	3.41	0.03
40	3.43	3.41	3.37	3.40	0.03

ตาราง ค-25 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของชุดควบคุม

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.93	4.92	4.92	4.92	0.01
5	5.00	5.01	5.00	5.00	0.01
10	4.98	4.98	4.97	4.98	0.01
15	4.95	4.96	4.95	4.95	0.01
20	4.94	4.95	4.94	4.94	0.01
25	4.94	4.95	4.95	4.95	0.01
30	4.93	4.93	4.95	4.94	0.01
35	4.96	4.97	4.99	4.97	0.02
40	4.93	4.94	4.94	4.94	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-26 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	5.09	5.07	5.08	5.08	0.01
5	5.17	5.19	5.17	5.18	0.01
10	5.01	5.00	5.01	5.01	0.01
15	4.98	4.97	4.96	4.97	0.01
20	5.00	5.01	5.00	5.00	0.01
25	4.96	4.97	4.96	4.96	0.01
30	4.98	4.99	4.97	4.98	0.01
35	4.99	5.00	4.99	4.99	0.01
40	4.99	5.01	4.99	5.00	0.01

ตาราง ค-27 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-SR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.93	4.92	4.92	4.92	0.01
5	4.99	5.00	4.99	4.99	0.01
10	4.86	4.86	4.87	4.86	0.01
15	4.86	4.85	4.86	4.86	0.01
20	4.83	4.83	4.84	4.83	0.01
25	4.83	4.84	4.84	4.84	0.01
30	4.84	4.85	4.86	4.85	0.01
35	4.85	4.85	4.84	4.85	0.01
40	4.86	4.85	4.86	4.86	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-28 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-RR-ZnCl₂700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.90	4.92	4.92	4.91	0.01
5	4.98	4.97	4.98	4.98	0.01
10	4.85	4.85	4.85	4.85	0.00
15	4.85	4.85	4.84	4.85	0.01
20	4.84	4.84	4.85	4.84	0.01
25	4.83	4.83	4.83	4.83	0.00
30	4.83	4.83	4.84	4.83	0.01
35	4.85	4.84	4.84	4.84	0.01
40	4.84	4.86	4.85	4.85	0.01

ตาราง ค-29 เวลาสัมผัสกับค่าพีเอชของ C-SR-KOH700

เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
0	4.92	4.92	4.92	4.92	0.00
5	4.98	4.98	4.98	4.98	0.00
10	4.86	4.86	4.85	4.86	0.01
15	4.85	4.86	4.85	4.85	0.01
20	4.85	4.85	4.86	4.85	0.01
25	4.83	4.83	4.84	4.83	0.01
30	4.85	4.85	4.85	4.85	0.00
35	4.85	4.85	4.84	4.85	0.01
40	4.86	4.84	4.85	4.85	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-30 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับค่าการดูดกลืนแสงของถ่านแต่ละชนิด

ชนิดถ่าน	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/L)	การดูดกลืนแสง (Abs)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
ถ่านกัม มันต์ทาง การค้า	5	0.047	0.051	0.020	0.039	0.017
	10	0.018	0.023	0.012	0.018	0.006
	15	0.038	0.023	0.017	0.026	0.011
	20	0.031	0.032	0.027	0.030	0.003
	25	0.031	0.039	0.060	0.043	0.015
C-SR -ZnCl ₂ 700	5	0.629	0.609	0.610	0.616	0.011
	10	1.132	1.147	1.146	1.142	0.008
	15	1.695	1.703	1.708	1.702	0.007
	20	2.504	2.447	2.526	2.492	0.041
	25	2.904	3.111	2.996	3.004	0.104
C-RR -ZnCl ₂ 700	5	0.628	0.063	0.626	0.439	0.326
	10	1.233	1.234	1.232	1.233	0.001
	15	1.801	1.806	1.799	1.802	0.004
	20	2.560	2.553	2.529	2.547	0.016
	25	3.322	3.460	3.332	3.371	0.077
C-SR- KOH700	5	0.628	0.063	0.627	0.439	0.326
	10	1.239	1.243	1.241	1.241	0.002
	15	1.711	1.718	1.715	1.715	0.004
	20	2.584	2.584	2.601	2.590	0.010
	25	3.471	3.324	3.337	3.377	0.081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-31 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับของถ่านแต่ละชนิด

ชนิดถ่าน	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
ถ่านกัม มันต์ทาง การค้า	5	0.08	0.07	0.09	0.08	0.01
	10	0.10	0.14	0.07	0.10	0.04
	15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.01
	20	0.23	0.19	0.16	0.19	0.04
	25	0.19	0.23	0.36	0.26	0.09
C-SR -ZnCl ₂ 700	5	3.42	3.31	3.32	3.35	0.06
	10	6.82	6.91	6.91	6.88	0.05
	15	11.24	11.36	11.43	11.34	0.10
	20	14.87	14.98	15.01	14.95	0.07
	25	17.50	18.75	18.06	18.10	0.63
C-RR -ZnCl ₂ 700	5	3.42	3.41	3.41	3.41	0.01
	10	7.43	7.44	7.43	7.43	0.01
	15	11.58	11.98	11.89	11.82	0.21
	20	15.43	15.39	15.25	15.36	0.09
	25	20.02	20.86	20.09	20.32	0.47
C-SR- KOH700	5	3.42	3.41	3.41	3.41	0.01
	10	7.47	7.49	7.48	7.48	0.01
	15	12.24	12.04	12.34	12.21	0.15
	20	15.58	15.57	15.68	15.61	0.06
	25	20.92	20.03	20.12	20.36	0.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-32 ความเข้มข้นเริ่มต้นกับค่าพีเอชของถ่านแต่ละชนิด

ชนิดถ่าน	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/L)	ค่าพีเอช				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	\bar{x}	S.D.
ถ่านกัม มันต์ทาง การค้า	5	5.16	5.17	5.17	5.17	0.01
	10	5.17	5.16	5.16	5.16	0.01
	15	5.16	5.16	5.16	5.16	0.00
	20	5.14	5.15	5.14	5.14	0.01
	25	5.05	5.04	5.05	5.05	0.01
C-SR -ZnCl ₂ 700	5	5.08	5.07	5.07	5.07	0.01
	10	5.06	5.06	5.06	5.06	0.00
	15	5.05	5.06	5.05	5.05	0.01
	20	5.03	5.03	5.02	5.03	0.01
	25	5.00	5.00	4.99	5.00	0.01
C-RR -ZnCl ₂ 700	5	5.02	5.00	5.01	5.01	0.01
	10	5.00	5.00	5.01	5.00	0.01
	15	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
	20	4.99	5.00	4.99	4.99	0.01
	25	4.94	4.95	4.94	4.94	0.01
C-SR- KOH700	5	5.00	5.00	5.01	5.00	0.01
	10	5.00	5.00	5.01	5.00	0.01
	15	5.00	5.00	4.99	5.00	0.01
	20	4.99	5.00	4.99	4.99	0.01
	25	4.95	4.95	4.96	4.95	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

ง-1 เปอร์เซนต์การอุ้มน้ำ (Water retention, %WR)

$$\% \text{WR} = \frac{W - D}{W} \times 100$$

%WR = การอุ้มน้ำ (Water retention, %WR)

W = น้ำหนักเปียก (g)

D = น้ำหนักแห้ง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

- น้ำหนักเรซิน SR เปียก = 1.00 g

- น้ำหนักเรซิน SR แห้ง = 0.41 g

$$\begin{aligned} \% \text{WR} &= \left(\frac{1.00 - 0.41}{1.00} \right) \times 100 \\ &= 59.00 \% \end{aligned}$$

ง-2 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (AEC)

$$\text{AEC} = \frac{(A - B) \times N \times 100}{W \times 1000}$$

A = ปริมาตรของ AgNO_3 ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรของ AgNO_3 ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (mL)

N = ความเข้มข้นของ AgNO_3 (N)

W = น้ำหนักแห้ง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-3 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number)

ง-3.1 การเตรียม std.KIO₃

ชั่ง KIO₃ = 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 mL

MW = 214 g/mol (ถ่ายเทอิเล็กตรอน 6 e⁻)

$$\begin{aligned} [\text{KIO}_3] &= \frac{3.5667 \times 6 \times 100}{214 \times 1000} \\ &= 0.1000 \text{ N} \end{aligned}$$

ง-3.2 การหาเข้มข้นที่แน่นอน Na₂S₂O₃

ปิเปต KIO₃ 25.00 mL [KIO₃] = 0.1000 N

ปริมาตร Na₂S₂O₃ ที่ไทเทรต = 23.20 mL

$$\begin{aligned} [\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] &= \frac{25.00 \times 0.1000}{23.20} \\ &= 0.1027 \text{ N} \end{aligned}$$

ง-3.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอน I₂

ปริมาตร Na₂S₂O₃ ที่ไทเทรต = 23.20 mL

$$\begin{aligned} [\text{I}_2] &= \frac{0.1027 \times 23.20}{25.00} \\ &= 0.0953 \text{ N} \end{aligned}$$

ง-3.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนโดยสุ่มน้ำหนักตัวอย่าง

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (B \times S \times DF)}{M}$$

$$\frac{X}{M} = \text{ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อกรัมของคาร์บอน (mg/g)}$$

$$A = [\text{I}_2] \times 12693 \text{ (N)}$$

$$B = [\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] \times 126.93 \text{ (N)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © 2.2 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำข้อมูลใดๆจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \text{ปริมาตร Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้ไทเทรต (mL)}$$

$$M = \text{น้ำหนักถ่าน (g)}$$

ง-3.5 น้ำหนักถ่านโดยประมาณ

$$M = \frac{A - (DF \times Ce \times 126.93 \times 50)}{E}$$

Ce = ความเข้มข้นไอโอดีนที่เหลือ (N)

E = ค่าไอโอดีนของถ่านโดยประมาณ (mg/g)

คำนวณปริมาณถ่าน 3 ค่า โดยใช้ความเข้มข้นไอโอดีนที่เหลือ 0.01, 0.02, 0.03 N

ง-3.6 ความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลือ

$$Ce = \frac{[Na_2S_2O_3] \times S}{F}$$

F = ปริมาตร I₂ ที่เปิดหลังจากการกรอง (mL)

ตัวอย่างการคำนวณ

- ชั่งน้ำหนัก C-RR-KOH300 = 2.00 g

- [I₂] = 0.0953 N, A = 1209.6429 N

- [Na₂S₂O₃] = 0.1027 N, B = 13.0357 N

- ปริมาตร Na₂S₂O₃ ที่ใช้ไทเทรต = 28.60 mL

ค่าการดูดซับไอโอดีนโดยประมาณ

$$\begin{aligned} \frac{X}{M} &= \frac{1209.6429 - (13.0357 \times 28.60 \times 2.2)}{2.00} \\ &= 194.7183 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

น้ำหนักที่แน่นอน

$$M_1 = \frac{1209.6429 - (2.2 \times 0.03 \times 126.93 \times 50)}{194.7183}$$

$$= 4.0611 \text{ g}$$

$$M_2 = \frac{1209.6429 - (2.2 \times 0.02 \times 126.93 \times 50)}{194.7183}$$

$$= 4.7782 \text{ g}$$

$$M_3 = \frac{1209.6429 - (2.2 \times 0.01 \times 126.93 \times 50)}{194.7183}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงในเชิงพาณิชย์ทั้งในรูปแบบเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5.4922 \text{ g}$$

ความเข้มข้นสุดท้ายของไอโอดีนที่เหลือแต่ละน้ำหนัก

$$Ce_1 = \frac{0.1000 \times 14.13}{50}$$

$$= 0.0285 \text{ N}$$

$$Ce_2 = \frac{0.1000 \times 10.20}{50}$$

$$= 0.0206 \text{ N}$$

$$Ce_3 = \frac{0.1000 \times 6.60}{50}$$

$$= 0.0133 \text{ N}$$

ค่าการดูดซับไอโอดีนแต่ละน้ำหนัก

$$\frac{X}{M}_1 = \frac{1209.6429 - (13.0357 \times 14.13 \times 2.2)}{4.0611}$$

$$= 203.34 \text{ mg/g}$$

$$\frac{X}{M}_2 = \frac{1209.6429 - (13.0357 \times 10.20 \times 2.2)}{4.7782}$$

$$= 195.99 \text{ mg/g}$$

$$\frac{X}{M}_3 = \frac{1209.6429 - (13.0357 \times 6.60 \times 2.2)}{5.4922}$$

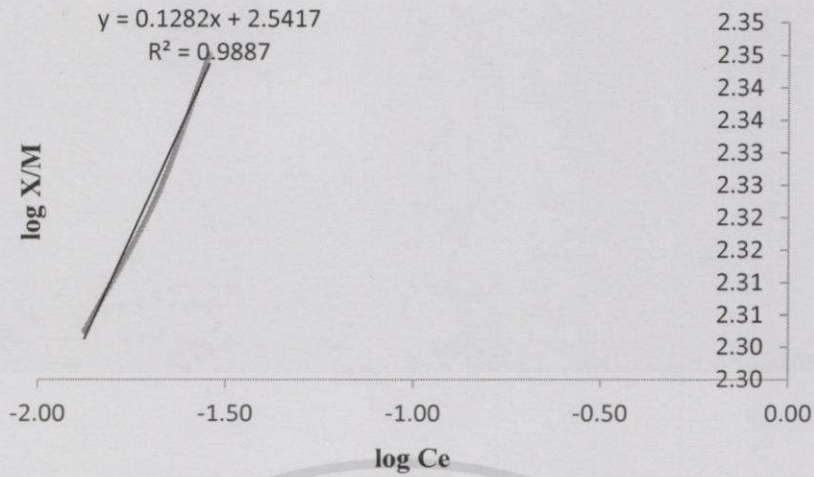
$$= 188.96 \text{ mg/g}$$

หมายเหตุ Take $\log \frac{X}{M}$ และ Ce เพื่อพลอตกราฟระหว่าง $\log \frac{X}{M}$ กับ $\log Ce$

ตาราง ง-1 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของ C-RR-KOH300

M (g)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	\bar{X}	X/M	$\log X/M$	Ce	$\log Ce$
4.06	14.00	14.10	14.30	14.13	221.3673	2.35	0.0285	-1.55
4.78	10.20	10.50	9.90	10.20	210.3046	2.32	0.0206	-1.69
5.49	6.40	6.40	7.00	6.60	200.6094	2.30	0.0133	-1.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารที่ 0-2916-1111



รูป ง-1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \frac{X}{M}$ กับ $\log C_e$

สมการบนแผนภูมิ $y = 0.1282x + 2.541$

จากมาตรฐาน ASTM D4607 กำหนดค่าความเข้มข้นสุดท้ายของไอโอดีนเท่ากับ 0.02 N
 ดังนั้น จึงแทนค่า $x = \log 0.02$ จะได้

$$y = 0.1282(\log 0.02) + 2.541$$

$$y = 2.3239$$

$$\text{Anti log} = 10^{2.3239} = 210.81 \text{ mg/g}$$

\therefore ค่าการดูดซับไอโอดีนของ C-RR-KOH 300 °C เท่ากับ 210.81 มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วย BET Method

จ-1 ผลการวิเคราะห์ C-SR-ZnCl₂700 ด้วย BET Method

12/27/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb 1 for Windows 1.50

File name: D:\MS BET\11\571121_1.RAW
Sample ID: SR-ZnCl2 Description: Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts
Sample weight: 0.0534 g
X sect. area: 16.2 Å²/molec Non-ideality: 6.58e-6
Bath Temp.: 77.35
Outgas Time: 15.0 hrs Analysis Time: 377.6 r
Equil. time: 3 End of run: 11/21/14
PC sw. version: 1.50

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Table with 3 columns: Method, Value, Unit. Includes rows for Multipoint BET, Langmuir Surface Area, BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area, etc.

PORE VOLUME DATA

Table with 3 columns: Method, Value, Unit. Includes rows for Total Pore Volume for pores with Diameter less than 3578.2 Å, BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume, etc.

PORE SIZE DATA

Table with 3 columns: Method, Value, Unit. Includes rows for Average Pore Diameter, BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode), etc.

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : ON

Effective Molecule Diameter: (D) 34.5400 Å

Effective Cell Stem Inner Diameter (d) 4.0000 mm

Last Po Acquired 747.83 mm Hg

Additional Initialization Information Not Recorded

BJH/DH Moving Average Size : 1

Thickness method : DeBoer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

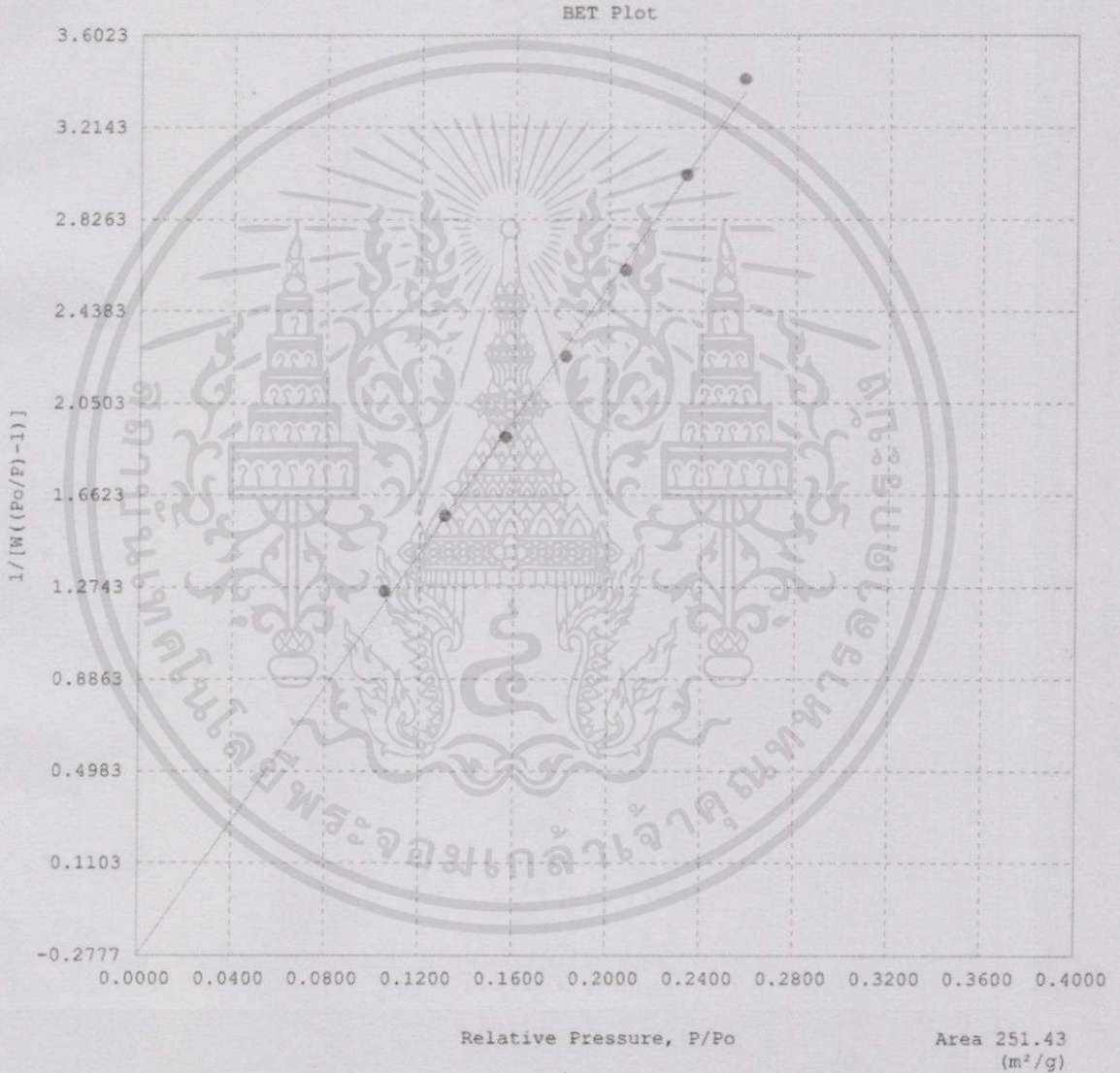
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ แจกจ่าย หรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆที่ปรากฏในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-2 แสดงค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดของ C-SR-ZnCl₂700

11/27/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb 1 for Windows 1.50

File name:	D:\WA BET\11\571121_1.RAW		
Sample ID:	SR-ZnCl2	Description:	Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts
Comments:	f		
Operator:	fon	Sample weight:	0.0534 g
Analysis gas:	Nitrogen	X sect. area:	16.2 Å ² /molec
Adsorbate (DRP):	Nitrogen	Bath Temp.:	77.35
Outgas Temp:	300.0 °C	Outgas Time:	15.0 hrs
P/Po tolerance:	2	Equil. time:	3
Station #:	1	PC sw. version:	1.50
	A ●	BF —	
		Non-ideality:	6.58e-05
		Analysis Time:	377.6 min
		End of run:	11/21/2014 16:04



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-3 ผลการวิเคราะห์ C-RR-ZnCl₂700 ด้วย BET Method

27/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb 1 for Windows 1.50

File name:	D:\QA\BET\11\571124_2.RAW	Description:	Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts
Sample ID:	RR-ZnCl2	Sample weight:	0.0563 g
Comments:		X sect. area:	16.2 Å ² /molec
Analyzer:	Best	Bath Temp.:	77.35
Analysis gas:	NITROGEN	Outgas Time:	7.3 hrs
Carrier (DRP):	Nitrogen	Equil. time:	3
Gas Temp:	300.0 °C	PC sw. version:	Pre-1.20
Flow tolerance:	2		
Injection #: 1			

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET	2.389E+02	m ² /g
Langmuir Surface Area	3.490E+02	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area	1.177E+02	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area	1.178E+02	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area	1.207E+02	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area	1.246E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area	3.734E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area	2.016E+02	m ² /g
DR Method Micro Pore Area	3.956E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 9995.3 Å at P/P ₀ = 0.99511	1.584E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume	9.315E-02	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume	7.805E-02	cc/g
BJH Interpolated Cumulative Adsorption Pore Volume for pores in the range of 5000.0 to 0.0 Å Diameter	9.315E-02	cc/g
BJH Interpolated Cumulative Desorption Pore Volume for pores in the range of 5000.0 to 0.0 Å Diameter	7.805E-02	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume	9.278E-02	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume	7.935E-02	cc/g
t-Method Micro Pore Volume	1.036E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume	1.397E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume	1.081E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume	1.093E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter	2.851E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode)	1.373E+01	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode)	1.404E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode)	1.373E+01	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode)	1.404E+01	Å
DR Method Micro Pore Width	3.336E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode)	1.620E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode)	1.392E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode)	2.611E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : ON
Effective Molecule Diameter (D) 3.5400 Å
Effective Cell Stem Inner Diameter (d) 4.0000 mm
Last P₀ Acquired 758.05 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1
Thickness method : DeBoer

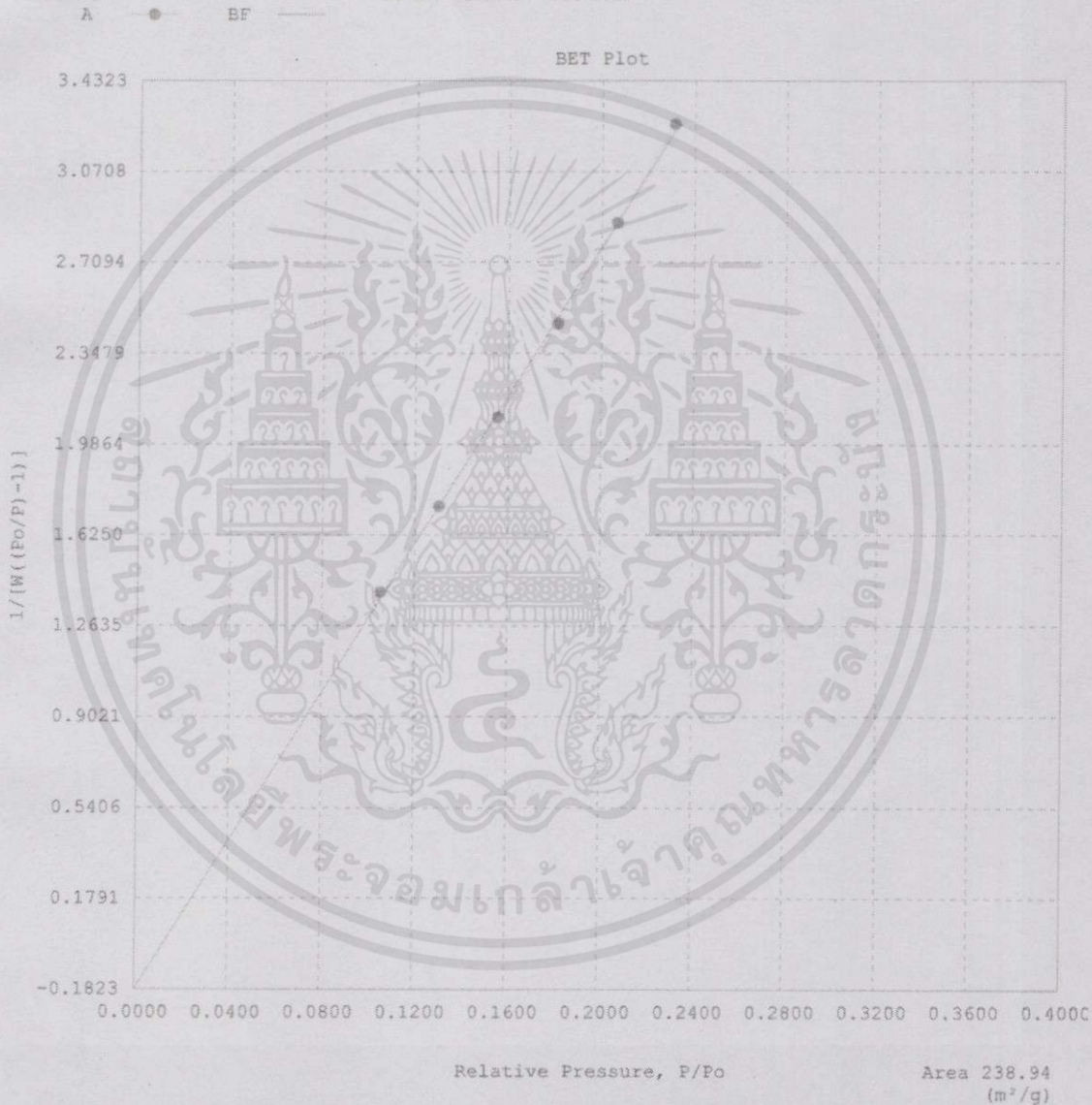
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-4 แสดงค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดของ C-RR-ZnCl₂700

11/27/2014

Quantachrome Instruments
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb 1 for Windows 1.50

File name:	D:\4A BET\11\571124_2.PAW	Description:	Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts
Sample ID:	RR-ZnCl2	Sample weight:	0.0563 g
Comments:		X sect. area:	16.2 Å ² /molec
Operator:	Best	Bath Temp.:	77.35
Analysis gas:	NITROGEN	Outgas Time:	7.3 hrs
Adsorbate (DRP):	Nitrogen	Equil. time:	3
Outgas Temp:	300.0 °C	PC sw. version:	Pre-1.20
P/Po tolerance:	2	Non-ideality:	6.58e-05
Station #:	1	Analysis Time:	386.3 min
		End of run:	11/24/2014 22:29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-5 ผลการวิเคราะห์ C-SR-KOH700 ด้วย BET

Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	SR-KOH				
Description	Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts				
Comments					
Sample Weight	0.0443 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	300.0 °C	Operator	mind
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	20.8 hrs	Analysis Time	591.0 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	2	End of Run	11/27/2014
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	3	File Name	571126_1.R
Station #	1	Bath Temp.	77.35		

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET	1.907E+02	m ² /g
BJH Method Cumulative Adsorption Surface Area	2.897E+02	m ² /g
BJH Method Cumulative Desorption Surface Area	7.330E+01	m ² /g
DH Method Cumulative Adsorption Surface Area	3.083E+02	m ² /g
DH Method Cumulative Desorption Surface Area	7.616E+01	m ² /g
t-Method External Surface Area	7.669E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area	1.140E+02	m ² /g
DR Method Micro Pore Area	4.416E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores with Diameter less than 31853.6 Å at P/Po = 0.99940	1.953E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Adsorption Pore Volume	2.387E-01	cc/g
BJH Method Cumulative Desorption Pore Volume	1.051E-01	cc/g
BJH Interpolated Cumulative Adsorption Pore Volume for pores in the range of 5000.0 to 0.0 Å Diameter	2.387E-01	cc/g
BJH Interpolated Cumulative Desorption Pore Volume for pores in the range of 5000.0 to 0.0 Å Diameter	8.225E-02	cc/g
DH Method Cumulative Adsorption Pore Volume	2.424E-01	cc/g
DH Method Cumulative Desorption Pore Volume	1.032E-01	cc/g
t-Method Micro Pore Volume	8.271E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume	1.570E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume	8.339E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume	8.472E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter	4.096E+01	Å
BJH Method Adsorption Pore Diameter (Mode)	2.775E+01	Å
BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode)	1.424E+01	Å
DH Method Adsorption Pore Diameter (Mode)	2.775E+01	Å
DH Method Desorption Pore Diameter (Mode)	1.424E+01	Å
DR Method Micro Pore Width	1.601E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode)	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode)	1.477E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode)	2.787E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

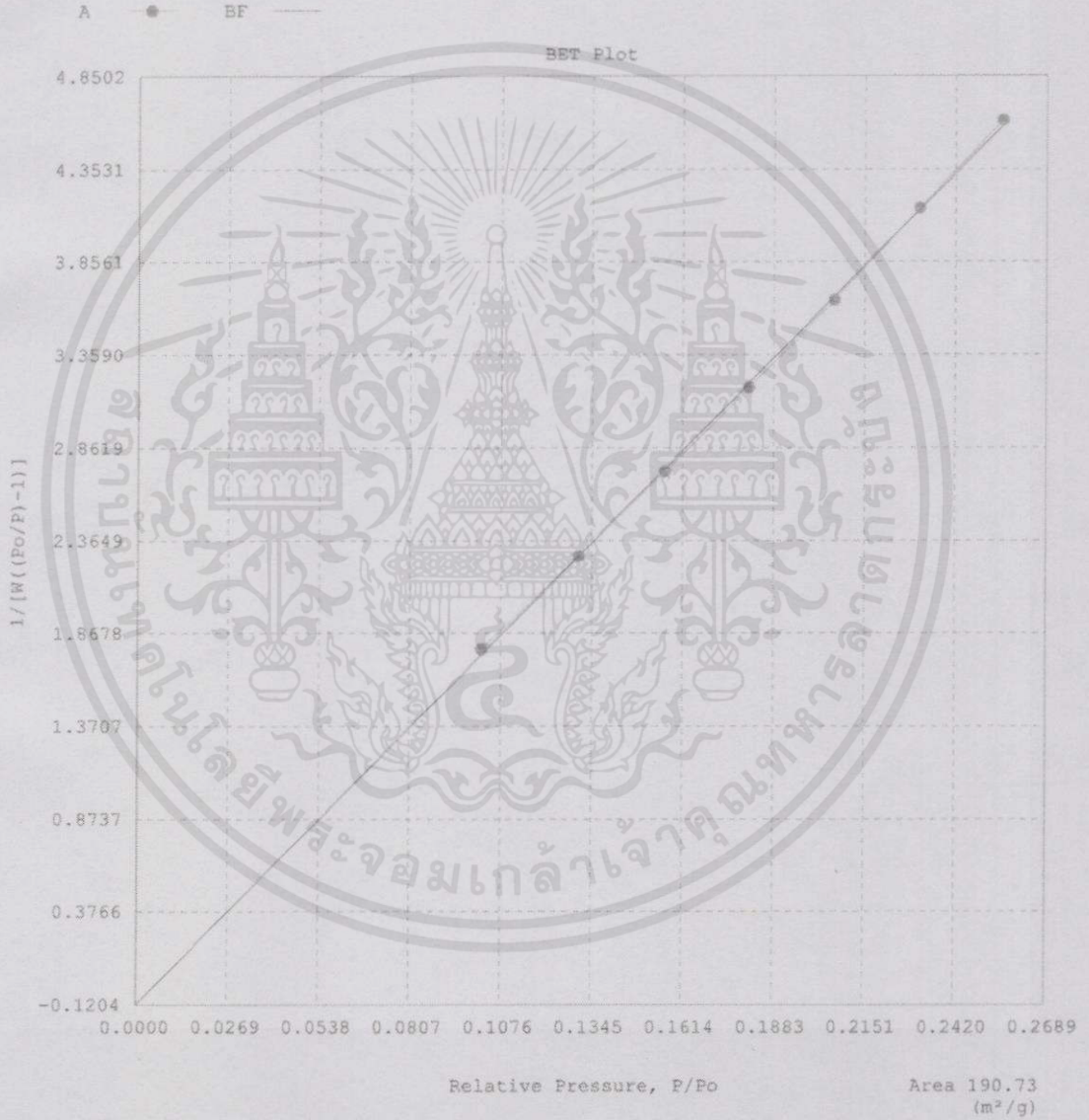
Thermal Transpiration : ON
 Effective Molecule Diameter (D) 3.5400 Å
 Effective Cell Stem Inner Diameter (d) 4.0000 mm
 Last Po Acquired 750.74 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-6 แสดงค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดของ C-SR-KOH700

Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	SR-KOH				
Description	Ads 22 Pts Des 22 Pts BET 11 pts				
Comments					
Sample Weight	0.0443 g	Outgas Temp	300.0 °C	Operator	mind
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	20.8 hrs	Analysis Time	591.0 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	2	End of Run	11/27/2014 01:5
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	571126_1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.35		
Station #	1				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้