

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากคาร์บอนและไม้ยูคาลิปตัส

Synthesis of Activated Carbon from Unburned Carbon and Eucalyptus Wood

โดย

ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน

ประจำปีงบประมาณ 2545

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากคาร์บอนและไม้ยูคาลิปตัส

คณะผู้วิจัย

1. นายเกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
2. รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
3. นางสาวกมลชนก ปานสง่า
4. นางสาวธนิษฐา ประสิทธิ์วุฒิศักดิ์
5. นายสมศักดิ์ นุรกรณ์

สังกัด

- สจล.
สจล.
สจล.
สจล.
สจล.



เลขหมู่
เลขทะเบียน 014 592
วัน, เดือน, ปี 67. 9. 53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากคาร์บอนซึ่งผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วอบแห้ง การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเผาไม้ยูคาลิปตัสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน การกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แล้วนำมาทดสอบการดูดซับ ไอโอดีนและเมทิลีนบลูจากการทดลองพบว่าสถานะที่เหมาะสมในการเผาไม้ยูคาลิปตัสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้ร้อยละผลผลิตถ่าน 25.49 และร้อยละคาร์บอนคงตัว 73.88 สำหรับการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก คือ อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 120 นาที ในส่วนการทดสอบการดูดซับ ไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า และกากคาร์บอน พบว่ามีค่าการดูดซับ ไอโอดีน 709, 715 และ 670 มิลลิกรัม ไอโอดีนที่ดูดซับได้ต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ ส่วนการดูดซับเมทิลีนบลู พบว่ามีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 196, 204 และ 112 มิลลิกรัมเมทิลีนบลูที่ดูดซับได้ต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซับ ไอโอดีนและเมทิลีนบลูใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า สำหรับกากคาร์บอนที่ไม่ได้มีการกระตุ้นใดๆเพิ่มเติม มีค่าการดูดซับน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าและคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักไม่มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

This research synthesized activated carbon from eucalyptus wood and studied the possibility in using unburned carbon washing with HCl and drying. Eucalyptus wood was carbonized in nitrogen atmosphere and activated by 40-wt% sodium hydroxide solution. The adsorption capacity was studied by adsorption of iodine and methylene blue solution. The best condition for carbonization in this work is at 500°C for 45 minutes with the heating rate of 10 °C/min obtaining 25.49% yield and 73.88% fixed carbon, and the best condition for activation is at 500 °C for 120 minutes. The iodine numbers of the activated carbon activated by 40-wt% sodium hydroxide solution, commercial activated carbon and unburned carbon are 709, 715 and 670 mg/g, respectively. In case of methylene blue, the adsorbed values are 196, 204, 112 mg/g, respectively. It is found that the activated carbon activated by 40-wt% sodium hydroxide solution and the commercial one gave almost the same adsorption results. In addition, the unburned carbon which was not activated showed not much different adsorption results.



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยด้วยเงินรายได้คณะ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยเงินอุดหนุนโครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน ของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนาคต ปีงบประมาณ 2546

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการเผาไม้ยูคาลิปตัส

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

บริษัท แอ็ควานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน) ที่ได้อนุเคราะห์ไม้ยูคาลิปตัสและกากคาร์บอน

บริษัท การ์โบกาญจน์ จำกัด ที่ได้สนับสนุนคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า

คุณไชยยันต์ ไชยยะ นักศึกษาปริญญาเอก The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi และ คุณธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	3
2.1 การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์	3
2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี	6
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์	12
3.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์เซชัน	12
3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	15
3.3 การศึกษาคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้	15
3.4 การดูดซับด้วยสารเคมี	17
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย	29
4.1 การเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน	29
4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
4.3 การทดสอบการดูดซับไอโอดีน	29
4.4 การทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลู	29

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ	30
ภาคผนวก ข. วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน	31
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของ ตัวดูดซับที่สมดุล	35
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอ โอดีน	38
ภาคผนวก จ. การหาค่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ตามวิธีวิเคราะห์ มาตรฐาน BET	41
ภาคผนวก ฉ. มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพคาร์บอนกัมมันต์	43
ภาคผนวก ช. คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า	44
	52



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่เวลา 60 นาที	12
3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	13
3.3 พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์	15
3.4 ค่าการดูดซับ ไอโอดีนของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า	18
3.5 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	20
3.6 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	21
3.7 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	22
3.8 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาตรของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อ น้ำหนักกากคาร์บอนที่สมดุล	23
3.9 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาตรของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อ น้ำหนัก คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สมดุล	24
3.10 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาตรของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อ น้ำหนัก คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่สมดุล	25
3.11 การเปรียบเทียบงานวิจัย	27
ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณองค์ประกอบแบบประมาณที่อุณหภูมิต่าง ๆ	33
ก.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณองค์ประกอบแบบประมาณที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่าง ๆ	33
ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายไอโอดีน	36
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายเมทิลีนบลู	36
ค.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน	38
ง.1 ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ฉ.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง	47
ฉ.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด	47
ฉ.3	แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ	49
ช.1	คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าของบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด	52



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่เวลา 60 นาที	13
3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	14
3.3 ไอโซเทอร์มก๊าซไนโตรเจนของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ (AC) ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 500 องศาเซลเซียสด้วยเวลา 120 นาที	16
3.4 รูปสัณฐานวิทยาของ a) กากคาร์บอน และ b) คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	17
3.5 ค่าการดูดซับ ไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น ณ อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ	18
3.6 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	20
3.7 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	21
3.8 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ	22
3.9 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากคาร์บอนที่อิมตัว	24
3.10 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อิมตัว	25
3.11 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อิมตัว	26
ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน	37
ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู	37
ค.1 การหาความเข้มข้นของ ไอโอดีนที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	39

ส่วนเนื้อหาของโครงการ

1. บทนำ

ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมักก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม หากไม่มีวิธีการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดของเสียในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การสกัด การทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่มีอันตรายน้อยกว่า การตกตะกอน การดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับ(Adsorbent) เป็นต้น การดูดซับเป็นวิธีที่นิยมเพราะมีความสะดวกรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ตัวดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เช่น โมเลกุลาร์ซีฟ ซีโอไลต์ ซิลิกาเจล (Silica gels) คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น ตัวดูดซับเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เพื่อการดูดซับที่ต่างกัน ในบรรดาตัวดูดซับ คาร์บอนกัมมันต์มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการดูดซับสีหรือกลิ่น ใช้ดูดซับสารจำพวกอะโรมาติก โลหะหนักหรือตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นต้น คาร์บอนกัมมันต์นั้นสามารถสังเคราะห์ได้จากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากของเสีย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กับการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียหรือวัสดุเหลือใช้

กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมักก่อให้เกิดปัญหาทางด้านของเสีย โรงงานผลิตกระดาษก็เป็นอีกโรงงานหนึ่งที่เกิดปัญหาเช่นนี้ ในกระบวนการผลิตกระดาษโรงงานจะใช้กระบวนการแยกเยื่อกระดาษจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus wood) ขึ้นไม้ยูคาลิปตัสจะผ่านกระบวนการแยกเยื่อโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อแยกเยื่อสำหรับผลิตกระดาษแล้ว ส่วนที่เหลือ จะเป็นส่วนของแข็งจำพวกเซลลูโลส ที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่ด้วย เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่า ผู้ผลิตได้นำสิ่งนี้ไปเผาเพื่อผลิตไอน้ำในโรงงาน ส่วนที่เหลือจากการเผา นี้คือ ถากคาร์บอน (Unburned carbon) ซึ่งมีส่วนผสมของโซเดียมเจือปนอยู่ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงจำเป็นต้องกำจัดด้วยการฝังกลบและต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก

สำหรับการเผาของแข็งจำพวกเซลลูโลสในขณะที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่นี้เปรียบได้กับการกระตุ้นด้วยสารเคมี ทำให้มีความเป็นไปได้ที่ถากคาร์บอนนี้จะมีความพรุนเกิดขึ้น จึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะนำถากคาร์บอนมาศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุดูดซับ อีกทั้งไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วและมีมูลค่าน้อย ถ้าหากมีการศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าแล้ว ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับไม้ยูคาลิปตัส และถ้าหากนำถากคาร์บอนนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ จะช่วยเพิ่มมูลค่าของของเสียและช่วยลดการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิตที่อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันผู้ประกอบการยังต้องนำเข้าตัวดูดซับ ทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินตราเป็นจำนวนไม่น้อย ถ้ามีการพัฒนาส่งเสริมการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ในประเทศจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักอย่างจริงจังคาดว่าจะช่วยลดการนำเข้าได้อีกทางหนึ่ง จากความสอดคล้องในด้านองค์ประกอบ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยใช้วัตถุดิบสองประเภท คือ กากคาร์บอนและไม้ยูคาลิปตัส

1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส
- 1.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์
- 1.1.3 ศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
- 1.1.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากคาร์บอนที่เป็นของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์
- 1.1.5 ศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ไม้ยูคาลิปตัสด้วยการเผาในเตาเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน
- 1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของกากคาร์บอน
- 1.2.4 หาค่าการดูดซับไอโอดีนของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้
- 1.2.5 ทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเมทิลีนบลูของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

1. การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์
2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางเคมี

2.1 การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์

เนื่องจากสารตั้งต้นมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ กากคาร์บอนและไม้ยูคาลิปตัส จึงจำเป็นต้องแยกวิธีการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ออกเป็น 2 วิธี นอกจากนี้ คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นทั้งสองเปรียบเทียบกับคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า เพื่อทราบถึงคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้ ดังนั้น การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ทั้งหมดจึงมีด้วยกัน 3 ส่วน ดังนี้

2.1.1 ไม้ยูคาลิปตัส

สำหรับไม้ยูคาลิปตัส การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จะแบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การคาร์บอนในเซชันเพื่อเตรียมถ่านชาร์ และการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะนำไม้ยูคาลิปตัส มาล้างน้ำให้สะอาด เพื่อกำจัดผงฝุ่นที่ติดมากับไม้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ความชื้นของไม้สมดุลกับความชื้นของอากาศที่อุณหภูมิห้อง

การคาร์บอนในเซชัน

สารเคมี

1. ไม้ยูคาลิปตัส
2. ก๊าซไนโตรเจน

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา
3. ตู้อบ
4. ภาชนะสำหรับเผา
5. ภาชนะเก็บสาร
6. เดสิกเคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของไม้ยูคาลิปตัส แล้วนำมาใส่ในภาชนะสำหรับเผา
 2. นำไปเผาในเตาเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน โดยใช้อัตราการป้อนก๊าซไนโตรเจน เข้าสู่เตาเผา 100 มิลลิลิตรต่อนาที ที่เวลาและอุณหภูมิที่กำหนด
- ตัวแปรที่ใช้ในการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน คือ
- อุณหภูมิ 300, 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส
 - เวลาในการเผาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที

ในเบื้องต้นจะเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่เวลา 60 นาที เพื่อหาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูง และร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดำเกินไป แล้วนำไปเผาที่เวลาต่าง ๆ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาต่อไป

3. นำถ่านชาร์ที่ได้ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
- การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

สารเคมี

1. ถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนในเซชัน
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา
3. เครื่องวัดค่า pH
4. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
4. ตู้อบ
5. เดสิกเคเตอร์
6. ภาชนะสำหรับเผา
7. ภาชนะบรรจุสาร
8. กระจกดวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
9. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
10. บีเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
11. กระจกกรองวัดแมน เบอร์ 42
12. แท่งแก้วคนสาร

วิธีการทดลอง

1. นำถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนในเซชัน มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในภาชนะสำหรับเผา เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้อัตราส่วนของถ่านชาร์ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1:2 จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในขั้นตอนการกระตุ้นที่น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 1:2 โดยจะให้ค่าพื้นที่ผิวแบบบีอีที และค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 1:2 ในการกระตุ้นไม้ยูคาลิปตัสในการทดลองนี้
2. ปิดฝาแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด
ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้น คือ
 - อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส
 - เวลา 60, 90 และ 120 นาที
3. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นแล้ว ไปล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เพื่อกำจัดสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ
4. ล้างคาร์บอนกัมมันต์ด้วยน้ำร้อนอีกหลาย ๆ ครั้ง จนเป็นกลาง
5. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบให้แห้ง ทั้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์

2.1.2 กากคาร์บอน

การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำกากคาร์บอนมาล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากวัตถุดิบมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่
2. ล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง (วัดค่าพีเอชได้เท่ากับ 7)
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์

2.1.3 คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า

การเตรียมวัตถุดิบ

- นำคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี

สำหรับการวิเคราะห์ จะใช้เครื่องมือวิเคราะห์และการดูดซับด้วยสารเคมี เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์มีดังนี้

- เครื่อง BET surface area analyzer
- เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

สำหรับการดูดซับด้วยสารเคมี คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้จะทดสอบคุณสมบัติการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู

2.2.1 การดูดซับไอโอดีน

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก
3. เกล็ดไอโอดีน
4. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
5. เกล็ดโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
6. เกล็ดโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
7. เกล็ดโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
8. แป้งมัน
9. คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
10. คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า
11. กากคาร์บอน

อุปกรณ์

1. กระจกตวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
2. กระจกนาฬิกา
3. บีกเกอร์ขนาด 50, 100 และ 250 มิลลิลิตร
4. ขวดล้างสารพร้อมฝาปิด
5. กรวยแก้ว
6. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 1 และ 2 ลิตร
7. บิวเรตขนาด 5, 10, 20 และ 25 มิลลิลิตร
8. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
9. แผ่นให้ความร้อน

10. เครื่องกรองสูญญากาศ
11. กระจกกรองวัดเมน เบอร์ 42
12. เคสิกเคเตอร์
13. แท่งแก้วคนสาร
14. ข้อนตักสาร
15. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
16. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
17. ตู้อบ
18. ปิเปต
19. หลอดหยด
20. ขวดสีชา

การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาตร 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวด
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มอล
ชั่งไอโอดีน 12.700 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.100 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์กวนให้ละลาย จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นลงไปครั้งละ 5 มิลลิลิตร พร้อมกับคนตลอดเวลาจนปริมาตรทั้งหมดเป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กกวนต่อไปอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายหมด จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร แล้วเทเก็บในขวดสีชา
- สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มอล
ชั่งโซเดียมไซโอซัลเฟต 24.820 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มเดือด ปริมาตร 80 มิลลิลิตร คนให้ละลาย จากนั้นจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไซโอซัลเฟตเนื่องจากบักเตอรี จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบค่ามาตรฐาน

- สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 0.100 ± 0.001 นอร์มอล

อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในเคสิคเคเตอร์ นำสารที่อบแห้งแล้ว 3.5667 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรผสมให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวดเก็บสารที่มีฝาปิด

- น้ำแข็ง

ผสมแข็ง 1.0 กรัมในน้ำกลั่นเย็น 10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร พร้อมกับกวนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดปริมาตร 1 ลิตร พร้อมกับกวนตลอดเวลา แล้วต้มสารละลายต่อไปอีก 5 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเทเก็บในขวดเก็บสารเข้าไว้ในตู้เย็น สารนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 3.00 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย ปีเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมลงในสารละลายข้างต้น ไทเทรตหาไอโอดีนที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็งลงไป 2 - 3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไรโอซัลเฟตจากสมการ

$$N_1 = \frac{(P_1 \times R)}{S} \quad (2.1)$$

เมื่อ N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (นอร์มอล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

P_1 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต ถ้าความเข้มข้นต่างจากความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล มากกว่า 0.003 ควรทำการทดลองใหม่

- ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน หยดน้ำแป้งลงไป 2 - 3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ

$$N_2 = \frac{(S \times N_1)}{I} \quad (2.2)$$

เมื่อ N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
 I คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)
 N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)
 S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายไอโอดีน ถ้าความเข้มข้นต่างจากความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล มากกว่า 0.003 นอร์มอล ควรทำการทดลองใหม่

วิธีการทดสอบการดูดซับไอโอดีน

1. บดคาร์บอนกัมมันต์ให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช) อย่างน้อยร้อยละ 95 ประมาณ 10 กรัม
2. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเด-ลิกเคเตอร์
3. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไป ปิดปากขวดด้วยจุกยาง และเขย่าเบา ๆ จนกระทั่งคาร์บอนกัมมันต์เปียกทั้งหมด
4. นำขวดรูปชมพู่ไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ในตู้ดูดควัน เปิดจุกยางออก คัมจนเดือดแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารมลทิน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
5. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 0.100 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปิดด้วยจุกยางอย่างรวดเร็ว และเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง
6. นำของเหลวที่ได้จากการกรองส่วนหนึ่งมาล้างบีกเกอร์ นำของเหลวส่วนที่เหลือ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน
7. คำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนัมเบอร์) ได้จากสมการ

$$\text{ค่าการดูดซับไอโอดีน} = [(H_1 - H_2)/M] \times [12693D_1] \quad (2.3)$$

เมื่อ H_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)

H_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)

M = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)

D_1 = ค่าการแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor) สามารถหาได้จาก
ภาคผนวก (ง)

2.2.2 การดูดซับเมทิลีนบลู

สารเคมี

1. เมทิลีนบลู
2. คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า
4. กากคาร์บอน

อุปกรณ์

1. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1601 Shimadzu
2. เครื่องกรองสูญญากาศ
3. เครื่องเขย่าสาร
4. เครื่องชั่งละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร
8. บีเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
9. กรวยกรอง
10. กระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 42

การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู

1. ชั่งเมทิลีนบลู 0.10, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 1.50 กรัม ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ (ความละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง) ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดวัดปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
2. สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้น 100, 500, 750, 1000, 1250 และ 1500 ppm ตามลำดับ

การทดลองเพื่อหาไอโซเทอมการดูดซับ

1. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่อบแห้งจำนวน 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด
2. เติมสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ในข้อ 1. นำไปเขย่าพร้อมจับเวลา
3. นำสารละลายจากขวดรูปชมพู่ที่ได้ทำการดูดซับที่เวลา 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 และ 210 นาที มากรองคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศทันที
4. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3. ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer โดยความยาวคลื่นที่ใช้คือ 610 นาโนเมตร
5. นำข้อมูลมาเขียนไอโซเทอมเพื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมต่อไป

การทดลองเพื่อหาปริมาณการดูดซับ

1. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่อบแห้งและกักขนาดให้ได้ 60–80 เมช จำนวน 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
2. ปิเปตสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 500, 750, 1000, 1250 และ 1500 ppm ใส่ในขวดรูปชมพู่ในข้อ 1. นำไปเขย่าพร้อมจับเวลา
3. เมื่อได้เวลาที่เหมาะสม (พิจารณาจากไอโซเทอมการดูดซับที่ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูคงที่) กรองสารละลายข้างต้นด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
4. นำสารละลายใสที่ได้จากข้อ 3. ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ อยู่ในสารละลายด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ตามค่าความยาวคลื่นข้างต้น เพื่อพิจารณาการดูดซับต่อไป
5. นำข้อมูลที่ได้อ่านกราฟเพื่อหาปริมาณในการดูดซับ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

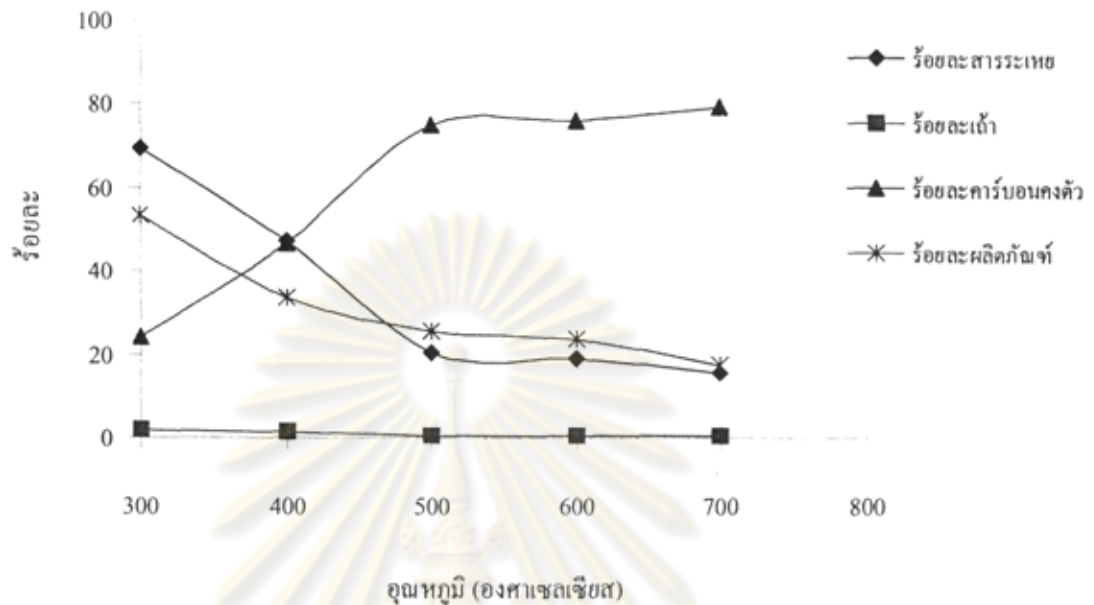
3.1 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน

ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน การเผาไม้ยูคาลิปตัสจะเกิดภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยจะทำการศึกษาตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์ ร้อยละสารระเหย และร้อยละคาร์บอนคงตัว

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเผาไม้ยูคาลิปตัส พบว่า ภายในช่วงอุณหภูมิ 300 – 700 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 จากตารางและรูปดังกล่าวพบว่าร้อยละผลิตภัณฑ์และร้อยละสารระเหยลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เนื้อไม้เกิดการเผาไหม้กลายเป็นเถ้า น้ำมันทาร์และสารระเหยที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านชาร์จะหลุดออกมาจากโครงสร้าง ทำให้ปริมาณสารระเหยที่เหลือ และปริมาณผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อร้อยละผลิตภัณฑ์ลดลงจะทำให้ร้อยละคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าปริมาณร้อยละคงตัวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วง 500 – 700 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงเลือกการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์เป็น 25.35 และร้อยละคาร์บอนคงตัวเป็น 74.78 เพื่อนำไปทดลองหาค่าเวลาในการเผาที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่เวลา 60 นาที
หมายเหตุ ร้อยละความชื้นของไม้ยูคาลิปตัส 4.71

อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละสารระเหย (% Volatile Matters)	ร้อยละเถ้า (% Ash)	ร้อยละ ผลิตภัณฑ์ (% Yield)	ร้อยละคาร์บอนคง ตัว (% Fixed Carbon)
300	69.17	1.98	53.13	24.14
400	46.94	1.64	33.44	46.71
500	20.18	0.33	25.35	74.78
600	18.94	0.36	23.35	75.99
700	15.62	0.29	17.47	79.38

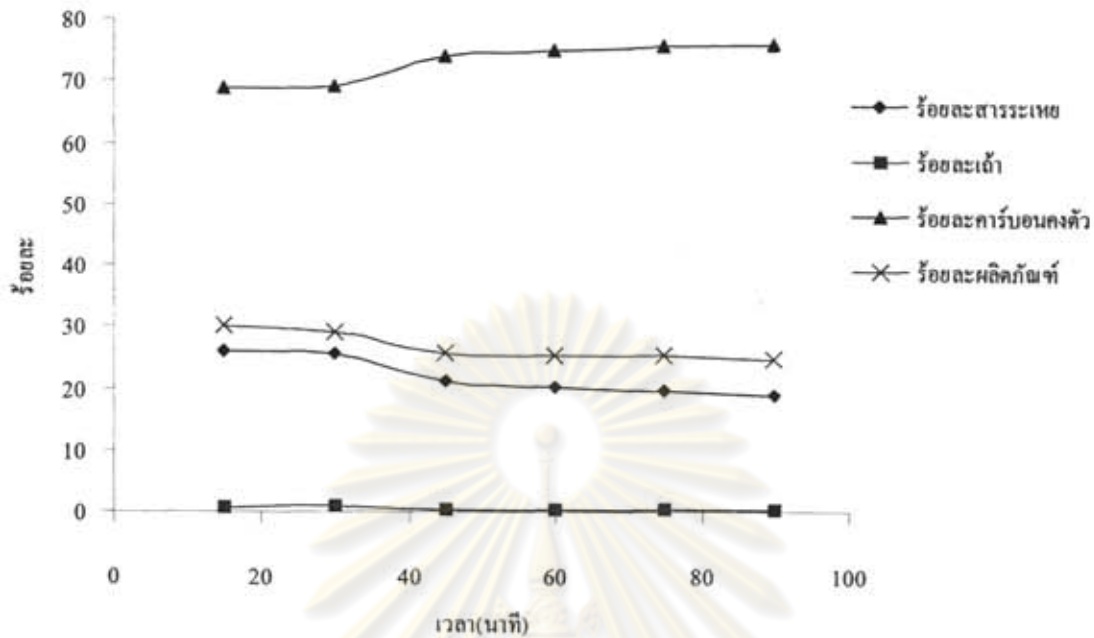


รูปที่ 3.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่เวลา 60 นาที

ตารางที่ 3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

เวลา (min.)	ร้อยละสารระเหย (% Volatile Matters)	ร้อยละเถ้า (% Ash)	ร้อยละผลิตภัณฑ์ (% Yield)	ร้อยละคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon)
15	25.93	0.65	30.14	68.71
30	25.48	0.83	29.23	68.98
45	21.06	0.35	25.49	73.88
60	20.18	0.33	25.35	74.78
75	19.56	0.22	25.20	75.51
90	19.04	0.28	24.78	75.97

หมายเหตุ ร้อยละความชื้นของไม้ยูคาลิปตัส 4.71



รูป

ที่ 3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

จากตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 15 และ 30 นาที ร้อยละสารระเหย ร้อยละผลิตภัณฑ์และร้อยละคาร์บอนคงตัว ยังมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่สูง ทั้งนี้ เมื่อเวลามากขึ้นทำให้วัตถุดิบได้รับความร้อนนานขึ้นจึงทำให้สารระเหยในเนื้อถ่านหลุดออกไป ร้อยละสารระเหยที่เวลาต่าง ๆ จึงลดลงแต่ลดลงไม่มากนัก เมื่อพิจารณาที่เวลา 45, 60, 75 และ 90 นาที พบว่าปริมาณดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกัน

เนื่องจากการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชันของถ่านชาร์นั้น จะพิจารณาถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ควบคู่ไปกับปริมาณคาร์บอนคงตัว ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชันของถ่านชาร์ คือ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสและใช้เวลา 45 นาที คุณสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาในสภาวะนี้ คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์เท่ากับ 25.49 ร้อยละสารระเหยเท่ากับ 21.06 ร้อยละเถ้าเท่ากับ 0.35 และร้อยละคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 73.88

3.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกระตุ้นถ่านชาร์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและไมโครพอร์ของถ่านชาร์ ในการกระตุ้นนี้จะใช้ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชัน มากระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้อัตราส่วนของถ่านชาร์ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1:2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ คือ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส และ 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มาล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และน้ำร้อนอีกหลายครั้ง ให้เป็นกลาง นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งให้เขียนในเดสิกเคเตอร์ก่อนที่จะศึกษาคุณลักษณะต่อไป

3.3 การศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้

ผลการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์แสดงในตารางที่ 3.3 จากตารางจะเห็นได้ว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีพื้นที่ผิวแลงเมียร์ (Langmuir surface area) มีค่าใกล้เคียงกันกับพื้นที่ผิวแบบไมโครพอร์ (Micropore area) นอกจากนี้ ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุน (Total pore volume) มีค่าเท่ากับปริมาตรแบบไมโครพอร์ รูปที่ 3.3 แสดงถึงไอโซเทอร์มของถ่านคาร์บอนและ

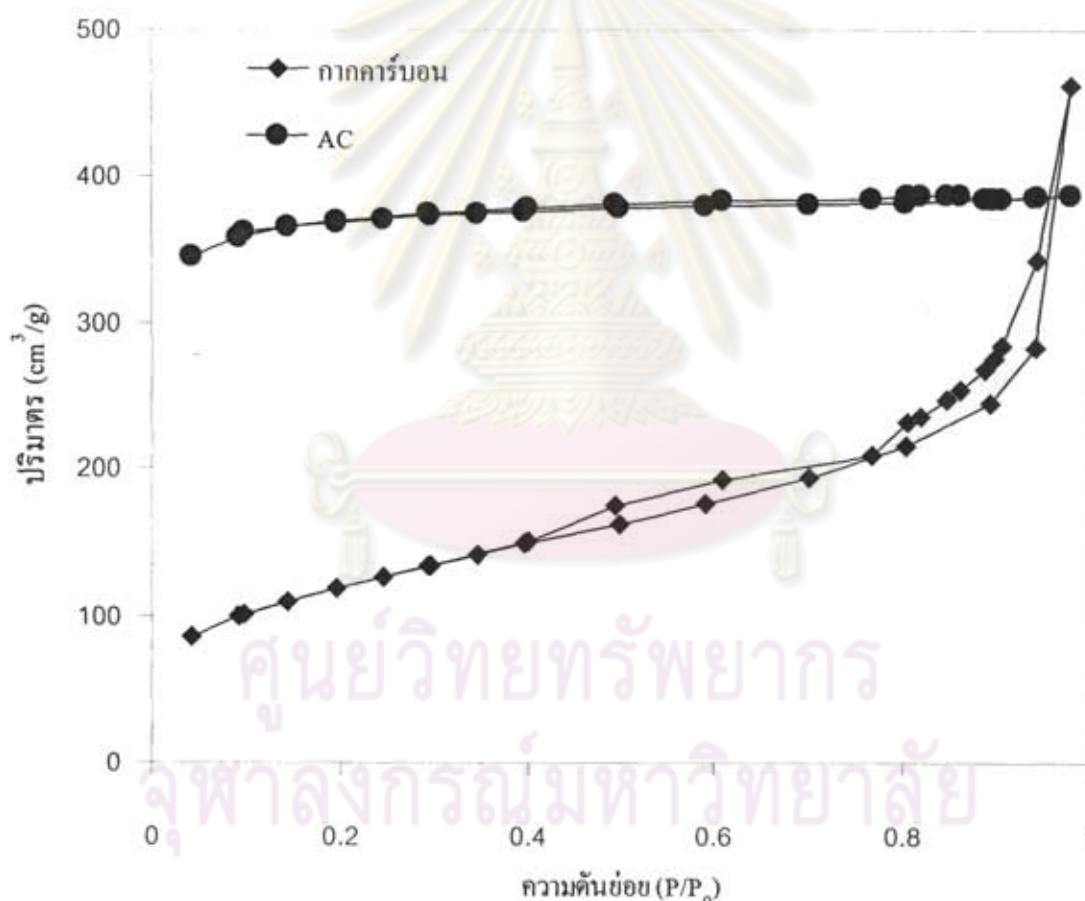
ตารางที่ 3.3 พื้นที่ผิวและปริมาณของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

คาร์บอนกัมมันต์	Langmuir surface area (m ² /g)	Micropore area (m ² /g)(DR method)	Total pore volume (cc/g)(BJH method)	Micropore volume (cc/g)(DR method)
UC	1,686	1,085	0.53	0.53
AC (500 °C, 60 นาที)	1,576	1,556	0.55	0.55
AC (500 °C, 90 นาที)	1,778	1,749	0.62	0.62
AC (500 °C, 120 นาที)	1,692	1,676	0.60	0.60
AC (600 °C, 60 นาที)	753	742	0.26	0.26
AC (600 °C, 90 นาที)	160	154	0.06	0.06
AC (600 °C, 120 นาที)	623	619	0.22	0.22
AC (700 °C, 60 นาที)	1,356	1,324	0.47	0.47
AC (700 °C, 90 นาที)	450	443	0.16	0.16
AC (700 °C, 120 นาที)	651	641	0.23	0.23

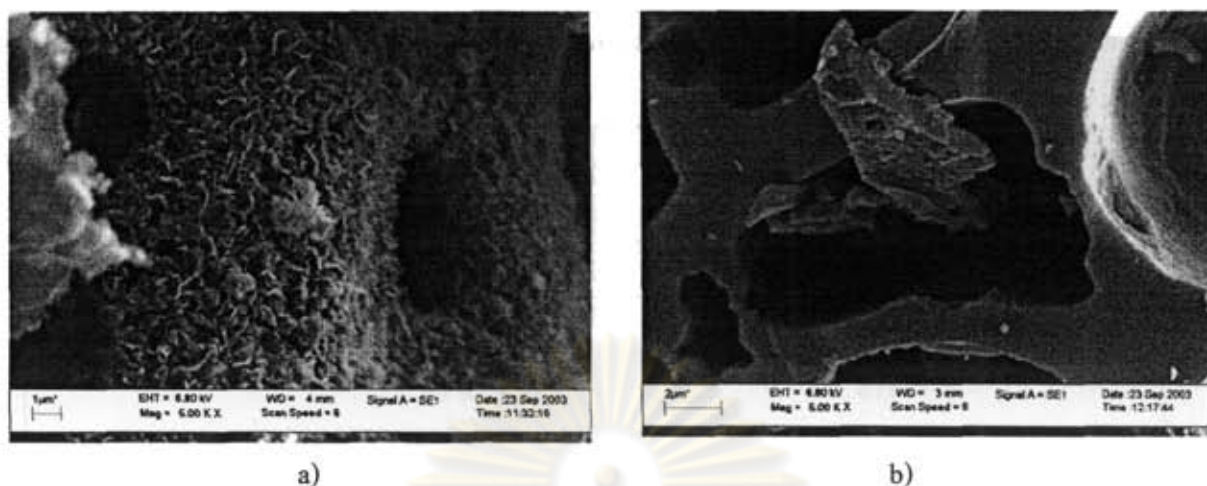
UC หมายถึง ถ่านคาร์บอน

AC(a,b) หมายถึง คาร์บอนกัมมันต์(องศาเซลเซียส,นาที)

คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสด้วยเวลา 120 นาที (ไอโซเทอร์มของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทุกสภาวะอื่นมีลักษณะเหมือนกัน จึงแสดงเพียงเส้นเดียว) เมื่อพิจารณาการดูดซับไนโตรเจนประกอบในรูปที่ 3.3 พบว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับเป็นเส้นเดียวกัน ดังนั้น คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเป็นไมโครพอร์รูพรุนขนาดเล็ก และมีลักษณะการดูดซับไนโตรเจนแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม ส่วนกาคาร์บอนมีพื้นที่ผิวแลงเมียร์มากกว่าพื้นที่ผิวแบบไมโครพอร์ และเมื่อพิจารณาการดูดซับก๊าซไนโตรเจนประกอบ จะพบว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ดังนั้น ลักษณะของรูพรุนของกาคาร์บอนมีทั้งไมโครพอร์และเมสโซพอร์



รูปที่ 3.3 ไอโซเทอร์มก๊าซไนโตรเจนของกาคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ (AC) ที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 500 องศาเซลเซียสด้วยเวลา 120 นาที



รูปที่ 3.4 รูปสัณฐานวิทยาของ a) กากคาร์บอน และ b) คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์

รูปที่ 4 แสดงถึงสัณฐานวิทยา (SEM) ของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ก่้างขยาย 5,000 เท่า จากรูป แสดงว่าทั้งกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีโครงสร้างของรูพรุน

3.4 การดูดซับด้วยสารเคมี

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ในการดูดซับ กากคาร์บอน คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจาก ไม้ยูคาลิปตัส และ คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้ามาทำการดูดซับจะได้รับการทดสอบการดูดซับ ไอโอดีนและเมทิลีนบลู

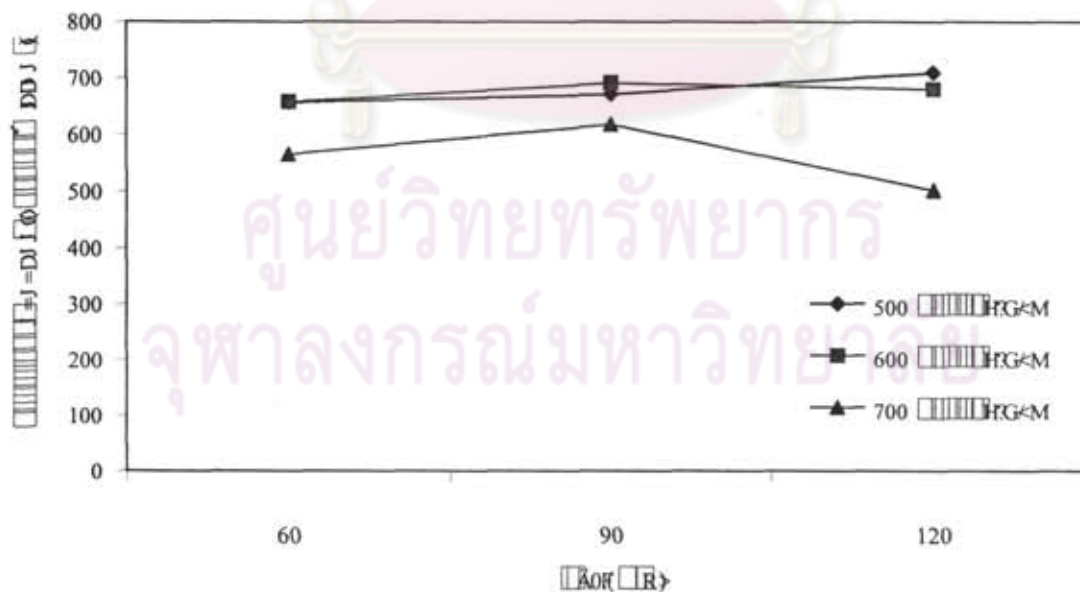
การดูดซับไอโอดีน

ผลของการดูดซับ ไอโอดีนแสดงในตารางที่ 3.4 สำหรับรูปที่ 3.5 แสดงถึงค่าการดูดซับ ไอโอดีนของ คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น ณ อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ (จาก ไม้ยูคาลิปตัส)

ค่าการดูดซับ ไอโอดีนนับเบออร์ของกากคาร์บอนมีค่า 670 ซึ่งมีค่าสูง เมื่อเทียบกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ กระตุ้น ณ อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ เพราะกากคาร์บอนได้รับการกระตุ้นมาจากกระบวนการผลิตในโรงงาน ดังนั้น กากคาร์บอนจึงมีความน่าสนใจที่จะใช้เป็นสารดูดซับหรือเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คาร์บอน กัมมันต์ต่อไป

ตารางที่ 3.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของกากคาร์บอนและคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นโซเดียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า

ชนิดของสารดูดซับ	ค่าการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนมเบอร์)
กากคาร์บอน	670
คาร์บอนกัมมันต์	
• 500 องศาเซลเซียส 60 นาที	656
90 นาที	671
120 นาที	709
• 600 องศาเซลเซียส 60 นาที	657
90 นาที	691
120 นาที	679
• 700 องศาเซลเซียส 60 นาที	565
90 นาที	618
120 นาที	501
คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า	670



รูปที่ 3.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น ณ อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

สำหรับคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิในการกระตุ้นมีความสำคัญอย่างมากในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สารระเหยมีโอกาสถูกไล่ออกไปได้มากขึ้น จากตารางที่ 3.4 เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้ดีขึ้นเกิดรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงเกินไป ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมด้วยกลไกของการแพร่ของสารกระตุ้น ซึ่งช่วงนี้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วมากทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ผิว (Surface reaction) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง และที่อุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างของถ่านชาร์อาจถูกทำลายทำให้พื้นที่ผิวลดลงได้

เมื่อเวลามากขึ้นทำให้ถ่านชาร์ได้รับความร้อนมากขึ้น จึงทำให้สารระเหยในเนื้อถ่านชาร์หลุดออกไปหรือเป็นการเพิ่มโอกาสให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและน้ำมันที่เคลือบอยู่บนคาร์บอนกัมมันต์ได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันและโมเลกุลของคาร์บอนบางโมเลกุลถูกกำจัดออกไป เกิดเป็นช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มเวลาในการกระตุ้นนานเกินไปอาจทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าต่ำลงได้ เนื่องจากการใช้เวลามากเกินไป จะทำให้รูพรุนขนาดเล็กที่เป็นพื้นที่ผิวส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่มากขึ้น จึงทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง เพราะการดูดซับไอโอดีนจะอยู่ในช่วงรูพรุนขนาดเล็ก ดังนั้น จากการทดลองกระบวนการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า สภาพที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับไอโอดีนได้ 709 มิลลิกรัมต่อกรัม

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการนำคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เป็น 950) ทดสอบการดูดซับไอโอดีน พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าและกากคาร์บอนมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 715 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า และกากคาร์บอนจะเห็นได้ว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า ในขณะที่กากคาร์บอนซึ่งยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้นเพิ่มเติม มีค่าการดูดซับน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าไม่มากนัก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีขึ้น

การดูดซับเมทิลีนบลู

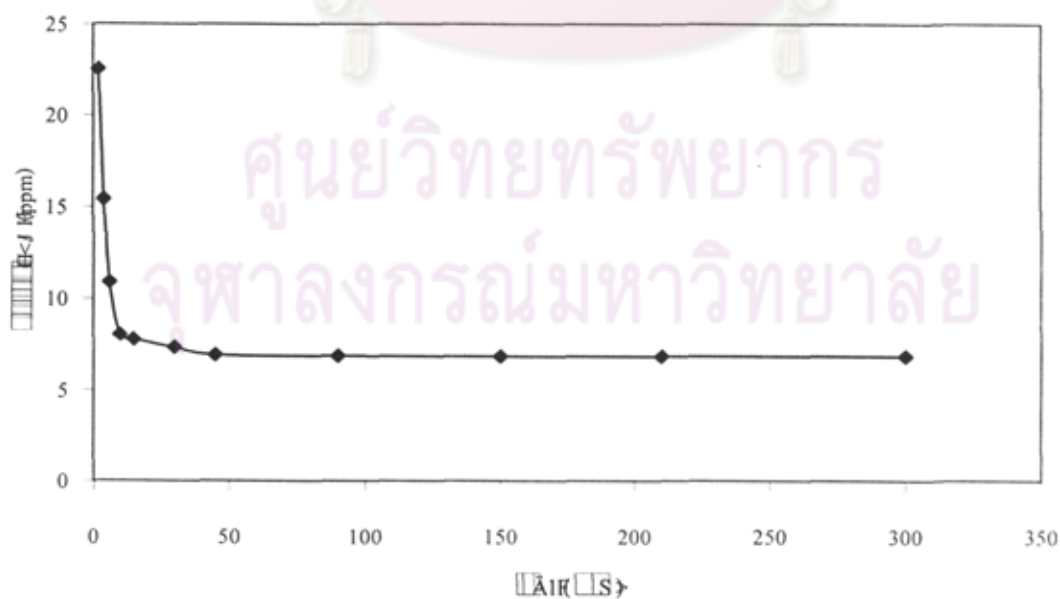
• การหาไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลู

เมื่อนำกากคาร์บอน คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า มาทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลูเพื่อหาไอโซเทอมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 ppm ณ เวลาต่าง ๆ ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง จะได้ผลการทดลองดังนี้

- การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอนดังตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)		ความเข้มข้น (ppm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2	0.911	0.914	22.49	22.57	22.53
4	0.623	0.625	15.38	15.43	15.40
6	0.440	0.422	10.86	10.91	10.88
10	0.325	0.325	8.02	8.02	8.02
15	0.314	0.316	7.75	7.80	7.78
30	0.298	0.297	7.36	7.33	7.34
45	0.281	0.279	6.94	6.89	6.92
90	0.278	0.279	6.86	6.89	6.88
150	0.278	0.277	6.86	6.84	6.85
210	0.277	0.278	6.84	6.86	6.85
300	0.278	0.276	6.86	6.81	6.84

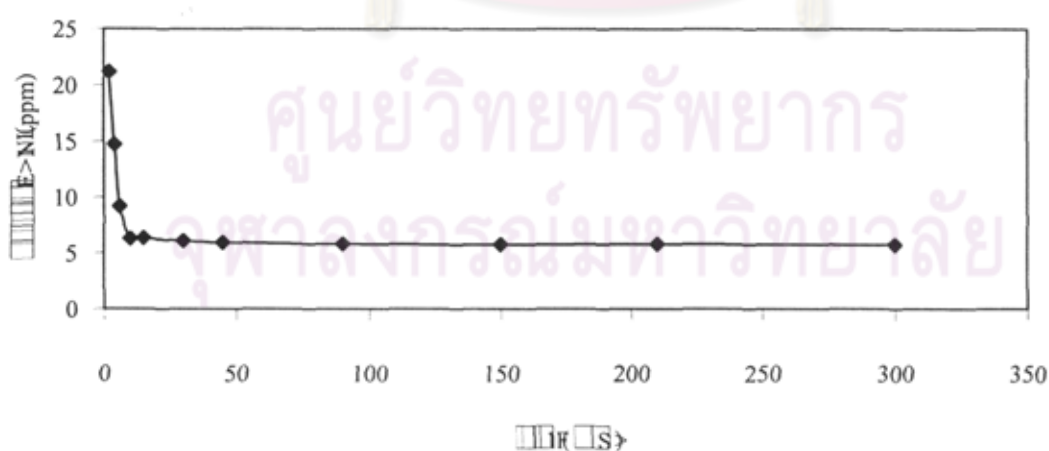


รูปที่ 3.6 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

- การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)		ความเข้มข้น (ppm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2	0.858	0.856	21.18	21.14	21.16
4	0.594	0.896	14.67	14.72	14.70
6	0.371	0.373	9.16	9.21	9.18
10	0.294	0.296	7.26	7.31	6.29
15	0.256	0.257	6.32	6.34	6.33
30	0.246	0.247	6.07	6.10	6.08
45	0.241	0.240	5.95	5.92	5.94
90	0.233	0.236	5.75	5.83	5.79
150	0.234	0.232	5.76	5.73	5.74
210	0.232	0.235	5.75	5.80	5.77
300	0.233	0.231	5.75	5.70	5.72

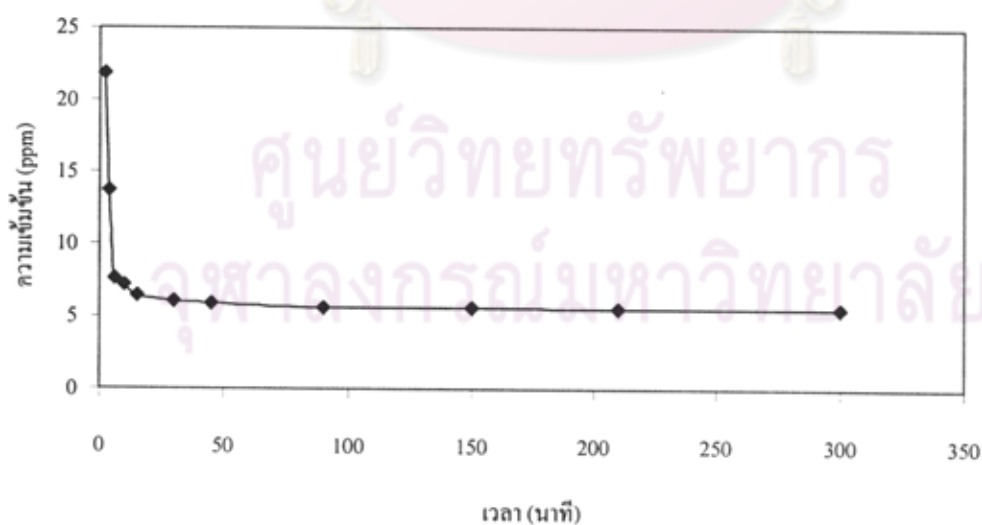


รูปที่ 3.7 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

- การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า แสดงดังตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)		ความเข้มข้น (ppm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2	0.885	0.883	21.85	21.80	21.82
4	0.551	0.554	13.60	13.68	13.64
6	0.306	0.309	7.56	7.63	7.60
10	0.289	0.286	7.14	7.06	7.10
15	0.259	0.258	6.40	6.37	6.38
30	0.244	0.246	6.02	6.07	6.04
45	0.238	0.240	5.88	5.92	5.90
90	0.227	0.226	5.60	5.58	5.59
150	0.226	0.224	5.58	5.53	5.56
210	0.225	0.224	5.56	5.53	5.54
300	0.225	0.223	5.56	5.51	5.54



รูปที่ 3.8 ไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ

จากตารางและรูปที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูครั้งที่เวลา 300 นาที ดังนั้น จึงใช้เวลาที่ 300 นาทีไปทดสอบหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลูต่อไป

- การหาปริมาณการดูดซับเมทิลีนบลู

นำกากคาร์บอนคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า มาทำการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 500, 750, 1000, 1250 และ 1500 ppm เป็นเวลา 300 นาที แล้วนำผลที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อกำหนดค่าการดูดซับเมทิลีนบลูต่อไป

- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยกากคาร์บอน แสดงผลดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากคาร์บอนที่สมดุล

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm) C_0	น้ำหนัก กากคาร์บอน (กรัม)	ความเข้มข้นเมทิลีนบลู ที่สมดุล (ppm) C_x	ปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม) q
500	0.5002	14.988	96
750	0.5001	248.395	100
1000	0.5003	493.333	101
1250	0.5001	694.321	111
1500	0.5004	942.222	112

นำค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากคาร์บอนที่สมดุล มาสร้างกราฟตามแบบจำลองของแลงเมียร์ระหว่าง C_x / q กับ C_x ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 เพื่อกำหนดหาค่าปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากคาร์บอนที่อิ่มตัว (q_m) จากรูปที่ 3.9 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0089 + 0.196$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า q_m และได้ค่า $q_m = 112$ มิลลิกรัมต่อกรัมของกากคาร์บอน

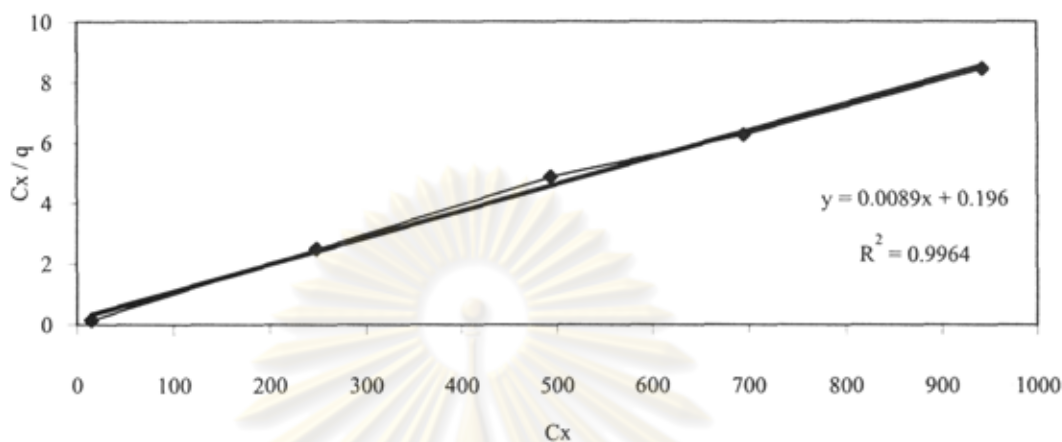
$$\frac{C}{q} = \frac{1}{K_A q_m} + \frac{C}{q_m} \quad (3.1)$$

โดย q คือ สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)

q_m คือ สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว (mg/g)

C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

$$K_A = k_x/k_d = \text{ค่าคงที่สมดุล}$$



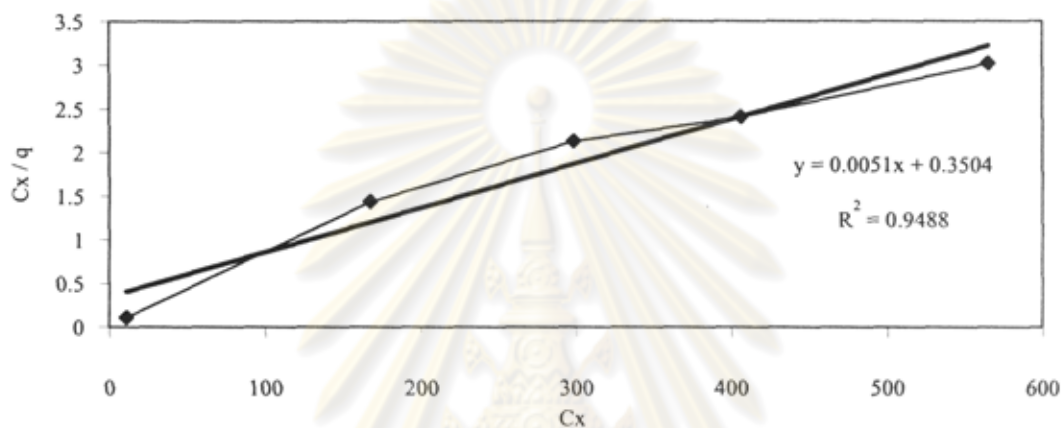
รูปที่ 3.9 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของถ่านคาร์บอนที่อิ่มตัว

- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงผลดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สมดุล

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm) C ₀	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่สมดุล (ppm) C _x	ปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม) q
500	0.5002	10.958	97
750	0.5001	167.407	116
1000	0.5000	298.765	140
1250	0.5001	406.420	168
1500	0.5004	564.938	186

นำค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สมดุล มาสร้างกราฟระหว่าง C_x/q กับ C_x ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10 ตามสมการที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับ ต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อิ่มตัว (q_m) จากรูปที่ 3.10 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟคือ $y = 0.0051x + 0.3504$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า q_m และได้ค่า $q_m = 196$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



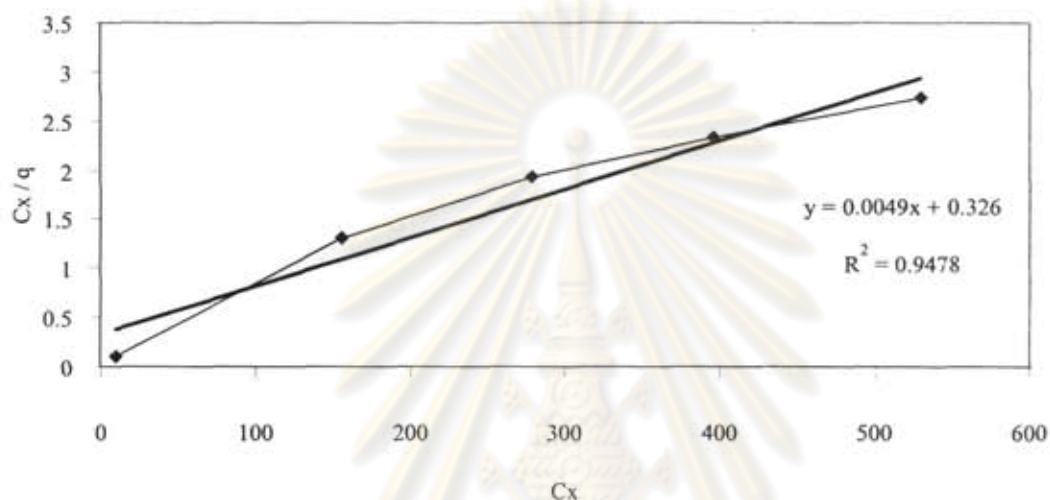
รูปที่ 3.10 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อิ่มตัว

- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า แสดงผลดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่สมดุล

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm) C_0	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่สมดุล (ppm) C_x	ปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม) q
500	0.5001	10.000	97
750	0.5001	156.049	118
1000	0.5003	278.765	144
1250	0.5004	397.037	170
1500	0.5002	529.876	193

นำค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล และปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่สมดุล มาสร้างกราฟระหว่าง C_x / q กับ C_x ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อิ่มตัว (q_m) จากรูปที่ 3.11 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0049x + 0.326$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า q_m และได้ค่า $q_m = 204$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า



รูปที่ 3.11 การคำนวณค่าปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าที่อิ่มตัว

จากการทดลอง ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูที่อิ่มตัวของกากคาร์บอน คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า ได้เท่ากับ 112, 196 และ 204 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า แสดงว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้ามีปริมาณของรูพรุนขนาดกลาง มากกว่ากากคาร์บอนเพราะการดูดซับเมทิลีนบลูอยู่ในช่วงรูพรุนขนาดกลาง

ตารางที่ 3.11 การเปรียบเทียบงานวิจัย

ข้อมูลเปรียบเทียบ	Renan Arriagada (2539)	วิจิตร จินดาพันธ์ ไพโรจน์ (2543)	ยุวดี เศษทวีทย์ และคณะ (2541)	กากคาร์บอน	คาร์บอนกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	คาร์บอนกัม- มันต์ทาง การค้า
1. วัตถุประสงค์	ไม้อูคาลิปตัส โกลบูลัส (E.globulus)	ไม้อูคาลิปตัสคา มาลดูเลนซิส (E.Camaldulensis)	กะลามะพร้าว	กากคาร์บอน จากโรงงาน ผลิตกระดาษ	ไม้อูคาลิปตัส	กะลามะพร้าว
2. เตาเผา	เบคนิง	เบคนิง	เบคนิง	-	เบคนิง	-
3. สภาวะในการคาร์บอนไนซ์	เบคนิง	450 °ซ , 45 นาที	-	-	500 °ซ , 45 นาที	-
4. สภาวะในการกระตุ้น	-	900 °ซ , 150 นาที	800 °ซ , 60 นาที	-	500 °ซ , 120 นาที	-
5. สารกระตุ้น	870 °ซ , 270 นาที ไอน้ำ	ไอน้ำ	ซิงค์กลอไรด์ เข้มข้น ร้อยละ 60	-	โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40	-
6. ร้อยละผลิตภัณฑ์		33.14	44.2	-	25.49	-
7. ค่าการดูดซับไอโอดีน (มก./ก.)	21	1233	922	670.22	709.39	715.30
8. ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มก./ก.)	968	242	-	112.35	196.07	204.08
9. พื้นที่ผิวแบบบีอีที (ม. ² /ก.)	311 1193	1076.15	-	-	-	-

จากตารางที่ 3.11 พบว่า ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูของกากคาร์บอนจะมีค่าน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดอื่น ๆ แต่เมื่อคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการคาร์บอนในเซชันและการกระตุ้นแล้ว นับว่าคุ้มค่าที่จะใช้กากคาร์บอนมาดูดซับสารต่าง ๆ แทนการนำไปฝังกลบ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสีย และช่วยลดการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิตที่อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย นอกจากนั้นกากคาร์บอนยังมีขั้นตอนในการเตรียมที่ง่าย เพียงนำมาล้างน้ำจนเป็นกลางก็สามารถใช้ในการดูดซับสารได้ แต่กากคาร์บอนมีข้อจำกัดคือ มีความสามารถในการดูดซับสารได้ไม่มาก ดังนั้นหากจะนำกากคาร์บอนไปใช้จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมด้วย อย่างไรก็ตาม หากอุตสาหกรรมกระดาษมีความสนใจจะใช้กากคาร์บอนในการดูดซับสารในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงาน จะเป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 การเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน

สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองเผาไม้ยูคาลิปตัส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน คือที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 45 นาที ซึ่งจะได้ปริมาณร้อยละคาร์บอนคงตัว ประมาณ 73.88 และร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ประมาณ 25.49

4.2 การกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการกระตุ้น 120 นาที โดยพิจารณาจากค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งมีค่าประมาณ 709 มิลลิกรัมที่ดูดซับได้ต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์

4.3 การทดสอบการดูดซับไอโอดีน

คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกากคาร์บอน โดยมีค่าประมาณ 715 และ 670 มิลลิกรัมที่ดูดซับได้ต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ

4.4 การทดสอบการดูดซับเมทิลีนบลู

คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า มีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และกากคาร์บอน โดยมีค่าประมาณ 204 และ 112 มิลลิกรัมที่ดูดซับได้ต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ[34-35]

ก.1 การวิเคราะห์หาความชื้น

- นำไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (A) และจดบันทึก

- อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก (B)

- คำนวณ โดยใช้สูตร

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

เมื่อ A = น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสหลังอบไล่ความชื้น (กรัม)

ก.2 การวิเคราะห์สารระเหย

- นำถ่านชาร์จากการคาร์บอนไนซ์มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในครุชีเบลที่ทราบน้ำหนักพร้อมปิดฝา

- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (E)

- คำนวณ โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = [(C-E) / C] \times 100$$

เมื่อ C = น้ำหนักของถ่านชาร์จากการคาร์บอนไนซ์ (กรัม)

E = น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสหลังการเผาไล่สารระเหย (กรัม)

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

- นำถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่รู้น้ำหนักที่แน่นอน (F) มาล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร
- ล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง (วัดค่าพีเอชได้เท่ากับ 7)
- นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดสิกเตเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (G)
- คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละเถ้า} = [(F-G) / C] \times 100$$

เมื่อ F = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์และเถ้าจากการคาร์บอนไนซ์ (กรัม)

G = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์ที่ล้างเถ้าออกแล้ว (กรัม)

ก.4 การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนคงตัว

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละสารระเหย} + \text{ร้อยละเถ้า})$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณองค์ประกอบแบบประมาณที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัส (กรัม)		C	E	F	G
	ก่อนเผา	หลังเผา				
300	5.3340	2.8341	1.5080	0.4649	28.7718	28.7419
400	5.3768	1.7980	1.5685	0.8322	29.1391	29.1134
500	5.3302	1.3510	1.5071	1.2029	29.5098	29.5049
600	5.1496	1.2024	1.5981	1.2954	29.6023	29.5965
700	5.2369	0.9147	1.5912	1.3426	29.6495	29.6449

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณองค์ประกอบแบบประมาณที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส
ณ เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัส (กรัม)		C	E	F	G
	ก่อนเผา	หลังเผา				
15	5.2001	1.5673	1.5101	1.1118	29.4118	29.4020
30	5.1667	1.5464	1.5329	1.1423	29.4423	29.4296
45	5.7048	1.4541	1.5436	1.2185	29.5185	29.5131
60	5.3302	1.3510	1.5071	1.2029	29.5098	29.5049
75	5.6654	1.4277	1.5515	1.2480	29.5481	29.5447
90	5.8763	1.4561	1.5404	1.2471	29.5400	29.5357

หมายเหตุ C = น้ำหนักของถ่านชาร์จากการคาร์บอนไนซ์ (กรัม)

E = น้ำหนักของ ไม้ยูคาลิปตัสหลังการเผาไล่สารระเหย (กรัม)

F = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์และเถ้าจากการคาร์บอนไนซ์ (กรัม)

G = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์ที่ล้างเถ้าออกแล้ว (กรัม)

ก.5.1 การคำนวณหาค่าร้อยละความชื้น

$$\text{น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบ (A)} = 4.6752 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสหลังอบไล่ความชื้น (B)} = 4.4549 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละความชื้น} &= [(4.6752 - 4.4549)/4.6752] \times 100 \\ &= 4.71 \% \end{aligned}$$

ก.5.2 การคำนวณหาค่าร้อยละสารระเหย ที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

$$\text{น้ำหนักของถ่านชาร์จากการคาร์บอนไนซ์ (C)} = 1.5071 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของไม้ยูคาลิปตัสหลังการเผาไล่สารระเหย (E)} = 1.2029 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละสารระเหย} &= [(1.5071 - 1.2029)/1.5071] \times 100 \\ &= 20.18 \% \end{aligned}$$

ก.5.3 การคำนวณหาค่าร้อยละเถ้า ที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

$$\text{น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์และเถ้า (F)} = 29.5098 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาปิดรวมกับถ่านชาร์ที่เหลือ (G)} = 29.5049 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของถ่านชาร์จากการคาร์บอนไนซ์ (C)} = 1.5071 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละเถ้า} &= [(29.5098 - 29.5049)/1.5071] \times 100 \\ &= 0.33 \% \end{aligned}$$

ก.5.4 การคำนวณหาร้อยละคาร์บอนคงตัว ที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - (4.71 + 20.18 + 0.33)$$

$$= 74.78 \%$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน

ข.1 สารละลายไอโอดีน

1. นำสารละลายไอโอดีนที่ความเข้มข้นเจือจางมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV - Visible Spectrophotometer จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้มาหาค่าความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด (λ_{max})
2. ปิเปิดสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจำนวน 4 ขวด
3. ปรับปริมาตรของสารละลายแต่ละขวดให้ได้ 100 มิลลิลิตร
4. ปิเปิดสารละลายที่ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแต่ละขวด ตามที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อการหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย
5. นำสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ $\lambda = \lambda_{max}$ ด้วยเครื่อง UV - Visible Spectrophotometer
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย

ข.2 สารละลายเมทิลีนบลู

1. นำสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเจือจางมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV - Visible Spectrophotometer จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้มาหาค่าความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด (λ_{max})
2. เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 30 ppm
3. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ $\lambda = \lambda_{max}$
4. นำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของสารละลายก็จะได้กราฟเทียบมาตรฐาน

ข.3 กราฟเทียบมาตรฐาน

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงมากที่สุด (λ_{max})

- สารละลายไอโอดีน = 620 นาโนเมตร

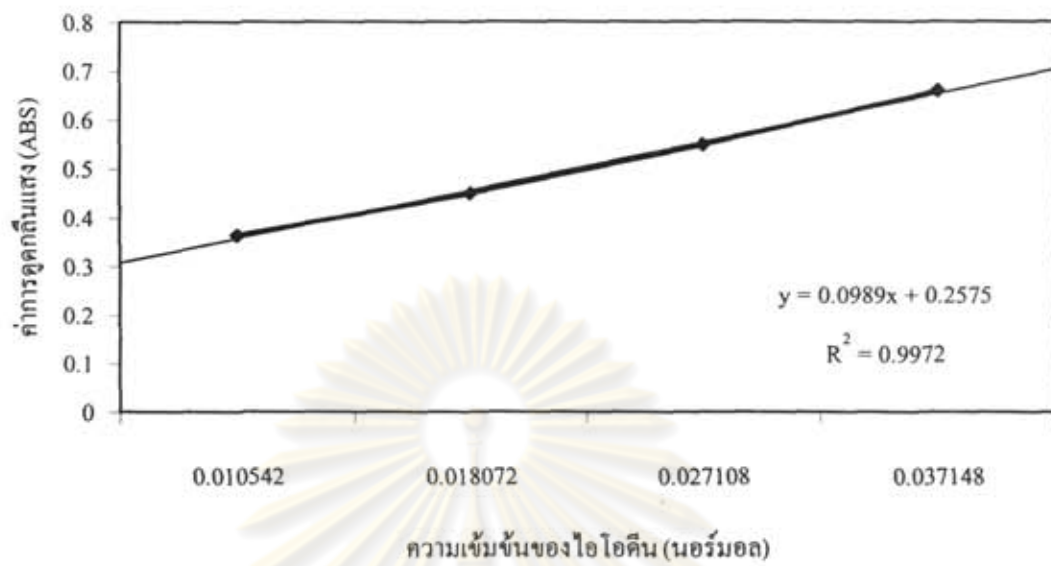
- สารละลายเมทิลีนบลู = 610 นาโนเมตร

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายไอโอดีน

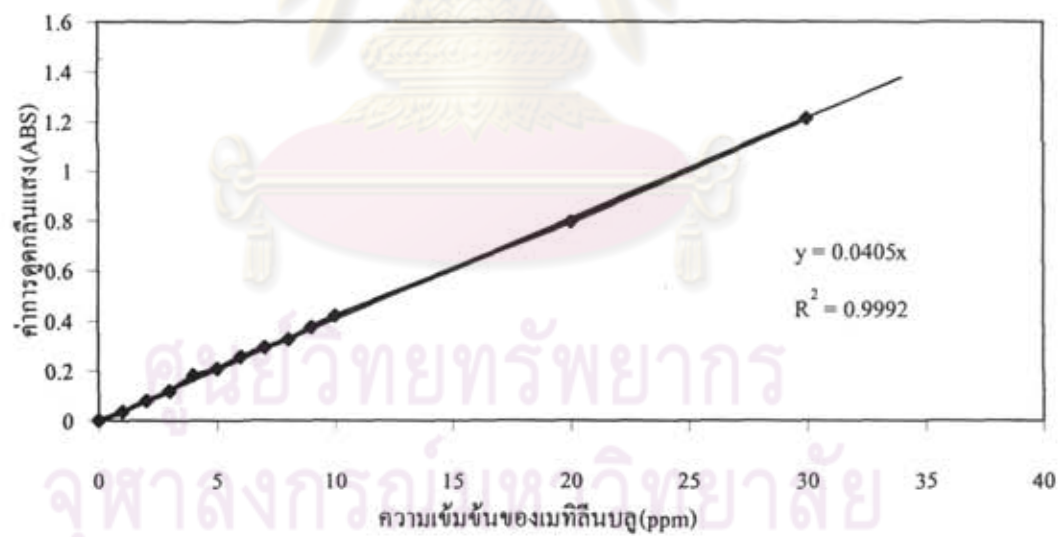
ความเข้มข้น (นอร์มอล)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)
0.010542	0.3625
0.018072	0.4485
0.027108	0.549
0.037148	0.6585

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายเมทิลีนบลู

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)
0	0.000
1	0.035
2	0.080
3	0.117
4	0.181
5	0.207
6	0.255
7	0.291
8	0.325
9	0.372
10	0.420
20	0.796
30	1.211



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิลีนบลู

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน

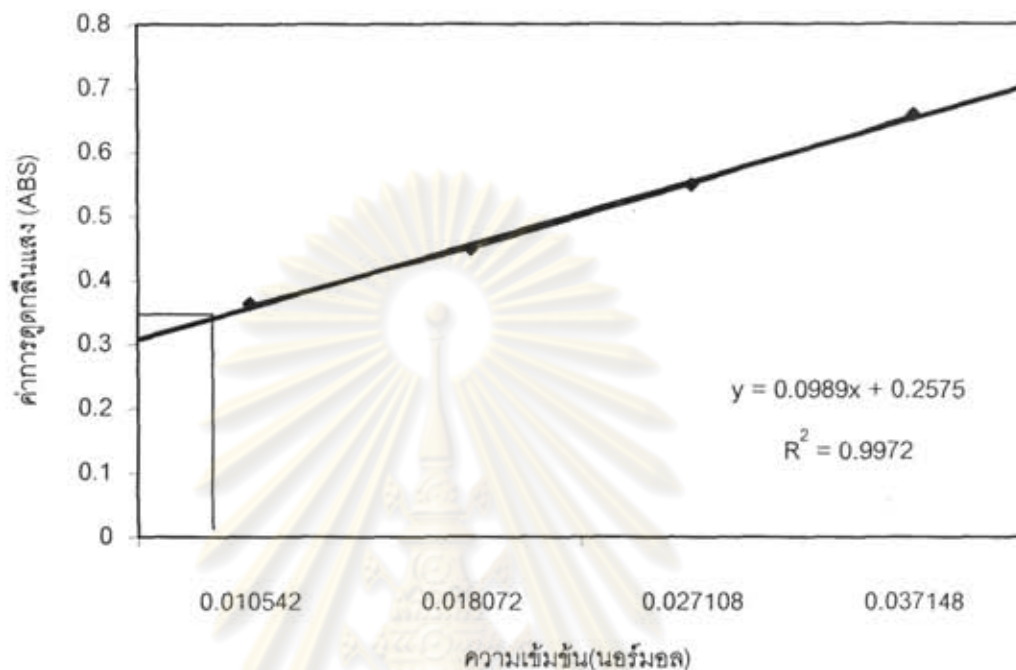
ตารางที่ ก.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีน

** ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน คือ 0.0992 นอร์มอล

สถานะในการ กระตุ้นคาร์บอน กัมมันต์	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง (ABS)			ค่าความ เข้มข้น ที่อ่านจาก กราฟ มาตรฐาน	ค่าการดูดซับ ไอโอดีนที่ คำนวณจาก สมการ (3.3)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
500 องศาเซลเซียส						
60 นาที	2.0010	0.347	0.345	0.346	0.0089	656
90 นาที	2.0007	0.336	0.340	0.338	0.0081	671
120 นาที	2.0010	0.288	0.288	0.288	0.0030	709
600 องศาเซลเซียส						
60 นาที	2.0011	0.452	0.448	0.450	0.0195	657
90 นาที	2.0003	0.536	0.534	0.535	0.0281	691
120 นาที	2.0012	0.527	0.529	0.528	0.0274	679
700 องศาเซลเซียส						
60 นาที	2.0009	0.469	0.467	0.468	0.0213	565
90 นาที	2.0011	0.504	0.506	0.505	0.0250	618
120 นาที	2.0008	0.499	0.497	0.498	0.0243	501

ตัวอย่างการคำนวณ

คาร์บอนกัมมันต์ที่สภาวะการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที



รูปที่ ก.1 การหาความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ ก.1 สภาวะการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที มีค่าการดูดกลืนแสง 0.346 เทียบเป็นความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานได้ 0.0089 นอร์มอล และนำค่านี้ไปเปิดตารางแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีนที่ภาคผนวก (ง) ได้เท่ากับ 1.1463 นำค่าต่าง ๆ มาแทนค่าในสมการ (3.3) ได้ดังนี้

$$\text{ค่าการดูดซับไอโอดีน} = [(H_1 - H_2)/M] \times [12693D_1] \quad (3.3)$$

เมื่อ H_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ (นอร์มอล)

H_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (นอร์มอล)

M = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)

D_1 = ค่าการแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor)

$$\begin{aligned} \text{ค่าการดูดซับไอโอดีน} &= [(0.0992 - 0.0089)/2.0010] \times [12693 \times 1.1463] \\ &= 656 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม} \end{aligned}$$

ก.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล

ก.2.1 วิธีหาค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล C_x

ตัวอย่างการคำนวณค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 500 ppm ด้วยกากคาร์บอน ที่เวลา 300 นาที ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.607

นำค่าการดูดกลืนแสงมาพิจารณาหาค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล ในกราฟมาตรฐาน หรือ แทนค่าในสมการ $y = 0.0405x$

จากการแทนค่าในสมการจะได้ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุล คือ 14.988 ppm นำค่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่สมดุลนี้มาหาปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับที่สมดุล

ก.2.2 วิธีหาปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับที่สมดุล

โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับ} &= \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่สมดุล} \\ 485.012 &= 500 - 14.988 \text{ ppm} \end{aligned}$$

ในการทดลองใช้ปริมาณเมทิลีนบลู 100 มิลลิกรัม ดูดซับด้วยกากคาร์บอนหนัก 0.5002 กรัม

จากสูตร

$$g = C \times V$$

เมื่อ g = น้ำหนักของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับด้วยกากคาร์บอน (มิลลิกรัม)

C = ปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับ (ppm)

V = ปริมาณเมทิลีนบลูที่ใช้ในการทดลอง (ลิตร)

แทนค่า

$$g = 485.012 \times 0.1$$

$$= 48.5012 \text{ มิลลิกรัม}$$

จาก

$$q = g / G$$

เมื่อ q = ปริมาณเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักกากคาร์บอนที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

G = น้ำหนักกากคาร์บอนที่ใช้ (กรัม)

$$q = 48.5012 / 0.5002$$

$$= 96 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงค่าแก้ไขสำหรับการดูดซับไอโอดีน [36]

ตารางที่ ง.1 ค่าแก้ไขสำหรับการดูดซับไอโอดีน

ค่าแก้ไขสำหรับการดูดซับไอโอดีน										
Residual filtrate Normality,C	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0963	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0630	1.0850	1.0838	1.0820
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9879	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538

ตารางที่ ง.1 ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน (ต่อ)

ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน										
Residual filtrate Normality,C	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9143	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9375	0.9375	0.9375
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9365	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

การหาค่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน BET [37]

จ.1 สารเคมีและอุปกรณ์

จ.1.1 สารเคมี

1. ก๊าซไนโตรเจน
2. ไนโตรเจนเหลว
3. คาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการทดสอบคุณสมบัติ

จ.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ Specific surface area ของของแข็ง โดยกระบวนการดูดซับไนโตรเจน Area meter II ของ Ströhlein instruments ประเทศเยอรมัน พร้อมอุปกรณ์ประกอบการวิเคราะห์ตามคำแนะนำในคู่มือการใช้เครื่องมือนี้

2. ตู้อบ

จ.2 วิธีการทดลอง

1. อบตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งตัวอย่าง 0.02-0.05 กรัม ใส่ลงใน Adsorption vessel

2. วาง Adsorption vessel ที่บรรจุตัวอย่างไว้ในถังใน Heating thermostat

3. อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผ่านก๊าซไนโตรเจนธรรมดาที่ค่าความดัน 760 mmHg เป็นเวลาประมาณ 45 นาที เพื่อขจัดโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวอย่างก่อนทำการวัด

4. ใช้ Adsorption vessel 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากันโดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า

5. ผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง

6. ทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน Cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิด Pressure difference ระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งวัดได้โดยใช้ Differential manometer

7. อ่านค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่อไป

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพคาร์บอนกัมมันต์

ก.1 มาตรฐานและวิธีการทดสอบที่ใช้ทั่วไป [38]

มาตรฐาน และวิธีการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ดังจะกล่าวต่อไปนี้ คือ

ก.1.1 มาตรฐานของ AWWA (American Water Works Association) ได้กำหนดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ผงที่ต้องทดสอบ คือ

- Impurities
- Moisture
- Ash
- Apparent Density
- Particle Size Distribution (Fineness)
- Phenol Adsorptive Capacity
- Iodine Adsorptive Capacity
- Odor Adsorptive Capacity
- Tannin Adsorptive Capacity
- Retention of Adsorptive Capacity

สำหรับคาร์บอนกัมมันต์เม็ด AWWA กำหนดคุณสมบัติที่ต้องทดสอบ คือ

- Moisture
- Apparent Density
- Particle Size Distribution
- Abrasion Resistance
- Iodine Number

ก.1.2 มาตรฐานการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ตามวิธีของ ASTM กำหนดคุณสมบัติที่ต้องทดสอบของคาร์บอนกัมมันต์ (ASTM, PART 30, 1982) ไว้ดังนี้

- Radioiodine Testing of Nuclear-Grade Gas Phase Adsorbents
- Liquid Phase Evaluation
- Apparent Density
- Carbontetrachloride Activity

- Moisture
- Particle Size
- Total Ash Content

ฉ.1.3 มาตรฐานและการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ของประเทศญี่ปุ่น กำหนดการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ ดังนี้

คาร์บอนกัมมันต์ผง (JIS K 1470-1967)

- Caramel Decolourizing Power
- Methylene Blue Decolourizing Power
- Loss on Drying
- Chloride
- Iron
- Residue on Ignition
- pH

คาร์บอนกัมมันต์เม็ด (JIS K 1474-1975)

- Iodine Adsorption Performance
- Chloropicrin Break-Through Adsorption Performance
- Equilibrium Adsorption Performance for 1/n Solvent Vapour
- Grain Size
- Grain Size Distribution (Effective Size and Uniformity Coefficient)
- Hardness
- Ignition Point
- Filling Bulk Density
- Loss on Drying
- Ignition Residue
- pH

ฉ.1.4 มาตรฐานและการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ฟอกสีน้ำมันพืชและน้ำตาลของประเทศอินเดีย กำหนดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องทดสอบ (IS : 877-1956)

- Moisture
- Ash
- Bulk Density

- Matter Soluble in Hydrochloric Acid
- pH of Aqueous Extract
- Titrable Acidity or Alkalinity
- Filtrability and Oil Retention (for Vegetable Oils)
- Decolourizing Power

ฉ.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนกัมมันต์ [39]

ฉ.2.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด ขนาด คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์

ฉ.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2. ค่าไอโอดีน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ดูดซับไว้ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับ และผ่านการกรองแล้วเป็น 0.02 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ฉ.2.3 ชนิด

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. คาร์บอนกัมมันต์ผง (Powdered Activated Carbon)
2. คาร์บอนกัมมันต์เม็ด (Granular Activated Carbon)

ฉ.2.4 ขนาด

1. คาร์บอนกัมมันต์ผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2. คาร์บอนกัมมันต์เม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ฉ.2.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

- คาร์บอนกัมมันต์ผง ต้องเป็นผงละเอียดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ
- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

- คาร์บอนกัมมันต์ผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ฉ.1

ตารางที่ ฉ.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	AWWA B600

- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ฉ.2

ตารางที่ ฉ.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	AWWA B604
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.36	AWWA B604
4	ความแข็ง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	AWWA B604 RO-Tap Abrasion Test

ฉ.2.6 การบรรจุ

1. ให้บรรจุคาร์บอนกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง และปิดได้สนิท
2. น้ำหนักสุทธิของคาร์บอนกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้

ที่ฉลาก

ฉ.2.7 เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่ภาชนะบรรจุคาร์บอนกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือ เครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- ชนิด
- น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
- เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
- ชื่อผู้ผลิต หรือ โรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2. ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมาย มาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้น ได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ฉ.2.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

1. รุ่นในที่นี้ หมายถึง คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุใน ภาชนะชนิด และขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากับทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

- ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดใน ตารางที่ ฉ.3
- ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้างต้น จึงจะถือว่าคาร์บอนกัมมันต์รุ่นนั้น เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ ต้องการ

- ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการบรรจุแล้ว มาภาชนะบรรจุละ เท่าๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1,500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่ง ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาดแห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้ง

บันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วน ที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ตารางที่ ๓.3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26-50	4
51-100	5
101-300	6
301-500	7
501-800	8
801-1,000	9
ตั้งแต่ 1,001 ขึ้นไป	10

3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ จึงจะถือว่าคาร์บอนกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

๓.2.9 การทดสอบ

1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

2. น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3. การทดสอบขนาด

3.1 คาร์บอนกัมมันต์ผง

เครื่องมือ

- ตะแกรง 150 ไมโครเมตร

- ภูเขาครุซีเบล

วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบ น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำตะแกรงให้เปียกก่อนแล้วค่อยเทตัวอย่างช้าๆ ผ่านตะแกรง ในขณะที่เทให้คน ตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบน ตะแกรงแล้ว ใช้น้ำล้างตัวอย่าง อีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านตะแกรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบน ตะแกรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกุชครูซิเบล ซึ่งทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำ กุชครูซิเบล ไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็น ในเดสิกเคเตอร์แล้วรีบชั่งทันที

วิธีคำนวณ

$$\frac{\text{ปริมาณที่ผ่านตะแกรง}}{\text{ร้อยละ โดยน้ำหนัก}} = \frac{(1 - m_1) \times 100}{m_0} \quad (\text{จ.1})$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก (กรัม)

m_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 (กรัม)

3.2 การบดนมกับมันต์เม็ด

เครื่องมือ

- ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
- เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 ± 5 รอบต่อนาที

วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ใน ตะแกรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่า นาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบ น้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

4. น้ำหนักสุทธิ

- ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทคาร์บอนกัมมันต์ออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า [33]

ตารางที่ ช.1 คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าของบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด

TECHNICAL SPECIFICATION	
Product	: Powdered Activated Coconut Shell Based Carbon
Grade	: HRO M325-60
Test Method	: ASTM, Unless otherwise stated
Application	: Decolourization, Deodorization, Dechlorination and Organic compound removal
PHYSICAL PROPERTIES	SPECIFICATION
Particle Size Distribution : Under 325 mesh (ASTM MESH/MM)	MIN. 60%
Apparent Density (g/cc)	MIN. 0.50
Moisture (%w/w) (As Packed)	MAX. 8
Ash (%w/w) (As Packed)	MAX. 5
pH	9-11
Surface Area (m ² /g) (BET)	MIN. 1000
Iodine Number (mg/g) (AWWA B 604)	MIN. 950
Methylene Blue (cc/g) (JIS K 1474-1991)	MIN. 130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย