สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

น.ส. ยุวลี เดชทวิทย์
น.ส. สายใจ นารถสมบูรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33992
วัน, เดือน, ปี 27 ก.ย. 2542

ลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์นี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effects of the Solutions of Zinc Chloride, Sodium Chloride and their Mixture on the Production of Activated Carbon from Coconut Shell

Miss Yuwalee Detthawit

Miss Saijai Nardsomboon

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

โดย น.ส. ยุวลี เดชทวิทย์
น.ส. สายใจ นารถสมบูรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ[1]
1. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ
(อ. สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

โดย น.ส. ยุวลี เดชทวิทย์

น.ส. สายใจ นารถสมบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ[1]

1. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยการกระตุ้นในที่อับอากาศ และใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น ตัวแปรที่ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ ได้แก่ อุณหภูมิในการกระตุ้น เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น และชนิดของสารกระตุ้น ขนาดของกะลามะพร้าวที่ใช้ไม่เกิน 1x1 ตร.ซม. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเตาเผา Carbolite ภาชนะที่ใช้ในการเผาทำจากสแตนเลส ทำการเผาวัตถุดิบครั้งละประมาณ 100 กรัม โดยผสมกับสารกระตุ้นในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก คือ 800°ซ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:2 ระยะเวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 60 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 922 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 44.2 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว คือ 800°ซ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเท่ากับ 1:3 ระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกระตุ้นเท่ากับ 90 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 705 มิลลิกรัมไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ และร้อยละผลผลิตที่ได้เท่ากับ 44.2 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายผสมโดยน้ำหนักระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเท่ากับ 1:1 คือ 600°ซ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายผสมนี้ คือ 1:3 ระยะเวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 90 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 540 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ และร้อยละผลผลิตที่ได้เท่ากับ 55.1 สภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายผสมโดยน้ำหนักระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเท่ากับ 1:2 คือ 600°ซ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายผสมนี้ คือ 1:2 ระยะเวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 60 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 436 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 57.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Effects of the Solutions of Zinc Chloride, Sodium Chloride and their Mixture on the Production of Activated Carbon from Coconut Shell
By	Miss Yuwalee Detthawit
	Miss Saijai Nardsomboon
Advisor	Asst. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum
Co-Advisor	Asst. Prof. Dr.-Ing. Gobboon Lothongkum

1. Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This work synthesized activated carbon from coconut shell using zinc chloride 60 wt.% solution, saturated sodium chloride solution, and the mixture of zinc chloride 60 wt.% and saturated sodium chloride solution as the catalysts. Parameters which affect the quality of the activated carbon, i.e., activation temperature, activation time, coconut shell and catalyst weight ratio, and types of catalysts were investigated. Sizes of the coconut shell used in this work were about 1x1 cm^2. Coconut shell 100 g was pyrorized in the carbolite furnace. Activated carbon obtaining from the coconut shell and zinc chloride solution (60 % wt.) 1:2 wt. % at the temperature of 800 ^{o}C and the activation time of 60 min gave iodine number 922 mg iodine/g activated carbon and its yield was 44.2 %. In case of coconut shell and saturated sodium chloride solution 1:3 % wt. at the temperature of 800 ^{o}C and the activation time of 90 min, the iodine number of the activated carbon was 705 mg iodine/g activated carbon and yield was 44.2 %. When the coconut shell and the mixture of zinc chloride solution 60 % wt. and saturated sodium chloride solution of 1:1 wt. % were mixed by 1:3 wt. % then synthesized at the temperature of 600^{o}C with the activation time of 90 min, the iodine number of the activated carbon was 540 mg iodine/g activated carbon and yield was 55.1 %. When the coconut shell and the mixture of zinc chloride solution 60 % wt. and saturated sodium chloride solution of 1:2 wt.% were mixed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

by 1:2 wt.% then synthesized at the temperature of 600 ^{o}C with the activation time of 60 min, the iodine number of the activated carbon was 436 mg iodine/g activated carbon and yield was 57.3 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณฉัตรชัย ตุลยสิทธิ์เสรี และบริษัทจักรวาลเคมี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนสารเคมีเพื่อใช้ดำเนินงานวิจัย ดร.สมชัย อัครทิวา และดร.วิษณุ มือยู่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เตาเผา อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านซึ่งให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ และ ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย การแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำในการเสนอรายงาน และตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจตลอดมา

น.ส.ยุวลี เดชทวิทย์

น.ส.สายใจ นารถสมบูรณ์

21 เมษายน 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ฉ
กิตติกรรมประกาศ ช
สารบัญ ฌ
สารบัญตาราง ฎ
สารบัญรูป ฑ
คำอธิบายสัญลักษณ์ ค

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 กรอบแนวคิดในการศึกษา 3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.4 ตัวแปรที่ศึกษา 5
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคาร์บอนกัมมันต์

2.1 วัตถุดิบ 8
2.2 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ 11
2.3 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์ 15
2.4 ขั้นตอนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ 17
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ 23
2.6 การวัดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีการดูดซับ

3.1 กลไกการดูดซับ 27

3.2 ปรากฏการณ์การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ 28

3.3 ตัวดูดซับ 30

3.4 สมดุลของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ 32

3.5 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับ 35

บทที่ 4 เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแบบประมาณ 37

4.2 การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ 39

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ 41

บทที่ 5 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ 48

5.2 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ 48

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลการทดลอง 48

5.4 อภิปรายผลการทดลอง

5.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ 57

5.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ 61

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป 64

6.2 ข้อเสนอแนะ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก

ก. ผลการทดลอง 69

ข. ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงของไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าและมูลค่าการนำเข้าคาร์บอนกัมมันต์ของประเทศไทย 2

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษาใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ 8

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของกะลามะพร้าว 10

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของถ่านจากกะลามะพร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ 11

ตารางที่ 2.4 แสดงการแบ่งกลุ่มของรูพรุน 12

ตารางที่ 2.5 แสดงสภาวะสำหรับการทำคาร์บอนไนเซชั่นและในการกระตุ้นสำหรับวัตถุดิบบางชนิด 20

ตารางที่ 4.1 สภาวะที่ทดลอง 41

ตารางที่ 4.2 ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน 47

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น 69

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น 71

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น 73

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น 75

ตารางที่ ก.5 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ก.6 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น 79
ตารางที่ ก.7 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น 81
ตารางที่ ก.8 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น 83
ตารางที่ ก.9 การวิเคราะห์อ้างอิงขององค์ประกอบแบบประมาณ 85
ตารางที่ ก.10 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของความชื้นของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ 85
ตารางที่ ก.11 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของสารระเหยของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ 85
ตารางที่ ก.12 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ 86
ตารางที่ ก.13 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แบบประมาณของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์ 86
ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงของไอโอดีนที่ความเข้มข้นที่กำหนด 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา 4

รูปที่ 2.1 การกระจายของปริมาตรช่องว่างของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ 12

รูปที่ 3.1 กลไกการดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ 28

รูปที่ 3.2 การดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ในลักษณะต่าง ๆ กันด้วย แรงทางกายภาพ 29

รูปที่ 3.3 รูปแบบ Adsorption isotherm : Weight adsorbed 34

รูปที่ 3.4 ลักษณะของ Langmuir adsorption isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง 35

รูปที่ 3.5 กราฟหาค่าคงที่ K_f และ n ของ Freundlich Equation 36

รูปที่ 5.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 49

รูปที่ 5.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 49

รูปที่ 5.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 49

รูปที่ 5.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 50

รูปที่ 5.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 50

รูปที่ 5.6 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 51

รูปที่ 5.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 51

รูปที่ 5.9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 51

รูปที่ 5.10 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 52

รูปที่ 5.11 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 52

รูปที่ 5.12 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 52

รูปที่ 5.13 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 53

รูปที่ 5.14 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 5.15 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 53
รูปที่ 5.16 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 54
รูปที่ 5.17 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อสารละลายใช้โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 54
รูปที่ 5.18 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อสารละลายใช้โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 54
รูปที่ 5.19 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 55
รูปที่ 5.20 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 55
รูปที่ 5.21 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 55
รูปที่ 5.22 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 °ซ 56
รูปที่ 5.23 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 °ซ 56
รูปที่ 5.24 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 °ซ 56
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

A = น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังอบไล่ความชื้น (กรัม)

C = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย (กรัม/มิลลิลิตร)

C_e = ความเข้มข้นที่วัดได้ที่สภาวะสมดุล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_s = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อิ่มตัว (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

D = ร้อยละของความชื้น (%)

D_I = ค่าแก้ไขการดูดซับไอโอดีน

E = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังจากเผาไล่ความชื้นแล้ว (กรัม)

F = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิดรวมกับเถ้าที่เหลือ (กรัม)

G = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิดรวมกับเถ้าที่เหลือ (กรัม)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

K_A = ค่าคงที่ของการดูดซับ

K_f = ค่าคงที่

m = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

n = ค่าคงที่

p = ความดันของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (atm)

P = ความดันของตัวถูกดูดซับที่อิ่มตัว (atm)

p/P_1 = ความดันสัมพัทธ์

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

Q° = จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (โมเลกุล/กิโลกรัม)

q = มวลตัวถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กิโลกรัม/กิโลกรัม)

q_e = จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่ความเข้มข้นสมดุล (โมล/กิโลกรัม)

q_m = มวลของตัวถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (กิโลกรัม/กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R = ความเข้มข้นของสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

น้ำเป็นสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด นอกจากนี้น้ำยังเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในด้านการเกษตร การประมง และการพัฒนาอุตสาหกรรม แต่ในปัจจุบันได้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ (Water pollution) ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของประเทศ อันเนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำนั้น ๆ เสื่อมลงซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และก่อให้เกิดความเสียหายเดือดร้อนรำคาญให้แก่ประชาชนที่อยู่ใกล้เคียง น้ำทิ้งยังเกิดผลต่อเนื่องในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการทำน้ำใช้ในอุตสาหกรรม หรือใช้สำหรับชุมชน ทำให้สิ้นเปลือง สารเคมีต่าง ๆ ในระบบประปา เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพิ่มมากขึ้น [1] ปัจจุบันวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้พัฒนาก้าวหน้าไปมาก มีการคิดค้น และนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมากขึ้น เช่น การแลกเปลี่ยนไอออนในน้ำด้วยเรซิน การดูดซับสารมลทินด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น

คาร์บอนกัมมันต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี มีพื้นที่ผิวมากทำให้มีคุณสมบัติสามารถดูดกลิ่น สี หรือสารปนเปื้อนอื่น ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ ปัจจุบันพบว่ามีการนำคาร์บอนกัมมันต์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม-น้ำใช้ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อกำจัดความขุ่น สี กลิ่น และรส ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ส่วนในระบบการบำบัดน้ำเสียจะใช้ดูดซับสิ่งสกปรกทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ

จากสถิติการนำเข้าคาร์บอนกัมมันต์ของกรมศุลกากร ดังแสดงในตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าคาร์บอนกัมมันต์มีราคาแพง และจะส่งผลให้ต้นทุนในการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพของน้ำจึงมีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าและมูลค่าการนำเข้าคาร์บอนกัมมันต์ของประเทศไทย [2]

พ.ศ.	ปริมาณการนำเข้า (ตัน)	มูลค่าการนำเข้า (บาท)	ราคาเฉลี่ย (บาท ต่อ ตัน)
2526	2,104.4	39,040,120	18,551.7
2527	2,332.1	39,948,407	17,130.5
2528	2,696.9	44,165,444	16,381.2
2529	1,892.3	41,009,562	21,671.8
2530	1,576.6	39,176,721	24,848.9
2531	1,932.2	51,327,284	27,081.7
2532	2,649.6	72,244,916	27,266.3
2533	2,321.6	79,176,721	24,848.9
2534	2,641.7	77,949,916	29,506.1
2535	2,518.7	79,240,716	31,460.6
2536	2,908.3	98,310,000	33,800.2
2537	2,816.2	103,190,000	36,630.1

คาร์บอนกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด คาร์บอนกัมมันต์ส่วนมากที่นำเข้าจากต่างประเทศจะผลิตมาจากถ่านหิน และถ่านโค้ก [3] ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นับวันจะหาได้ยากและมีราคาแพง ในประเทศไทยมีการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดหนึ่ง โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น แต่พบว่าซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีราคาแพง และมีสมบัติในการกัดกร่อนสูง ดังนั้นภาชนะและกระบวนการที่ใช้ในการผลิตจะต้องมีความคงทนเป็นพิเศษ ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น แนวทางหนึ่งที่สำคัญคือการหาสารกระตุ้นที่มีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายและมีสมบัติในการกัดกร่อนน้อยกว่าซิงค์คลอไรด์ ในการศึกษานี้ได้ใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบ และจะเปรียบเทียบผลของสารกระตุ้นคือ สารละลายซิงค์คลอไรด์ซึ่งเป็นสารกระตุ้นที่ดีและใช้กันมากกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีราคาถูกและไม่กัดกร่อน และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์

กะลามะพร้าวเป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในแต่ละปี เป็นวัสดุที่หาง่ายราคาถูก กะลามะพร้าวเป็นสารอินทรีย์ที่มีถ่านคงตัว (Fixed carbon) ประมาณร้อยละ 25.5 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

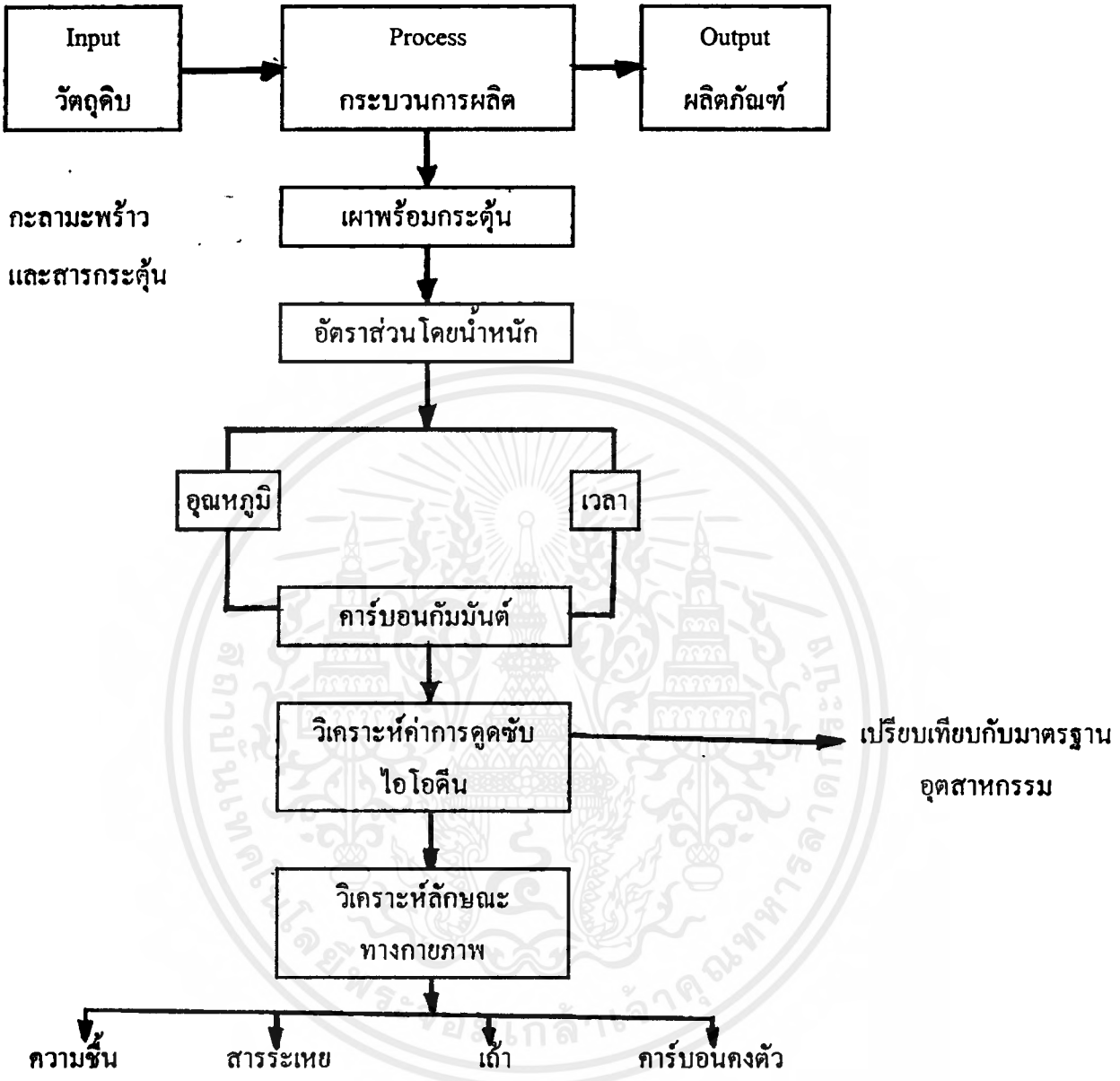
โซเดียมคลอไรด์มีส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นได้ ที่สำคัญ คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารประกอบอื่น ๆ คือ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) 5 และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) [4] อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าสารเคมีชนิดอื่น ๆ และไม่ต้องกังวลถึงความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งาน เนื่องจากความเป็นพิษของสารเคมีที่เป็นสารกระตุ้น ที่อาจเหลือ ตกค้างหลังการล้างเอาสารกระตุ้นออกจากคาร์บอนกัมมันต์

1.2 กรอบแนวคิดในการศึกษา

ในการศึกษาเรื่องการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ ผู้วิจัยได้นำกะลามะพร้าวซึ่งเป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีเป็นจำนวนมากมาทำการทดลอง โดยการเผาพร้อมกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ เกรดทางการค้า สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เตรียมจากเกลือสมุทร ทั้งนี้เพราะสามารถหาได้ง่าย และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ และจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ทั้งนี้เพื่อหาแนวทางในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้และเกลือสมุทร เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์

การผลิตคาร์บอนกัมมันต์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การคาร์บอนไนเซชั่น (Carbonization) ก่อนและทำการกระตุ้นให้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ (Activation) อีกวิธี คือ การเผาพร้อมกระตุ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองผลิตโดยวิธีการเผาพร้อมกระตุ้น ทั้งนี้เพราะวิธีการนี้จะให้ผลผลิตมากกว่าการผลิตทีละขั้นตอน และจะทดลองหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เวลาในการกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น และชนิดของสารกระตุ้น การหาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตจะพิจารณาจากค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้ ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นดัชนีวัดคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ จากนั้นจะนำคาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดมาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของกะลามะพร้าว เพื่อใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์

2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น

3. ศึกษาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และหาคุณสมบัติด้านการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

- อุณหภูมิ ($^{\circ}$ซ) 600, 700 และ 800
- เวลา (นาที) ที่ 30, 60, 90 และ 120
- อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4
- ชนิดของสารกระตุ้น

สารกระตุ้นที่ใช้คือ

1. สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 %โดยน้ำหนัก
2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว
3. สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 %โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1
4. สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 %โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2

- สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เตรียมจากซิงค์คลอไรด์เกรดทางการค้า ชนิดผง
- สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เตรียมจากเกลือสมุทรชนิดเม็ด

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวโดยการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เพื่อหาค่าความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว

2. ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น และชนิดของสารกระตุ้น

3. หาค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าร้อยละของผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดไปวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ และการดูดซับ

2. สามารถนำกะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ได้

3. สามารถทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาในการทดลองนี้ และได้ข้อมูลพื้นฐานของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

4. มีความสามารถในการวางแผนงานและทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคาร์บอนกัมมันต์

การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาจับและติดบนผิวของมัน ปรากฏการณ์เช่นนี้จัดเป็นการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่เป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวอย่างของการดูดซับได้แก่ การดูดซับของโมเลกุลสีของคาร์บอนกัมมันต์

คาร์บอนกัมมันต์ [5, 6, 7, 8, 9]

ในศตวรรษที่ 17 และ 18 ได้มีการผลิตถ่านขึ้นมาใช้โดยการนำไม้มาเผาในบริเวณที่มีอากาศจำกัด ถ่านที่ได้นำไปใช้ในโรงงานถลุงแร่และใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อน ต่อมามีการค้นพบว่าถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี และพบว่าการใช้ถ่านเพียงปริมาณเล็กน้อยสามารถกำจัดสี และกลิ่นในของเหลวชนิดต่าง ๆ เช่น ไวน์ น้ำตาล ได้ จึงมีความพยายามที่จะทำให้ถ่านมีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นโดยกระบวนการกระตุ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ ขณะนั้นความต้องการใช้คาร์บอนกัมมันต์ในทวีปยุโรปมีมากขึ้น และนิยมใช้ถ่านที่ได้จากกระดูกมาใช้ในโรงงานน้ำตาล โดยใช้ในรูปผงถ่านผสมลงในสารละลายที่ร้อนแล้วกรองสารละลายออก

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ความต้องการหน้ากากสำหรับป้องกันก๊าซพิษมีมากขึ้น เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นสำหรับฟอกสีน้ำตาลมีลักษณะพอง และเบาไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับป้องกันก๊าซพิษ ส่งผลให้มีการค้นคว้าวิจัยคาร์บอนกัมมันต์ชนิดอื่นซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสูง เพื่อใช้เป็นไส้กรองในหน้ากากกันก๊าซพิษ และพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นและแกร่งจึงเหมาะที่จะใช้ เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว

คาร์บอนกัมมันต์เป็นรูปอสัณฐานของถ่าน คือมีรูปร่างไม่แน่นอน ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวให้มากที่สุด โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ พื้นที่ผิวมีอยู่ระหว่าง 500–2000 ตารางเมตรต่อกรัม มีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 20 $^{\circ}$A ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2000 ^{o}A ใช้สำหรับ ดูดกลิ่น ดูดสี หรือสารปนเปื้อนอื่น ๆ ความพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือกระตุ้นทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (Element crystallites) เพิ่มขึ้น มีพื้นที่ภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้น สามารถดูดกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดา

2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไม่ว่าจะได้จากสัตว์ พืช และแร่ธาตุต่าง ๆ สามารถที่จะนำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์ได้ทุกชนิด วัสดุที่เคยมีผู้นำมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษาใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [6]

ชานอ้อย (Bagasses)	ไม้ (Wood)
กากของบีท (Beet-sugar sludge)	เขม่า (Lampblack)
เลือด (Blood)	กากหนัง (Leather waste)
กระดูก (Bones)	ลิกนิน (Lignin)
สารจำพวกแป้ง (Carbohydrates)	ถ่านลิกไนต์ (Lignite)
เมล็ดพืช (Cereals)	กากน้ำตาล (Molasses)
ถ่านหิน (Coal)	เปลือกลูกนัท (Nut shell)
กะลามะพร้าว (Coconut shell)	หินน้ำมัน (Oil shale)
เมล็ดกาแฟ (Coffee beans)	ถ่านหินพีทร่วน (Peat)
ซังข้าวโพด (Corncobs and corn stalks)	กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum acid sludge)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hull)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coke)
ของเสียโรงกลั่นสุรา (Distillary waste)	ของเสียจากเยื่อกระดาษ (Pulp-mill waste)
ขี้เลื่อย (Sawdust)	ของเสียจากยาง (Rubber waste)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue dust)	แกรไฟต์ (Graphyte)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่ามักใช้ กระดูก ไม้ ถ่านพีท และลิกนินเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สำหรับดูดสิ่งปลอมปนในของเหลว ส่วนกะลามะพร้าว กากกรดปิโตรเลียม ถ่านหิน มักใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตคาร์บอนกัมมันต์สำหรับใช้ดูดซับสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ จากการศึกษาพบว่า การผลิตคาร์บอนกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (วัตถุที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ) เกศรา นุตาลัย และคณะ [10] ได้รายงานไว้ว่าอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ คือพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท และวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก เลือด

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ในรูปของถ่านนั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) เป็นส่วนใหญ่ อาจใช้ถ่านที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกรไฟต์ แอนทราไซต์

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภทคือ

1. Hard artificial char (ถ่านแข็ง) เช่น ถ่านน้ำตาล ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ (Fruit pit char) ถ่านไม้เผาที่ความดันสูง (High pressure wood char)

2. Soft artificial char (ถ่านอ่อน) เช่น ถ่านไม้ ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน ถ่านกากน้ำตาล

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาทำคาร์บอนกัมมันต์ได้ แต่คุณสมบัติในการดูดสี หรือดูดกลิ่นจะแตกต่างกัน นอกจากนี้แล้ว อุณหภูมิ และเวลาในการทำการคาร์บอนไนเซชั่น และการกระตุ้น มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติการดูดกลิ่น และดูดสีของคาร์บอนกัมมันต์ ด้วยเหตุนี้ถ่านกัมมันต์จึงมีมากมายหลายชนิด โดยส่วนใหญ่จะแบ่งแยกตามคุณสมบัติการดูดซับสารต่าง ๆ เช่น กะลามะพร้าว เมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการดูดกลิ่นเพราะมีรูพรุนขนาดเล็ก [11] ในประเทศที่ผลิตมะพร้าวไว้บริโภคและส่งเป็นสินค้าออกจะมีกะลามะพร้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้ กะลามะพร้าวเหล่านี้มักถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอบแห้งเนื้อมะพร้าว และเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในบ้านเรือนแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อกำเนิดไอน้ำ เนื่องจากจะทำให้เกิดการกัดกร่อนสูง องค์ประกอบของกะลามะพร้าวคล้ายกับไม้เนื้อแข็ง ต่างกันตรงที่กะลามะพร้าวมีเซลลูโลสต่ำกว่าไม้เนื้อแข็ง แต่มีลิกนินสูงกว่าไม้เนื้อแข็ง ความชื้นเปลี่ยนแปลงตามสิ่งแวดล้อม และอายุของกะลามะพร้าว การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าว แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของกะลามะพร้าว [11]

คุณสมบัติ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	8.4
เถ้า	0.6
ตัวถูกละลายที่สกัดได้ (Solvent extractive)	4.2
ลิกนิน	29.4
เซลลูโลส	26.6
เพนโตซาน (Pentosans)	27.7
ยูโรนิกแอนไฮไดรด์	3.1

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ได้จากกะลามะพร้าวก็คือ ถ่านจากกะลามะพร้าว ซึ่งแต่เดิมมักใช้ถ่านจากกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ถ่านจากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนสูงถึง 7,500-7,600 แคลอรีต่อกรัม [11] ในบางโอกาสใช้ถ่านจากกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงสำหรับอบเนื้อมะพร้าว ใช้ในโรงทำทอง โรงตีเหล็ก อบขนมปัง โรงซักรีด แต่การใช้ถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนนั้นไม่เหมาะสมแม้ว่าจะให้ค่าความร้อนสูงก็ตาม เนื่องจากเมื่อเผากะลามะพร้าวให้เป็นถ่านแล้วจะเกิดการหดตัวทำให้เกิดรูพรุนมากเมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจะลุกไหม้เร็ว เพราะอากาศแพร่เข้าไปในรูพรุนได้สะดวกทำให้เปลวไฟมอดเร็ว ถ่านจากกะลามะพร้าวส่วนใหญ่จะส่งขายยังประเทศที่พัฒนาแล้วซึ่งมีเทคโนโลยีชั้นสูง โดยนำถ่านจากกะลามะพร้าวไปผลิตคาร์บอนกัมมันต์ [11]

ถ่านกะลามะพร้าวที่มีคุณสมบัติที่ดีก็คือ มีสีดำตลอด เมื่อหักแล้วรอยหักจะเป็นเงามีเสียงกังวานคล้ายโลหะ เมื่อตกกระทบพื้น แกร่งไม่แตกหักง่าย เมื่อเป็นถ่านแล้วปราศจากฝุ่นผง เถ้าหรือส่วนที่ยังไม่ได้เผาไหม้ปนอยู่ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) สูง มีความชื้นต่ำ [11] ดังแสดงในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของถ่านจากกะลามะพร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ [12]

คุณสมบัติ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	0.5
เถ้า	1.7
สารระเหยได้	26.33
คาร์บอนคงตัว	71.47

2.2 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์นั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่น่าสนใจ ซึ่งจะพิจารณาแบ่งชนิดจากคุณสมบัติดังนี้

- แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ
- แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ
- แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น
- แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์
- แบ่งตามความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์

2.2.1 แบ่งตามลักษณะของการดูดซับ [12]

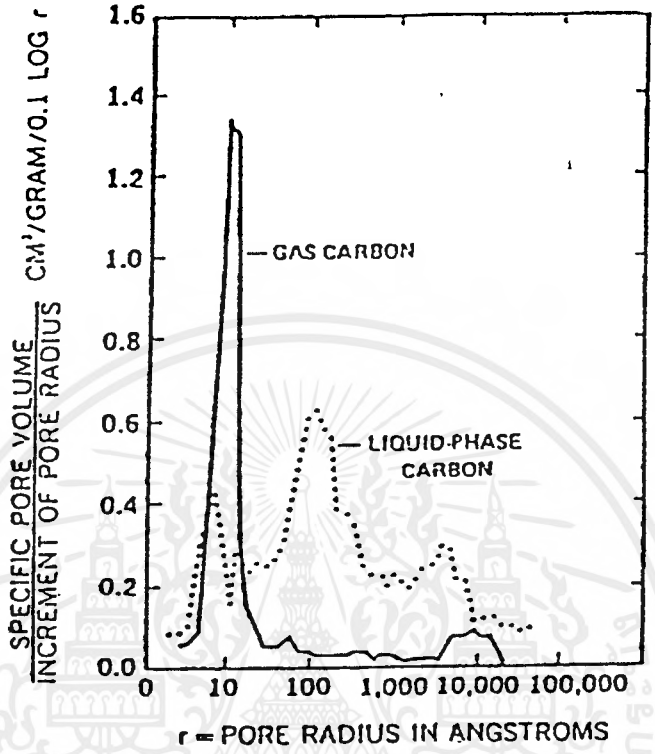
คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสีและกลิ่น ที่มีสภาพของแข็งหรือก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิดดังนี้

ก. Gas adsorbent activated carbon คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้โดยมากมักใช้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์

ข. Liquid adsorbent activated carbon ใช้ในการฟอกสีหรือทำให้ของเหลวบริสุทธิ์

ข้อแตกต่างของการดูดซับก๊าซและการดูดซับของเหลว คือ การกระจายของขนาดรูพรุน (Pore size) ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.1 จากรูปแสดงให้เห็นว่า ส่วนที่ดูดซับก๊าซ คือ รูพรุนแบบ Mircropores ซึ่งมีรัศมีอยู่ในช่วง 3-5 $^{\circ}$A และมีปริมาณมาก สำหรับรูพรุนแบบ Macropores จะมีรัศมีอยู่ในช่วง 1,000-5,000 $^{\circ}$A แต่มีในปริมาณไม่มากนัก ของเหลวจะถูกดูดซับด้วยรูพรุนที่อยู่ในช่วงทรานซิชัน โดยทั่วไปแล้วคาร์บอนส่วนที่ดูดซับของเหลว จะมีพื้นที่ผิวพอ ๆ กับคาร์บอนส่วนที่ดูดซับก๊าซ แต่จะมีปริมาณของช่องว่างทั้งหมดใหญ่กว่า ขนาดของรูพรุนแสดงในตาราง ที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การกระจายของปริมาตรช่องว่างของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ [13]

ตารางที่ 2.4 การแบ่งกลุ่มของรูพรุน [14]

ประเภทของรูพรุน	รัศมีรูพรุน (^{o}A)
Micropores	30-50
Transitional pores	50-1,000
Macropores	1,000-50,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

คาร์บอนกัมมันต์ สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon หรือ PAC)

ข. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon หรือ GAC)

ก. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง มักจะผลิตจากวัตถุดิบจำพวกเศษไม้ เศษถ่าน หรือการผสมขี้เลื่อยกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ วิธีการบดคาร์บอนกัมมันต์มีผลต่อความสามารถในการดูดซับด้วย เช่น การบดคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องบดแบบลูกหิน (Ball mill) ได้ผลในลักษณะเม็ดเล็ก ๆ รูปไข่ ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบ Pulverizer ซึ่งได้ผลเป็นแบบเม็ดยาวเรียบ คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้มีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอน หรือน้อยกว่า คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้ในกระบวนการตกตะกอน หรือการกรองน้ำ นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็น พรีโคต (Precoat) ของเครื่องกรองน้ำแบบแท่งที่เรียกว่า แคนเดิลฟิวเตอร์ (Candle filter) สำหรับผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงมากเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

ข้อดีและข้อเสียของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง

ข้อดี

1. มีราคาถูกกว่าแบบเม็ด ประมาณ 2-3 เท่า

2. การเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอนสามารถกระทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของคุณภาพน้ำดิบ

3. ไม่ต้องมีการลงทุนเบื้องต้นเป็นเงินมาก ๆ

4. การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะเนื่องจากโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของคาร์บอนกัมมันต์ได้ง่าย

ข้อเสีย

1.การปรับปรุงสภาพคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงที่เสื่อมสภาพแล้ว มักไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้จึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แม้ว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้สามารถกำจัดมลทินให้เหลือน้อยได้ แต่ถ้าต้องการกำจัดมลทินให้หมด จะต้องใช้ในปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่า โดยปกติไม่ควรใช้เกินกว่า 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด

คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้มักจะผลิตจากถ่านที่ผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่านโค้ก กะลามะพร้าว เมล็ดผลไม้ เป็นต้น ลักษณะเม็ดที่ได้อาจจะได้จากการบดวัสดุขนาดใหญ่ หรือการอัดเศษคาร์บอนกัมมันต์ผ่านแม่แบบออกมาเป็นแผ่นแล้วตัดเป็นท่อนทรงกระบอกเท่า ๆ กัน คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้ มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะ และเบากว่าทราย

คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้ที่ใช้และเสื่อมสภาพแล้ว สามารถนำไปทำการปรับปรุงสภาพ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจัดเป็นข้อดีของคาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้ แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสภาพทุกครั้งต้องมีการสูญเสียไปประมาณร้อยละ 5 ทั้งนี้เพราะต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้คาร์บอนกัมมันต์บางส่วนป่นกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้ [15]

2.2.3 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น [16]

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้นได้เป็น

ก. Chemical activated carbon คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ ไฮโดรเจนฟอสเฟต คาร์บอนกัมมันต์พวกนี้มักเป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนใหญ่

ข. Physical activated carbon คือคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ก๊าซ เช่น ไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้น คาร์บอนกัมมันต์พวกนี้มีขนาดรูพรุนเล็ก นิยมใช้ในการดูดก๊าซและไอระเหย

2.2.4 แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์ [17]

ก. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนแบบ Micropores รัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซและไอระเหย

ข. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนแบบ Transitional pores และมีรัศมีรูพรุนประมาณ 1.5 นาโนเมตร ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reactions)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. คาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนแบบ Macropores และมีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

2.2.5 แบ่งตามความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์ [18]

ก. ประเภทความหนาแน่นต่ำ คาร์บอนกัมมันต์ประเภทนี้ใช้ประโยชน์ในสภาวะที่เป็นสารละลาย ใช้ฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์

ข. ประเภทความหนาแน่นสูง คาร์บอนกัมมันต์ประเภทนี้ใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย

2.3 ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์

คาร์บอนกัมมันต์มีคุณสมบัติในการฟอกสีและแต่งรสสารได้หลายชนิด มีอุตสาหกรรมหลายประเภท ที่นิยมนำเอาคาร์บอนกัมมันต์มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ทั้งที่เป็นก๊าซและของเหลว มีการประมาณกันว่ามีถึงร้อยละ 60 ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง ซึ่งนำไปใช้กับสารที่เป็นของเหลวส่วน ที่เหลือจะเป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด ซึ่งนำไปใช้ประยุกต์กับสารที่เป็น คาร์บอนกัมมันต์ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon) และประเภทใช้กับก๊าซและไอ (Gas phase carbon) มีประโยชน์ดังต่อไปนี้

2.3.1 ประเภทใช้กับของเหลว จะใช้ใน

อุตสาหกรรมโรงงานน้ำตาล

-การฟอกสีน้ำตาล ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของการนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ในโรงงานน้ำตาล

-ใช้ดูดสารพวกไนโตรจีนัส และไลอะฟิลลิคคอลลอยด์ (Nitrogenous and Lyaphilic colloids) จากน้ำอ้อยและสารละลายน้ำตาล โดยตรวจสอบได้จากการวัดปริมาณกัม (Gum) และเพกติน (Pectin) การวัดค่าความหนืดของสารละลายน้ำตาล และการทดสอบการย้อมสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแอลกอฮอล์

-วิสกี้ ใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการ โดยการนำคาร์บอนกัมมันต์มาทำเป็นชั้นให้วิสกี้ไหลผ่าน (คล้ายการกรอง) หรือนำคาร์บอนกัมมันต์ผสมเข้ากับวิสกี้โดยตรงประมาณ 0.1-0.5 % แล้วจึงกรองออกภายหลัง

-ไวน์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อให้ได้ไวน์ทีมีเกรดดีขึ้น แต่จะมีความผิดทางกฎหมาย

-เบียร์ เติมคาร์บอนกัมมันต์ลงไปในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยคาร์บอนกัมมันต์จะทำหน้าที่ดูดซับตะกอนโปรตีนที่เอ็นไซม์ย่อยไม่ได้ และใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการเตรียมน้ำให้สะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์ด้วย

อุตสาหกรรมอาหาร

-เจลลาติน ใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการดูดสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออก ทำให้เจลลาตินใสและสะอาด

-เพคติน ได้จากการสกัดสารนี้จากผลไม้หลาย ๆ ชนิด มักจะมีสีมัวและมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ไม่ค่อยดีนัก ลักษณะเช่นนี้สามารถแก้ไขโดยการปรับสภาพด้วยคาร์บอนกัมมันต์

-น้ำผลไม้ ที่ได้จากการคั้นอาจมีลักษณะขุ่นมัว ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเติมคาร์บอนกัมมันต์ลงไปเล็กน้อยแล้วกรองออก แต่ถ้าเติมคาร์บอนกัมมันต์ปริมาณมากเกินไปจะทำให้รสและกลิ่นของผลไม้เปลี่ยนไป

อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์

-ใช้คาร์บอนกัมมันต์ดูดคลอรีนและสารที่เป็นพิษอื่น ๆ ที่ติดมากับน้ำประปา ซึ่งอาจทำได้ 2 ทางคือ

1.ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผงผสมลงในน้ำแล้วกรองออก

2.ใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ดทำเป็นชั้นให้น้ำไหลผ่าน

2.3.2 ประเภทใช้ในการดูดก๊าซและไอ จะใช้ใน

อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ ทั้งที่ใช้ในการทหาร และที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษ และไอของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุตสาหกรรมการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยคาร์บอนกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ

อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยคาร์บอนกัมมันต์จะดูดมลทินในอากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

อุตสาหกรรมทำบุหรี่ โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ทำเป็นก้นกรองของบุหรี่

2.4 ขั้นตอนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์

ได้มีผู้วิจัยและพัฒนาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ การผลิตคาร์บอนกัมมันต์ภายในประเทศยังคงจำกัดอยู่ในห้องปฏิบัติการ ส่วนในต่างประเทศได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่ออุตสาหกรรม โดยหลักการออกแบบเครื่องมือจะเน้นถึงประสิทธิภาพในการผลิต ความปลอดภัย และความประหยัด ปัจจุบันการผลิตคาร์บอนกัมมันต์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการ และวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ วิธีการโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

2.4.1 การคาร์บอนไนเซชั่น

2.4.2 การกระตุ้น

2.4.1 การคาร์บอนไนเซชั่น

ขั้นตอนนี้เป็นการนำวัตถุดิบมาเผา (Pyrolysis) ในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อย [10] ทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมี สารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจนและออกซิเจนจะถูกไล่ออกในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึก (Microcrystallines) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการเผา องค์ประกอบ และโครงสร้างของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่มีเซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$) เป็นส่วนประกอบ [11] เมื่อถูกเผาในกระบวนการไพโรไลซิส จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$C_6H_{10}O_5 \text{ ----------> } CH_4 + 2CO + 3H_2O + 3C \quad \text{---------- (2.1)}$$

ถ่านที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวควรมีลักษณะดังนี้ มีสีดำตลอด เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา ปลายที่หักจะแหลมคม ปราศจากผงฝุ่น และขี้เถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33992

ในทางการค้าผู้ผลิตถ่านจากกะลามะพร้าว มักจะพิจารณาค่าดังต่อไปนี้

-น้ำหนักของคาร์บอนคงตัว

-ปริมาณความชื้น

-ปริมาณสารระเหยได้

-ปริมาณเถ้า

การที่มีคาร์บอนคงตัวอยู่มากทำให้ได้ถ่านที่ดี และต้องมีปริมาณความชื้นกับปริมาณเถ้าน้อย ถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะว่าการทำคาร์บอนไนเซชั่นใช้อุณหภูมิ 400-600°ซ จึงยังคงมีน้ำมันดินตกค้างอยู่ภายในรูพรุน หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

2.4.2 การกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้ความพรุนเพิ่ม และทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เพราะเป็นการกำจัดน้ำมันดินที่ตกค้างอยู่ภายในรูพรุนให้หลุดออกมา ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ด้วย ทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น กระบวนการที่นำมาใช้ในการกระตุ้นมี 2 วิธี คือ

2.4.2.1 กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

กระบวนการนี้ใช้ก๊าซ เช่น ไอน้ำ อากาศ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไปทำการออกซิไดส์น้ำมันดิน และอะตอมของคาร์บอนบางตัวในโครงสร้างผลึกในสภาวะที่ควบคุมไว้ ทำให้รูพรุนกว้างมากขึ้นและทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น

2.4.2.1.1 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Activation with steam)

ปฏิกิริยานี้ใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดส์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 760-950°ซ ดังสมการ

$$C + H_2O \text{ ----------} \rightarrow H_2 + CO \qquad \Delta H = 37 \text{ kcal / mol} \quad \text{----------} \quad (2.2)$$

อัตราการออกซิไดส์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิเกิน 1000°ซ เพราะปฏิกิริยาจะกลายเป็นการควบคุมด้วยอัตราการแพร่ (Diffusion controlled rate) ซึ่งอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอกจำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ขนาดและความพรุนของอนุภาคเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1.2 การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Actvation with carbondioxide)

ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนดังสมการ

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \qquad \Delta H = 91.3 \text{ kcal / mol} \quad \text{---------- (2.3)}$$

จากค่า ΔH จะเห็นว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า โดยใช้ประมาณ 850-1100°ซ อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ด้วย ในทางเทคนิคการปฏิบัติแล้วจะใช้ก๊าซเชื้อเพลิงเผาไหม้ ซึ่งจะให้ทั้งไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และอาจจะมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเติมไอน้ำและก๊าซเชื้อเพลิงเป็นสารกระตุ้นร่วมกันเข้าไปด้วย

2.4.2.1.3 การกระตุ้นด้วยอากาศ (Activation with air)

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดส์คาร์บอน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการ

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad \Delta H = -92.40 \text{ kcal / mol} \quad \text{---------- (2.4)}$$

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO \qquad \Delta H = -53.96 \text{ kcal / mol} \quad \text{---------- (2.5)}$$

การใช้อากาศเพื่อทำการกระตุ้นไม่เป็นที่นิยม เพราะว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่าปฏิกิริยาชนิดดูดความร้อน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

การกระตุ้นทางกายภาพ มีข้อดีคือ หลังจากกระตุ้นแล้วสามารถนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ได้ทันที ไม่ต้องมีปัญหาในการล้างสารที่อาจเป็นอันตราย ส่วนข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูงกว่าการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี รูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะเล็กกว่าชนิดที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี รูพรุนเป็นประเภท Micropores ซึ่งเหมาะสำหรับดูดกลิ่น ไอ หรือก๊าซพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สภาวะในการทำคาร์บอนไนเซชั่นและในการกระตุ้นสำหรับวัตถุดิบบางชนิด [20]

วัตถุดิบ	อุณหภูมิและเวลาของการทำคาร์บอนไนเซชั่น	อุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้น	สารที่ใช้กระตุ้น
กากน้ำตาล	110-120°ซ	800-1000°ซ	$Ca(OH)_2$,$Ca(PO_4)_3$
ลิกไนต์	700°ซ, 1 ชม.	800°ซ, 1 ชม.	ไอน้ำ
ถ่านหิน	400-900°ซ	700-900°ซ	ไอน้ำ
ไม้	400-600°ซ, 2 ชม.	700°ซ , 1 ชม.	ไอน้ำ
กากกรดปิโตรเลียม	100-400°ซ	900-920°ซ, 1-2 ชม. 900-950°ซ, 3-4 ชม.	ไอน้ำ
ชานอ้อย	480-500°ซ, 4 ชม.	800-950°ซ	ไอน้ำ
กะลามะพร้าว	300-700°ซ	700-1050°ซ, 4 ชม.	ไอน้ำ

2.4.2.2 กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี

การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีนี้มักจะทำควบคู่ไปกับการทำคาร์บอนไนเซชั่น โดยการเติมสารเคมีที่เป็นสารกระตุ้น ลงไปคลุกเคล้าผสมกับวัตถุดิบ สารเคมีที่เติมมีส่วนช่วยในกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น คือทำให้เกิดน้ำมันดินน้อย McGarry N.G. [20] ได้กล่าวว่า ข้อดีของการใช้วิธีการทางเคมี คือใช้อุณหภูมิต่ำและได้ผลผลิตมากกว่าวิธีทางกายภาพ ส่วนข้อเสียคือ จำเป็นต้องล้างสารเคมีออกจากคาร์บอนกัมมันต์ก่อนใช้งาน สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นได้แก่

กรดบอริก (H_3BO_3)
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)
แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca(PO_3)_2$)
ไซยาไนด์ (CN^+)
ปูนโดโลไมด์ ($CaMg(CO_3)_2$)
เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_2$)
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)
ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
โปตัสเซียมไธโอไซยาเนต ($K_2S_2O_3$)
เกลือแมงกานีสคลอไรด์ ($MnCl_2$)
โปตัสเซียมซัลไฟด์ (K_2S)
กรดไนตริก (HNO_3)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยทำให้สารมีรูพรุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ อย่างไรก็ดีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งก็เนื่องจากว่า วิธีการกระตุ้นมีหลายวิธี นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย Berl E. [21] ได้แบ่งวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีเพื่อผลิตคาร์บอนกัมมันต์ไว้ดังนี้

ก. กระตุ้นด้วยสารประกอบของโปตัสเซียม หรือโซเดียม

ข. กระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ (Oxidizing gas)

ค. กระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (Dehydrating agent)

ก. กระตุ้นด้วยสารประกอบของโปตัสเซียม หรือโซเดียม

เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งผสมสารละลายที่มีไอออนโปตัสเซียม หรือ ไอออนโซเดียม ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นของแกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700°ซ โมเลกุลของน้ำ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และออกซิเจน จะหลุดออก ทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ตามต้องการ จากการศึกษาพบว่าการใช้สารประกอบโปตัสเซียมเป็นสารกระตุ้น จะให้ถ่านที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารประกอบของโซเดียมเป็นสารกระตุ้น และพบว่าโปตัสเซียมซัลไฟต์เป็นสารกระตุ้นที่ดีที่สุดในกลุ่มสารกระตุ้นชนิดนี้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์มีดังนี้

$$2X + 3CO \longrightarrow X_2CO_3 + 2C \qquad \text{---------- (2.6)}$$

$$X_2CO_3 + C \longrightarrow X_2O + 2CO \qquad \text{---------- (2.7)}$$

$$2CO \longrightarrow CO_2 + C \qquad \text{----------(2.8)}$$

เมื่อ $X = K^+$ หรือ Na^+

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมีการนำสารประกอบเหล่านี้มาใช้บ้าง ได้แก่

-สารประกอบคาร์บอเนต เช่น โปตัสเซียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมคาร์บอเนต

-ด่าง Cuastic เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์

-ซัลไฟด์ (S^{++}) และไธโอไซยาเนต (S_2O_3)$^{++}$ เช่น โปตัสเซียมซัลไฟต์ หรือโซเดียมไธโอซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. กระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์

ก๊าซหรือไอที่ใช้ได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คลอรีน และไอกำมะถัน แต่ 3 ชนิดหลังไม่เป็นที่นิยม

ค. กระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ

สารดูดน้ำที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้กรดฟอสฟอริก และกรดซัลฟิวริก ด้วยวิธีการนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างที่ละเอียด เช่น ถ่านดินพรุ เปลือกถั่ว และขี้เลื่อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (500°ซ สำหรับซิงค์คลอไรด์ และ 100°ซ สำหรับกรดฟอสฟอริก) โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในวัตถุดิบ ถ้าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ใช้อุณหภูมิไม่สูงนักจะทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้นได้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์จะมีรูพรุนมากเพราะที่อุณหภูมินั้นซิงค์คลอไรด์จะละลายน้ำมันดิน ซึ่งคาร์บอนกัมมันต์ดูดซับอยู่ออกไป และถ่านที่ได้จัดเป็น Acid carbon การกระตุ้นด้วยสารดูดน้ำนี้ส่วนมากนิยมใช้ซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก

-การผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารกระตุ้น

ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนโลหะได้ดี น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136.28 เป็นของแข็งสีขาว ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.91 จุดหลอมเหลวเท่ากับ 275°ซ จุดเดือดเท่ากับ 756°ซ ซิงค์คลอไรด์ที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ใช้คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน บางครั้งอาจมีการเติมกรดเกลือ หรือฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อยจากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600-700°ซ (แต่เคยมีผู้ใช้อุณหภูมิเพียง 400°ซ หรืออาจสูงถึง 900°ซ) คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรดเกลือเจือจาง เพื่อเอาซิงค์คลอไรด์เหลือออก จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณซิงค์คลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์

ขั้นตอนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ เป็นสารกระตุ้นมีดังนี้

1. ผสมวัตถุดิบที่แห้งกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นด้วยปริมาณที่เหมาะสม

2. นำไปอบที่ 110°ซ เพื่อทำให้ของผสมแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำไปเผาที่อุณหภูมิสูง

4. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อนและกรดเกลือเจือจาง ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

5. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบให้แห้ง

-การผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น

กระบวนการนี้อาจใช้กรดซัลฟิวริกแทนได้ แต่คุณภาพที่ได้จะด้อยกว่า ตัวอย่างการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ เช่น การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากดินพรุ หรือขี้เลื่อย วิธีการคือ ผสมดินพรุหรือขี้เลื่อยกับสารละลายกรดฟอสฟอริก แล้วนำเอาสารผสมไปอบให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 400-600°ซ ในเตาเผาแบบหมุน กระบวนการกระตุ้นเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกคล้ายกับกระบวนการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ควรนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800-1000°ซ อีกประมาณ 2-8 ชม. ซึ่งจะเกิดการออกซิไดส์คาร์บอน สำหรับกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

นอกจากวิธีการซึ่งใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นโดยตรงนี้แล้ว กรดฟอสฟอริกยังอาจใช้เป็นสารกระตุ้นร่วมกับไอน้ำ คือ ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เมื่อได้คาร์บอนกัมมันต์แล้วอาจนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปแช่ในกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 2-25 เพื่อช่วยให้คาร์บอนกัมมันต์มีคุณภาพดีขึ้น

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์

2.5.1 ชนิดของวัตถุดิบ

การผลิตคาร์บอนกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด ซึ่งคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณภาพที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุดิบในแต่ละชนิด เช่น กะลามะพร้าวจะให้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็ก เป็นต้น

2.5.2 วิธีการในการกระตุ้น

McGarry N.G. [20] กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการทางเคมีนั้น มีดังนี้

ก. ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น

ข. อุณหภูมิในการกระตุ้น

ค. เวลาในการกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น

การเลือกใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้นมีผลต่อขนาด และโครงสร้างของรูพรุนคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นนั้น ให้คาร์บอนกัมมันต์ดีที่สุดในกลุ่มที่ใช้สารดูดน้ำเป็นสารกระตุ้น ได้ขนาดของรูพรุนที่ใหญ่ และปริมาณของสารกระตุ้นมีผลต่อปริมาตรรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ การศึกษาของ อนุชิต กิจสวัสดิ์ [22] เรื่องการทำถ่านแกลบให้มีคุณสมบัติในการฟอกสี โดยใช้แกลบขนาด 40 เมช ผสมกับซิงค์คลอไรด์ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างแกลบต่อซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:2, 1:2.5, 1:3,และ 1:4 กระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า อัตราส่วน 1:2.5 เป็นอัตราส่วนที่จะกระตุ้นแกลบให้มีคุณสมบัติในการฟอกสีได้ดี นราพร หาญวจนวงศ์ และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาการทำคาร์บอนกัมมันต์จากซังข้าวโพด โดยการเผาซังข้าวโพดให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 300°ซ และ 400°ซ เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วทำการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยอัตราส่วนโดยน้ำหนักซังข้าวโพดต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 จากนั้นทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700-1000°ซ เป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของซังข้าวโพดต่อซิงค์คลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 1:2 ดำรง ขุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล [25] ได้ทำการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น โดยใช้วัตถุดิบคือขี้เลื่อย กะลามะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าว ผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 ทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500-1100°ซ โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 10-100 นาที พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของขี้เลื่อยต่อโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมมีค่ามากกว่า 1:5 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อโซเดียมคลอไรด์ ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1:3 ส่วนถ่านกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่ออัตราส่วนของสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น

ข. อุณหภูมิในการกระตุ้น

อุณหภูมิกระตุ้นมีผลต่อโครงสร้างของรูพรุน โดยอาจมีผลทางบวกหรือลบต่อคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ จากผลการศึกษาของ ดำรง ขุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล [25] พบว่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 600°ซ เป็น 800°ซ จะสูงขึ้น และเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 800°ซ และสรุปว่าการกระตุ้นจากขี้เลื่อยค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 600-800°ซ การกระตุ้นจากกะลามะพร้าวด้วยโซเดียมคลอไรด์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 700-900°ซ และการกระตุ้นจากถ่านกะลามะพร้าวด้วยโซเดียมคลอไรด์ควรใช้อุณหภูมิในช่วง 700-900°ซ อาจกล่าวว่าการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะให้ผลดีเมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นมีค่าสูงในระดับใกล้เคียงกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นราพร หาญวจนวงศ์ และคณะ [24] ได้นำผลึกถ่านจากซังข้าวโพดมาทำการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 700-1000°ซ และใช้เวลา 2-4 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 900°ซ และ 1000°ซ เวลาในการกระตุ้นเป็น 2 และ 4 ชั่วโมง จะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800°ซ เวลา 2 และ 4 ชั่วโมงไม่มากนัก และค่าการดูดซับไอโอดีนจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800°ซ เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700°ซ เวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ ที่อุณหภูมิ 800°ซ เวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 2 ชั่วโมง เพราะใช้เวลาในการกระตุ้นน้อยกว่า ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานได้มากกว่า

ค. เวลาในการกระตุ้น

นราพร หาญวจนวงศ์ และคณะ [23] ได้กล่าวว่าการกระตุ้นผลึกถ่านให้เป็นคาร์บอนกัมมันต์ยิ่งใช้เวลานานในการกระตุ้น โอกาสที่อะตอมของถ่านจะหลุดจากผลึกของถ่านยิ่งมากขึ้นซึ่งจะมีผลให้ปริมาณของอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ตามรูพรุนมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าใช้เวลานานจนถึงจุดหนึ่งแล้วจำนวนอิเล็กตรอนอิสระจะไม่เกิดขึ้นอีก และเมื่อนำคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยการใช้เวลาต่าง ๆ กันไปทดสอบคุณสมบัติการฟอกสี พบว่าให้ค่าการฟอกสีดีเกือบเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่ไม่จำเป็นที่จะต้องทำการกระทำกระตุ้นอีกต่อไป ดำรง ขุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล [24] ได้ทำการวิจัยเรื่องการผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ เป็นสารกระตุ้นใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว และถ่านกะลามะพร้าว เมื่อเริ่มทำการกระตุ้น ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด จะต่ำ และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อเวลาในการกระตุ้นมากกว่าค่า ๆ หนึ่ง เวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นขี้เลื่อย และกะลามะพร้าวเท่ากับ 60 นาที ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากถ่านกะลามะพร้าว มีค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นนานขึ้น จากการศึกษาของ อนุชิต กิจสวัสดิ์ [22] ในการทำถ่านแกลบให้มีคุณสมบัติในการฟอกสี โดยใช้แกลบขนาด 40 เมช พบว่าผสมกับซิงค์คลอไรด์อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:2.5 อุณหภูมิในการกระตุ้น 900°ซ ทดลองใช้เวลาในการกระตุ้น 15, 30, 60, 120, 150 และ 180 นาที พบว่า ควรใช้เวลาในการกระตุ้นประมาณ 60 นาที เพราะคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีความสามารถในการฟอกสีดีเทียบเท่ากับการกระตุ้นที่ระยะเวลาที่ 180 นาที ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการกระตุ้นมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การวัดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

การวัดคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ ทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดติดผิวคาร์บอน (Adsorption capacity) ซึ่งได้มีการทดลองใช้ ตัวถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ฟีนอล (Phenol) แทนนิน (Tannin) ไอโอดีน (Iodine) และ กากน้ำตาล (Molasses) การดูดซับฟีนอล ใช้เป็นดัชนีชี้ ความสามารถของคาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดรส และกลิ่นทางเคมี (Chemical taste and odor) ส่วนการดูดซับแทนนินใช้เป็นดัชนีชี้ความสามารถของคาร์บอนกัมมันต์ในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ ที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชผัก การดูดซับไอโอดีนและกากน้ำตาลใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ ในกรณีทั่ว ๆ ไป

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอนกัมมันต์ คาร์บอนกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถ้าคาร์บอนกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง แสดงว่ามีความสามารถในการดูดซับสูง การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของคาร์บอนกัมมนต์ ทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนกัมมันต์ดูดซับได้

ไอโอดีนนัมเบอร์ แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 10 $^{\circ}$A)

โมลาสนัมเบอร์ แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนกัมมันต์ในการกำจัดสารที่โมเลกุลใหญ่ (ขนาดใหญ่กว่า 28 $^{\circ}$A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซโดยให้สารละลายหรือก๊าซผสมไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ปรากฏการณ์การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับนั้น จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิว และขนาดของรูพรุนที่ทำหน้าที่ดูดซับได้ จึงสามารถแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกได้ โดยเลือกตัวดูดซับให้เหมาะกับองค์ประกอบนั้น

3.1 กลไกการดูดซับ (Mechanism of adsorption)

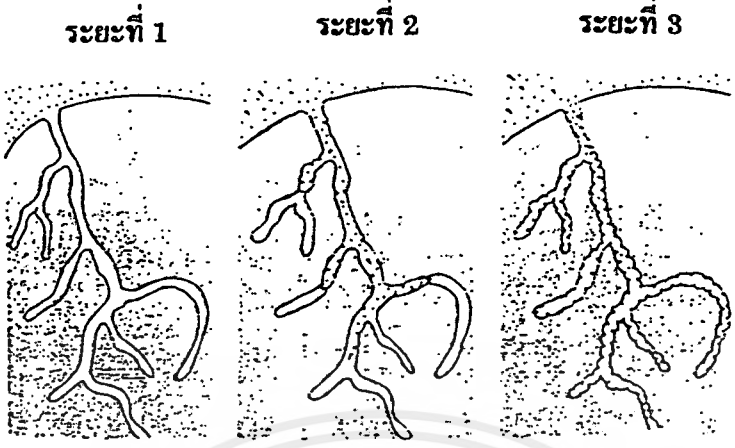
เนื่องจากการดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลสารจากก๊าซ หรือของเหลวมายังของแข็ง หรือของเหลว การดูดติดผิวเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังรูปที่ 3.1

ระยะที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของคาร์บอนกัมมันต์

ระยะที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างตัวถูกดูดซับ และพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งอาจจะดูดติดผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์ หรือเคมี หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กลไกการดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ [6]

3.2 ปรากฏการณ์การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ [6]

ปรากฏการณ์การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

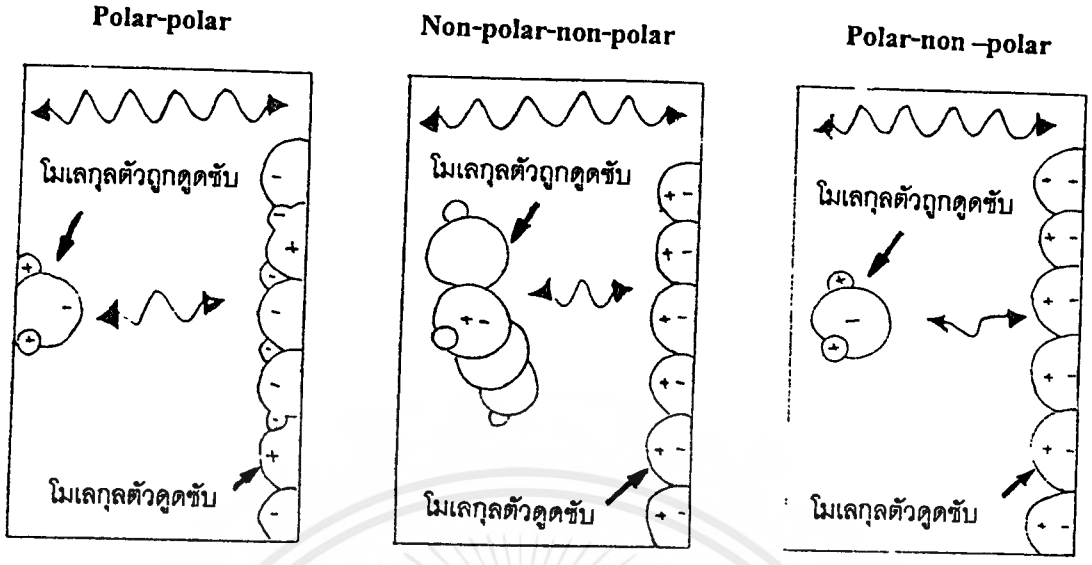
3.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพมีลักษณะดังนี้

1. เป็นแรงดึงดูดกันทางไฟฟ้าสถิต ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจจะเป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลประเภทมีขั้วทั้งคู่ หรือระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่ หรือระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว หรือระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว การจับตัวของโมเลกุลชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ในลักษณะต่าง ๆ กันด้วยแรงทางกายภาพ [6]

ก. โมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลมีขั้ว เกิดจาก Orientation effect คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

ข. โมเลกุลขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว เกิดจาก Dispersion effect คือโมเลกุลที่ไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่ง โดยแรงดึงดูดระหว่างกันจะเป็นแรงที่อ่อน

ค. โมเลกุลไม่มีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว เกิดจาก Induce effect ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของโมเลกุลไม่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลไม่มีขั้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกัน

3.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เกิดพันธะเคมี (Chemical bond) เนื่องจากมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือให้อิเล็กตรอนไปเลย หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแรงกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพ

2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มาก มีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี (Chemical compound)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่ได้รวมถึงการถ่ายเท หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน และมักจะเกิดพันธะหรือการสัมผัสกันเฉพาะตัว (Individuality of interacting species) จากคุณสมบัตินี้ทำให้เกิดการผันกลับ (Reversible interaction) และในการผันกลับจะทำให้ตัวถูกดูดซับหลุดออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับที่เรียกว่า การคายซับ (Desorption) นั้น สามารถที่จะย้อนกลับในสภาวะอุณหภูมิเดียวกันได้ถึงแม้ว่าขบวนการนั้นจะเกิดอย่างช้า ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่กระจายก็ตาม แต่การดูดซับทางเคมีรวมถึงการเกิดพันธะทางเคมีจะไม่สามารถผันกลับได้

2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่ว ๆ ไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับนั้นคือ จะไม่มีบริเวณจำเพาะ (Specific site) ในการเกิดกระบวนการดูดซับ ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ ในทางตรงกันข้ามการดูดซับทางเคมีจะเกิดเฉพาะส่วนโมเลกุลที่ถูกดูดซับอย่างพอเหมาะ ในบริเวณจำเพาะเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดการดูดซับชั้นเดียว

3. แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นแรงแวนเดอวาลส์และแรงไฟฟ้าสถิต ความร้อนที่ได้จึงน้อยกว่าการดูดซับทางเคมีซึ่งเกิดจากพันธะเคมี

3.3 ตัวดูดซับ

ในสารละลายทั่วไปจะมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ตัวดูดซับสามารถดูดซับองค์ประกอบใดได้มากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวดูดซับ เช่น ผงคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสารละลายที่ไม่มีขั้วได้ดี และการทำให้ตัวดูดซับมีคุณสมบัติพิเศษ ทำได้โดยทำให้ผิวสัมผัสของตัวดูดซับมีออกไซด์ซึ่งสามารถดูดซับองค์ประกอบอื่นได้มากขึ้น ในบางครั้งสารละลายที่ป้อนเข้าระบบดูดซับมีองค์ประกอบอื่นปลอมปนมาด้วยและเกิดการยึดเกาะตัวดูดซับทำให้ความสามารถตัวดูดซับน้อยลงจำเป็นต้องนำตัวดูดซับนั้นมาบำบัดด้วยสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่ปลอมปนนั้น เพื่อให้สภาพผิวหน้าของตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม คุณสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับทั่วไป ได้แก่ ความพรุน ความหนาแน่น และพื้นที่ผิวสัมผัส ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากต่อการดูดซับแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

ก. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงการดูดซับจะลดลง

ข. ความดัน การดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มความดันย่อย

ค. สถานะของระบบมีผลต่อการดูดซับ เช่น ตัวดูดซับตัวหนึ่งมีความสามารถในการดูดซับสารในสถานะก๊าซได้ดี แต่อาจจะมีความสามารถในการดูดซับสารในสถานะของเหลวไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ขนาดของอนุภาค อัตราการดูดซับจะขึ้นอยู่กับผิวหน้าของตัวดูดซับ และความเร็วในการแพร่กระจายของก๊าซเข้าสู่ภายในอนุภาค

จ. สภาวะการกระตุ้นของอนุภาค (Degree of activation) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับ

ฉ. สารปนเปื้อนซึ่งอาจสะสมอยู่ในตัวดูดซับในระหว่างการดูดซับ หรือระหว่างการปรับสภาพใหม่

ตัวดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

3.3.1 ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว (Non-polar adsorbent)

3.3.2 ตัวดูดซับแบบมีขั้ว (Polar adsorbent)

3.3.3 ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี

3.3.1 ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว

ตัวดูดซับที่สำคัญของกลุ่มนี้ คือ คาร์บอนกัมมันต์ซึ่งเป็นคาร์บอนรูปหนึ่ง จากการศึกษา X-ray diffraction แสดงให้เห็นว่า คาร์บอนกัมมันต์มีคุณลักษณะทางความเป็นผลึก (Crystallites) และจากการศึกษาของ Berl [21] พบว่าคาร์บอนกัมมันต์มีการจัดเรียงตัวกันเป็นแผ่นบาง ๆ และอะตอมของคาร์บอนยึดเกาะกันในลักษณะ Hexagonal lattice และอะตอม อื่น ๆ ที่อยู่ข้าง ๆ จะยึดเกาะกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ผลึกจะเกิดจากการที่แผ่นบาง ๆ สองแผ่นหรือมากกว่ามาจับรวมกัน โดยขนาดของผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในช่วงการทำคาร์บอนไนเซชั่น และส่วนประกอบต่าง ๆ รวมทั้งโครงสร้างของวัตถุดิบที่นำมาผลิต

คาร์บอนกัมมันต์ประกอบด้วยอะตอมที่เป็นกลางชนิดเดียวกัน ทำให้ผิวของวัตถุนั้นมีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันกระจายอย่างสม่ำเสมอในระดับของโมเลกุล ผิวดังกล่าวจะจับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วมากกว่าโมเลกุลที่มีขั้ว ดังนั้นคาร์บอนกัมมันต์จึงเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากในการดูดซับพวกสารอินทรีย์ในโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน อะซีโตน และอัลกอฮอลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใกล้จุดเดือดของสารอินทรีย์ ถึงแม้ว่าจะมีไอน้ำอยู่ในกระแสของก๊าซ โมเลกุลของสารอินทรีย์ก็จะถูกดูดซับได้ดีกว่า เพราะว่าขั้วของโมเลกุลน้ำมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกันมากกว่าผิวของคาร์บอนซึ่งไม่มีประจุ ด้วยเหตุนี้โมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดใหญ่จึงพร้อมที่จะถูกดูดซับได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง โมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอนินทรีย์ โมเลกุลขนาดเล็กของสารอนินทรีย์ และก๊าซจะถูกดูดซับได้ยากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตัวดูดซับแบบมีขั้ว

ตัวดูดซับที่มีขั้ว ได้แก่ พวกออกไซด์ เช่น ออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของโลหะ วัสดุจำพวกซิลิกา ได้แก่ ซิลิกาเจล ฟูลเลอร์เอิร์ธ (Fuller's earth) ไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ (Diatomaceous earth) เช่น Kieselguhr และสารสังเคราะห์ซีโอไลต์ (Zeolites) จะมีความเกี่ยวข้องกับโมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้ว และชอบที่จะดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ออกไซด์ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของอะลูมิเนียม ซึ่งอยู่ในรูปของ Activated alumina หรือ Activated bauxite จะมีแรงดึงดูดพวกโมเลกุลอินทรีย์สังเคราะห์ สารพวกโซเดียมหรือแคลเซียมอะลูมิโนซิลิกา หรือที่เรียกว่า Molecular sieves จะมีแรงดึงดูดน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว ข้อได้เปรียบของสาร Molecular sieves คือ สามารถนำไปใช้ในกระบวนการดูดน้ำที่อุณหภูมิสูงได้ ในขณะที่ซิลิกาเจลและอะลูมินาจะสูญเสียประสิทธิภาพของการดูดซับที่อุณหภูมิสูง

3.3.3 ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี

การที่ผิวของตัวดูดซับสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซได้ และสามารถเปลี่ยนโมเลกุลของก๊าซได้ก่อนที่จะถูกปล่อยออกไปนั้นทำให้ขอบเขตของปฏิกิริยาที่ผิวและการเร่งปฏิกิริยานั้นกว้างมากขึ้น ตัวอย่างการดูดซับโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีได้แก่ การดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยตัวดูดซับใน Fixed bed reactor, Fluidzed bed reactor และ Entrianed bed reactor โดยทั่วไปกระบวนการเหล่านี้จะใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกเป็นตัวดูดซับ เช่น Dolomite ซึ่งสามารถทิ้งได้พร้อมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลังจากขบวนการดูดซับเสร็จสิ้น หรืออาจใช้ตัวดูดซับที่แพงขึ้นโดยจะมีการแยกซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไป แล้วนำตัวดูดซับกลับมาใหม่ ตัวดูดซับที่สำคัญที่ได้มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการและในระดับโรงงานทดลอง ได้แก่ Dolomite, Alkalized alumina, Activated manganese oxide, Activated carbon และ Activated silica gel

3.4 สมดุลของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ (Equilibrium adsorption and Adsorption isotherm) [6]

การดูดซับ คือสภาพที่ตัวถูกละลาย (ตัวถูกดูดซับ) เคลื่อนที่ออกจากสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของของแข็ง (ตัวดูดซับ) และเพิ่มความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งจนคงที่ ในเวลานั้นจะเป็นสภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง โดยกำหนดให้การดูดซับตัวถูกดูดซับเป็นร้อยละของน้ำหนัก หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักหรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับ 1 หน่วยน้ำหนักที่ 0°ซ ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงได้ด้วยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้น หรือปริมาณ หรือปริมาตรของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้เทียบกับความดันย่อย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับนั้นในวัฏภาคของก๊าซที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) โดยทั่วไปจำนวนของสารที่ ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารที่ดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น แต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง รูปแบบของ มี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

จากรูป Type I Isotherm (รูปที่ 3.3 a) พบมากที่สุดเป็นการดูดซับโดยที่มีชั้นของตัวดูดซับคลุมบนผิวของตัวดูดซับได้หนาเพียงหนึ่งโมเลกุล (Single layer adsorption) พบทั้งในการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ จะเป็นปรากฏการณ์การดูดซับของ Microporous powders ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative pressure) ต่ำ ๆ และที่ความดันสัมพัทธ์สูง ๆ เข้าใกล้ 1 จะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้ามีการดูดซับแบบนี้แสดงว่า ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนเป็น Microporous และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์

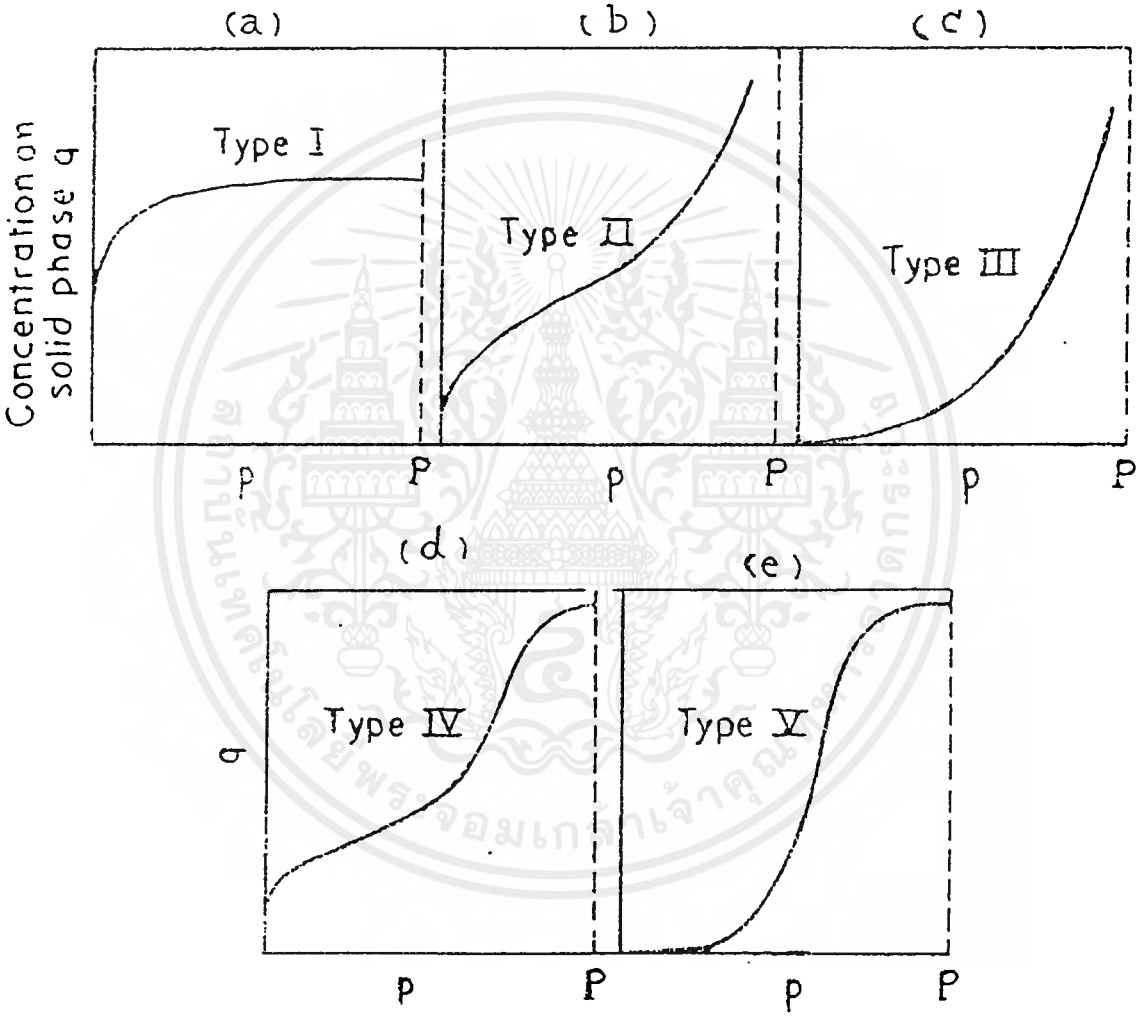
Type II Isotherm (รูปที่ 3.3 b) พบมากในปรากฏการณ์การดูดซับที่มีชั้นของตัวถูกดูดซับคลุมผิวของตัวดูดซับหนาขึ้นเรื่อย ๆ (ปริมาณที่ถูกดูดซับเข้าสู่ค่าอินฟินิต) โดยจะเกิดบน Nonporous powder ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 1.5 นาโนเมตร กว้างกว่ารูพรุนของ Microporous (1.5 nm.) ที่จุดเปลี่ยนกราฟ (Inflection point or Knee of isotherm) เกิดขึ้นเมื่อการดูดซับบนพื้นผิวชั้นแรกเกิดเกือบสมบูรณ์แล้ว นั่นคือเป็น Monolayer เกือบสมบูรณ์ และถ้าเพิ่ม Relative Pressure จะทำให้การดูดซับเกิดมากกว่า 1 ชั้น ดังนั้นการดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer)

Type III Isotherm (รูปที่ 3.3 c) การดูดซับคล้าย Type II แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่น เป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (Heat of adsorption) มีค่าน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับแล้วกลายเป็นของเหลว (The adsorbate heat of liquefaction) ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้น เกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวดูดซับ

Type IV Isotherm (รูปที่ 3.3 d) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับมีรัศมีรูพรุนประมาณ 15-1000 °A การดูดซับคล้าย Type II สำหรับความหนาของชั้นโมเลกุลชั้นแรก ๆ แต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนแคปิลลารีภายในตัวดูดซับเต็มหมดแล้วความชันที่เพิ่มเมื่อความดันสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนได้มากขึ้น ปรากฏการณ์ที่มีจุดเปลี่ยนกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Isotherm Type II คือเกือบเป็นการดูดซับชั้นเดียวสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type V Isotherm (รูปที่ 3.3 e) การดูดซับคล้าย Type III ในช่วงความเข้มข้นต่ำแต่เมื่อการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะเข้าสู่ค่าสูงสุดค่าหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลจากแรงดึงดูดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับมีค่าน้อย ๆ โดยขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 15-1000°A



รูปที่ 3.3 รูปแบบ Adsorption Isotherm : Weight adsorbed [26]

p = ความดันของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

P = ความดันของตัวถูกดูดซับที่อิ่มตัว

p/P = ความดันสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับ

สมการที่นิยมใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับได้แก่

-Langmuir equation ใช้สำหรับการดูดซับแบบพื้นผิวชั้นเดียว (Single layer adsorption)

$$q = (q_m K_A C)/(1+K_A C) \quad \text{---------- (3.1)}$$

$$C/q = (1/K_A q_m)+(C/q_m) \quad \text{---------- (3.2)}$$

$$1/q = (1/q_m)+(1/K_A q_m)(1/C) \quad \text{---------- (3.3)}$$

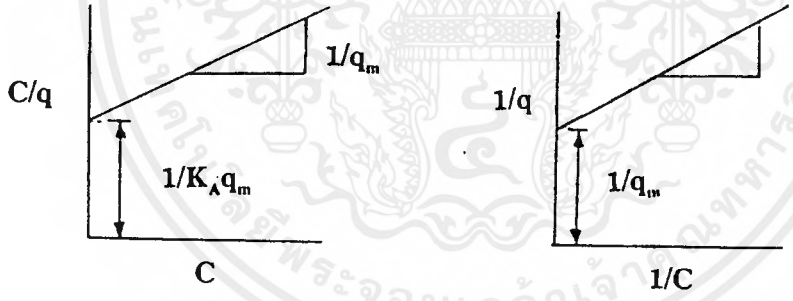
โดย q = มวลของตัวถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ

C = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย, (มวล/ปริมาตร)

q_m = มวลของตัวถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์

K_A = ค่าคงที่

นำสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ไปเขียนกราฟ ดังรูปที่ 3.4 ซึ่ง K_A และ q_m สามารถหาได้จากความชัน และ intercept



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของ Langmuir adsorption isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง

-BET equation (Brunner, Emmette, Teller) ใช้สำหรับการดูดซับที่เกิดขึ้นหลายชั้น (Multilayer adsorption) บนผิวของตัวดูดซับ

$$q_e = ZC_eQ^0/(C_s-C_e) \times [1+(Z-1) \times (C_e-C_s)] \quad \text{---------- (3.4)}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อิ่มตัว (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_e = ความเข้มข้นที่วัดได้ที่สภาวะสมดุล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

Z = ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

q_e = จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่ความเข้มข้นสมดุล (โมล/กิโลกรัม)

Q° = จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ

-Freundlich equation ใช้กับกรณีการถ่ายเทพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว

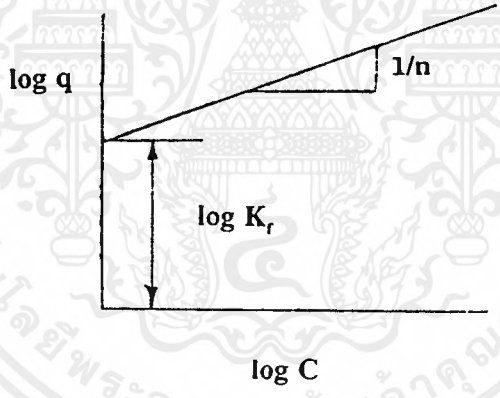
$$q_e = K_f C_e^{1/n} \qquad \text{---------- (3.5)}$$

หรือ

$$\log q_e = \log K_f + [\,(1/n)\log C_e\,] \qquad \text{---------- (3.6)}$$

เมื่อ K_f และ $1/n$ เป็นตัวคงที่

นำ $\log q_e$ และ $\log C_e$ ไปเขียนกราฟธรรมดาจะได้ดังรูปที่ 3.5 มีความชัน $1/n$



รูปที่ 3.5 กราฟหาค่าคงที่ K_f และ n ของ Freundlich equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของการดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าว การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแบบประมาณ [5]

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลามะพร้าวด้วยการวิเคราะห์แบบประมาณ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว

4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. ครูซิเบิลพอร์ซเลน (Porcelain crucible)
2. จานแก้วทดลอง
3. ปากคีบ
4. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ $\pm$ 0.0001 กรัม
5. โถดูดความชื้น
6. เตาอบ
7. เตาเผาไฟฟ้า

4.1.2 วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างกะลามะพร้าวมาวิเคราะห์ดังนี้

4.1.2.1 การวิเคราะห์หาความชื้น

เป็นการหาปริมาณความชื้นที่สมดุลกับความชื้นในอากาศ

1. นำตัวอย่างของกะลามะพร้าวใส่ถาดทิ้งไว้ในอากาศ 1 วัน
2. นำครูซิเบิลพร้อมฝาปิดที่ล้างสะอาดแล้วมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 15-30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำกะลามะพร้าวที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นร้อยละจากสูตร

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

เมื่อ A = น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังอบไล่ความชื้น (กรัม)

4.1.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย

1. นำตัวอย่างกะลามะพร้าวมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักพร้อมปิดฝา

2. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 950 $\pm$ 20°ซ เป็นเวลา 7 นาที นำออกมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณสารระเหยเป็นร้อยละจากสูตร

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

เมื่อ T = ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป = $[(A-E) / A] \times 100$

D = ร้อยละของความชื้น

A = น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนอบ (กรัม)

E = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังเผา (กรัม)

หรือ

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

เมื่อ B = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังอบไล่ความชื้น (กรัม)

E = น้ำหนักของกะลามะพร้าวหลังจากเผาไล่สารระเหยแล้ว (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

1. นำตัวอย่างกะลามะพร้าวมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนใส่ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

2. นำไปใส่ในเตาเผาไฟฟ้า เปิดฝาแล้วตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 450-500°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. ปิดฝาแล้วตั้งอุณหภูมิของเตาเผาไว้ที่ 700-750°ซ เผาต่อไปอีก 3 ชั่วโมง รวมเวลาที่ใช้เผาทั้งหมด 4 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4. ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณเถ้าเป็นร้อยละจากสูตร

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

เมื่อ F = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิดรวมกับเถ้าที่เหลือ (กรัม)

G = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาปิดก่อนใส่ตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนักของกะลามะพร้าวก่อนอบ (กรัม)

4.1.2.4 การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนคงตัว

การหาค่าร้อยละของคาร์บอนคงตัวหาได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\%\text{ความชื้น} + \%\text{สารระเหย} + \%\text{เถ้า}) \quad \text{---------- (4.5)}$$

ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบประมาณแสดงในภาคผนวก ก

4.2 การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ [6, 24]

ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์นี้ ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ อัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น เป็นต้น

4.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. ภาชนะสำหรับเผา (ทำจากเหล็กสแตนเลส)
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก
3. เครื่องกรองสุญญากาศ
4. เครื่องคัดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โถดูดความชื้น

6. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความแม่นยำ $\pm$ 0.0001 กรัม

7. เตาอบ

8. เตาเผาไฟฟ้า

4.2.2 วิธีการทดลอง

4.2.2.1 การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

1. นำกะลามะพร้าวซึ่งแห้งแล้วมาบดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ มีขนาดโดยเฉลี่ย 1 x 1 ตร.ซม. อบกะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 110°ซ จนน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งน้ำหนัก 100 กรัม

2. นำกะลามะพร้าวผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1 คลุกเคล้าให้เข้ากันในบีกเกอร์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 130°ซ จนส่วนผสมแห้ง

3. นำส่วนผสมที่แห้งในข้อ 2 บรรจุลงในภาชนะสำหรับเผา ปิดฝา นำไปเผาที่ 600°ซ เป็นเวลา 30 นาที

4. นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน 1 ครั้งและน้ำประปา 2 ครั้ง (โดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 42 กับอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ)

5. ล้างถ่านด้วยกรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 1 ครั้ง

6. ล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำประปาจนสารละลายเป็นกลาง

7. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 160°ซ ประมาณ 6 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

8. ชั่งน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ และคำนวณปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติ

9. เปลี่ยนเวลาที่ใช้กระตุ้นเป็น 60, 90 และ 120 นาที แล้วดำเนินการตามข้อ 1-8 เพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้กระตุ้น

10. เปลี่ยนอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60% โดยน้ำหนักจาก 1:1 เป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 1-9 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์

11. เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 700 และ 800 °ซ แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 1-10 เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวแทนสารละลายซิงค์คลอไรด์ แล้วทดลองตามข้อ 1-11

13. ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น โดยใช้อัตราส่วนตามข้อ 10 และใช้สารกระตุ้น คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก แล้วทำการทดลองตามข้อ 1-11

14. นำถ่านที่ได้ไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช และนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน และวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

4.2.3 สภาวะที่ทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะที่ทดลอง

ตัวแปรที่ศึกษา	ขอบเขตการศึกษา
อุณหภูมิ (°ซ)	600, 700, 800
เวลา (นาที)	30, 60, 90, 120
อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อกะลามะพร้าว (% โดยน้ำหนัก)	1:1 1:2 1:3 1:4
ชนิดของสารกระตุ้น	-สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก -สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว -สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 โดยน้ำหนัก

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ [3, 15]

การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน และการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

ค่าการดูดซับไอโอดีน คือ ปริมาณไอโอดีนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์แห้ง 1 กรัมโดยความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายเมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการดูดซับมีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.02 นอร์มอล ตามลำดับ

4.3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

1. หลอดหยดสาร
2. กระดาษกรอง เบอร์ 42
3. ขวดสีชา
4. ปิเปตขนาดต่าง ๆ
5. กระบอกตวงขนาด 100, 250 มิลลิลิตร
6. กระจกนาฬิกา
7. บีกเกอร์ ขนาดต่าง ๆ
8. ขวดชั่งสารพร้อมฝาปิด
9. กรวยแก้ว
10. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร 1, 2 ลิตร
11. บิวเรตขนาด 5, 10, 20 มิลลิลิตร
12. ขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
13. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
14. เครื่องกรองสุญญากาศ
15. โถดูดความชื้น
16. เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
17. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก
18. เตาอบ

4.3.1.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก
3. ไอโอดีน (I_2)
4. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

6. โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI)

7. โปตัสเซียมไอโอเดต (KIO_3)

8. แป้งมัน

4.3.1.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับทดลอง [7]

1. สารละลายกรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เติมกรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน เทเก็บใส่ขวดไว้

2. สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.1 $\pm$ 0.001 นอร์มอล

ชั่งไอโอดีน 12.700 กรัม และโปตัสเซียมไอโอไดด์ 19.100 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์กวนให้ละลาย จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นลงไปครั้งละน้อย (ประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อครั้ง) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนปริมาตรทั้งหมดเป็น 50-60 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก กวนสารละลายต่อไปอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายหมด จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทเก็บใส่ขวดสีชา

3. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 $\pm$ 0.001 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.820 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 75 $\pm$ 25 มิลลิลิตร แล้วคนให้ละลาย จากนั้นจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 $\pm$ 0.01 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบมาตรฐาน

4. สารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต 0.100 $\pm$ 0.001 นอร์มอล

อบโปตัสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°ซ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำสารที่อบแห้งแล้ว 3.5667 $\pm$ 0.0001 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตร ผสมให้เข้ากัน เทเก็บใส่ขวดเก็บสารที่มีฝาปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. น้ำแป้ง

ผสม 1.0 ± 0.5 กรัมของแป้งในน้ำเย็น 5-10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 ± 5 พร้อมกับกวนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร พร้อมกับกวนตลอดเวลา ต้มสารละลายต่อไปอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็น เทเก็บใส่สารแช่เย็นไว้ในตู้เย็น สารนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

4.3.1.4 การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย [7]

1. ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต

ปิเปตสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดตในข้อ 4.3.1.3 ข้อ 3 ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปตัสเซียมไอโอไดด์ 2.00 ± 0.01 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย ปิเปตกรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 5.0 มิลลิลิตรเติมลงใน สารละลายข้างต้น ไทเทรตหาไอโอดีนที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจากสูตร

$$N_1 = (P_1 \times R) / S \qquad \text{---------- (4.6)}$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโปตัสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 ควรทำการทดลองใหม่

2. ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตต่อไป จนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_2 = (S \times N_1) / I \qquad \text{----------} (4.7)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นของไอโอดีนโดยเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 นอร์มอล ควรทำการทดลองใหม่ ความเข้มข้นของไอโอดีนจะมีค่า 0.100 $\pm$ 0.001 นอร์มอล ถ้าความเข้มข้นไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวต้องเตรียมไอโอดีนใหม่

4.3.1.5 วิธีการทำกราฟมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

1. ปิเปตสารละลายไอโอดีนในหัวข้อ 4.3.1.4 ข้อ 2 จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจำนวน 4 ขวด

2. ปรับปริมาตรของสารละลายแต่ละขวดให้ได้ 100 มิลลิลิตร

3. ปิเปตสารละลายที่ได้ 20 มิลลิลิตรใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแต่ละขวด ตามที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.3.1.4

4. นำสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย

4.3.1.6 วิธีการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน

1. บดคาร์บอนกัมมันต์ให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช) อย่างน้อยร้อยละ 95 ประมาณ 10 กรัม

2. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 145-155°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ 2 กรัมใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปต สารละลายกรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไป ปิดปากขวดด้วยจุกยาง และเขย่าเบา ๆ จนกระทั่งคาร์บอนกัมมันต์เปียกทั่วหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำขวดชมพู่ไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ในตู้ควัน เปิดจุกยางออก ต้มจนเดือดประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารมลทินทิ้งไป แล้วยกลงตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 15 นาที กรองสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 หรือเทียบเท่าแล้วเทส่วนที่ใสลงในบีกเกอร์

6. ทิ้ง 20-30 มิลลิลิตรของสารที่ใสที่ได้จากการกรอง ส่วนสารละลายที่กรองได้ในช่วงหลัง คนให้เข้ากัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

7. ค่าการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนัมเบอร์) ได้จากสูตร

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

เมื่อ H_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนก่อนการดูดซับ

H_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ

m = น้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์

D_1 = ค่าแก้ไขการดูดซับไอโอดีน (Correction factor) สามารถหาได้จาก ตารางที่ 4.2

4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดแบบประมาณ

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าแก้ไขสำหรับค่าการดูดซับไอโอดีน [15]

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	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9143	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	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น เพื่อหาปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เวลาในการกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น และชนิดของสารกระตุ้น ซึ่งได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็นขั้นตอนต่อไปนี้

5.1 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.1 - 5.12 (ข้อมูลดิบแสดงในภาคผนวก ก.)

5.2 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.13 - 5.24 (ข้อมูลดิบแสดงในภาคผนวก ข.)

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลการทดลอง มีดังนี้

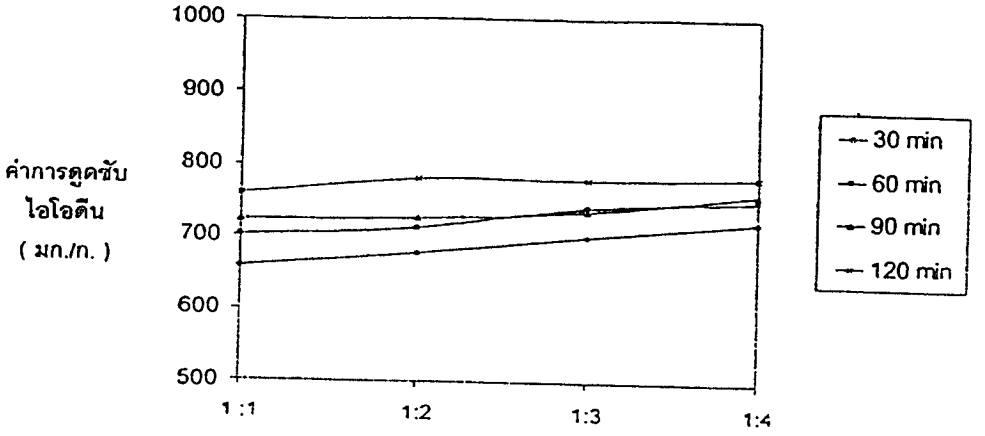
5.3.1 อุณหภูมิในการกระตุ้น

5.3.2 เวลาในการกระตุ้น

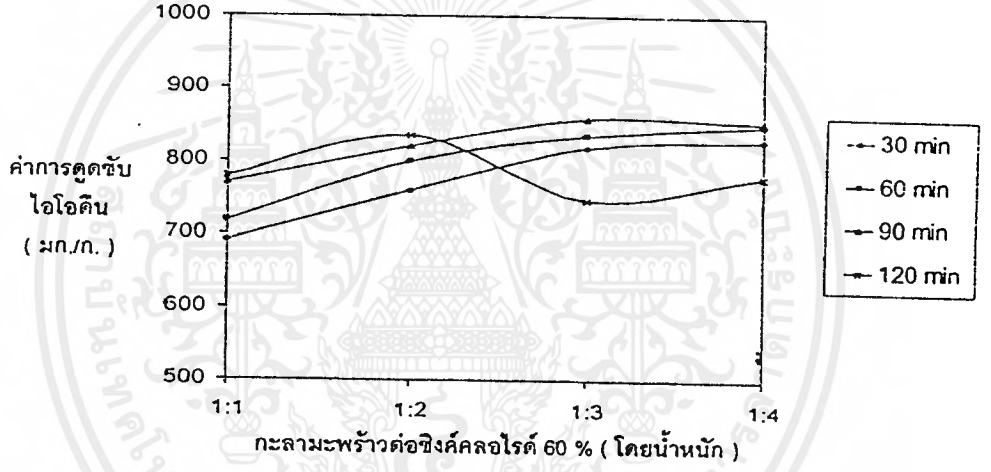
5.3.3 อัตราส่วนของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น

5.3.4 ชนิดของสารกระตุ้น

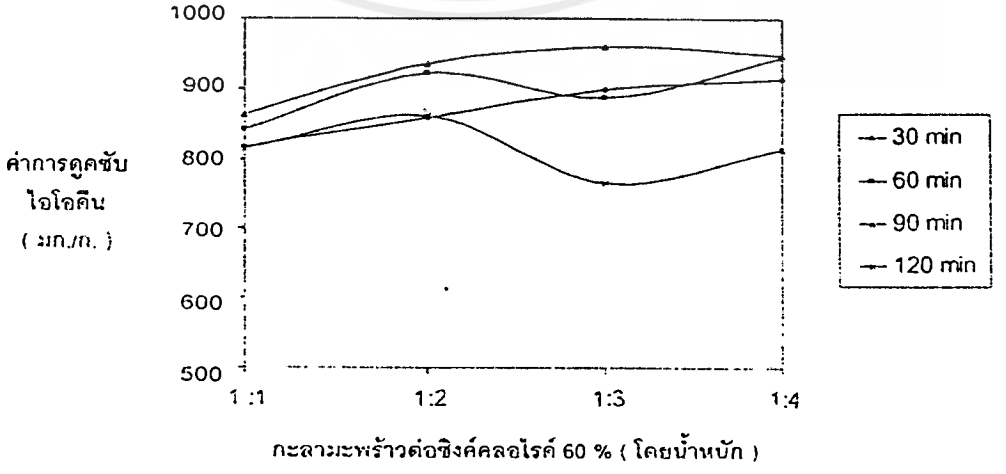
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

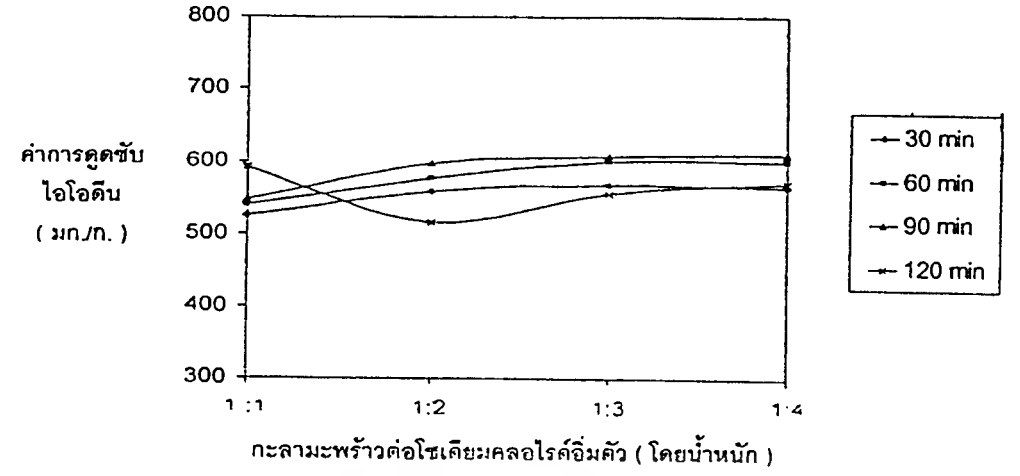


รูปที่ 5.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

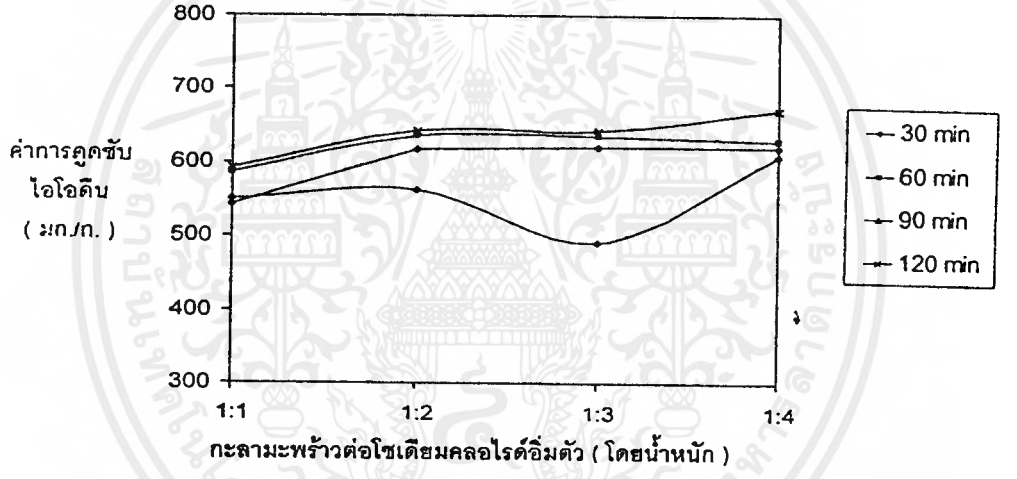


รูปที่ 5.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

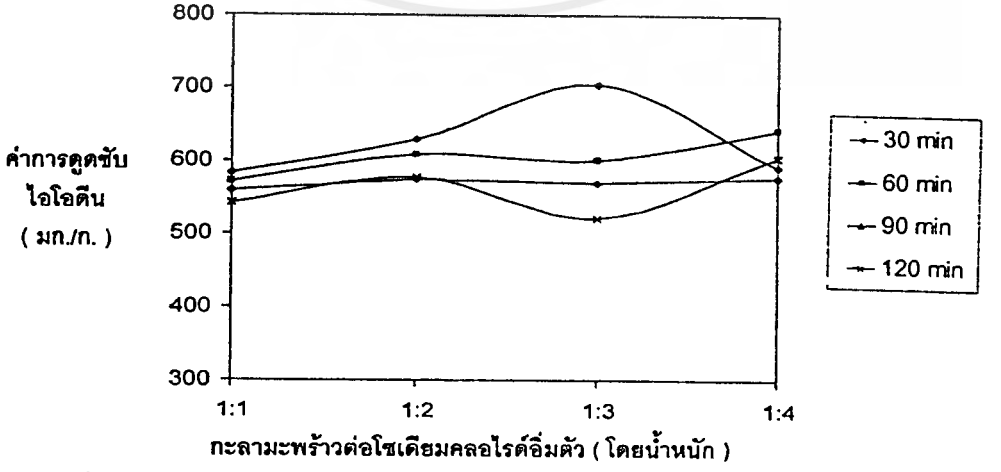
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

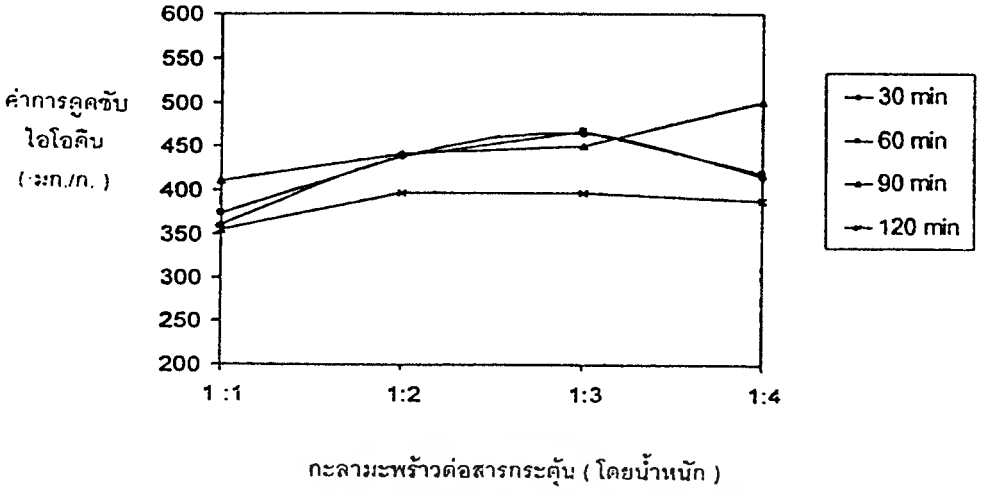


รูปที่ 5.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

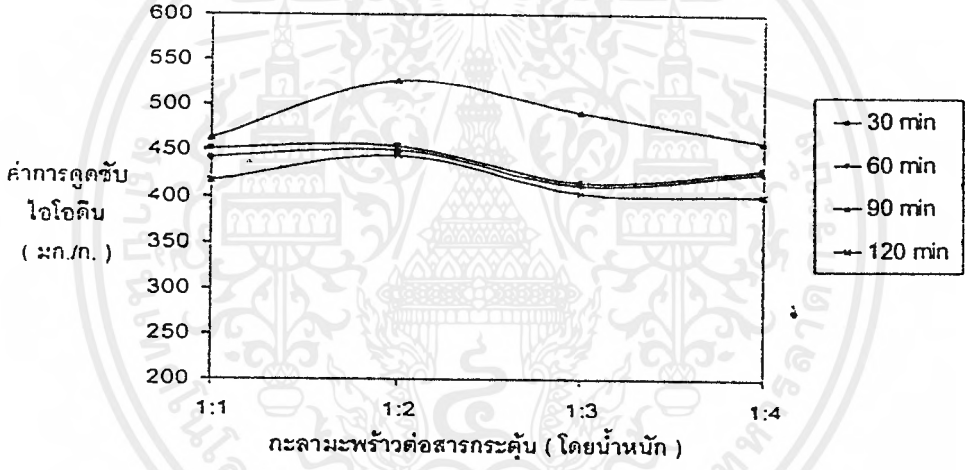


รูปที่ 5.6 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

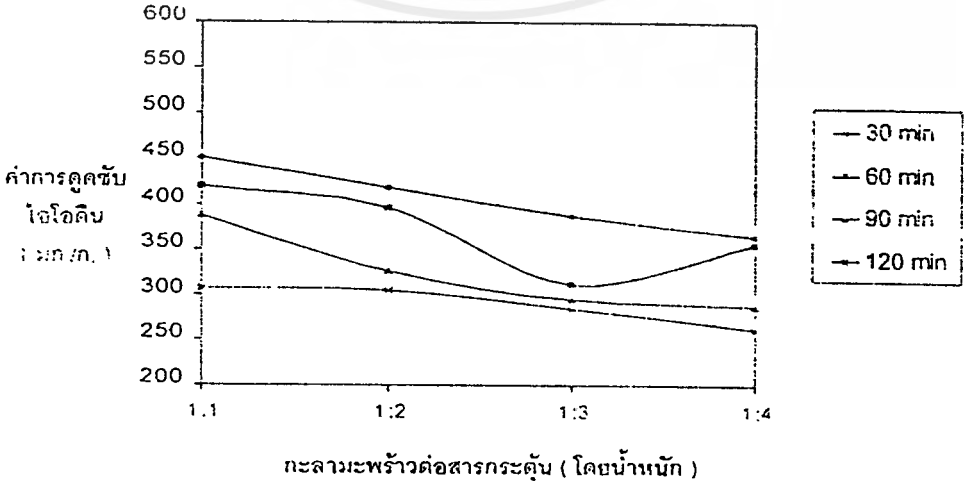
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

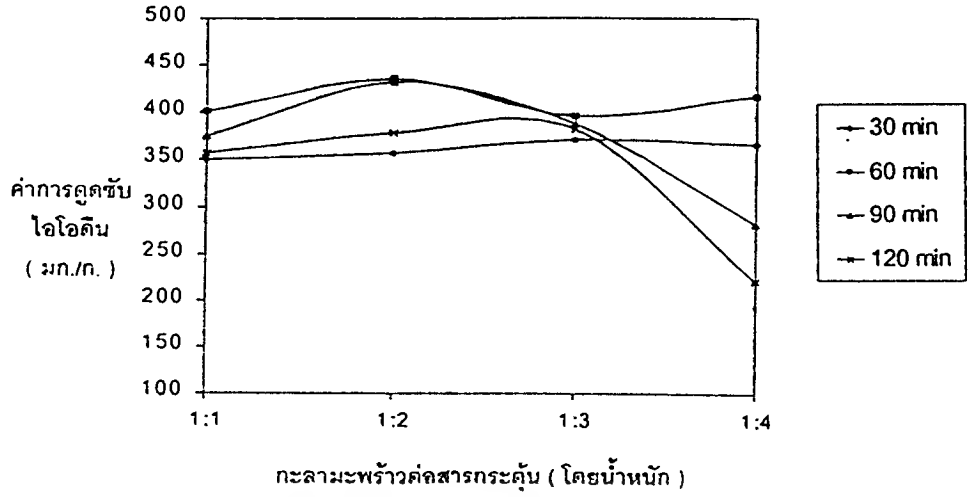


รูปที่ 5.8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

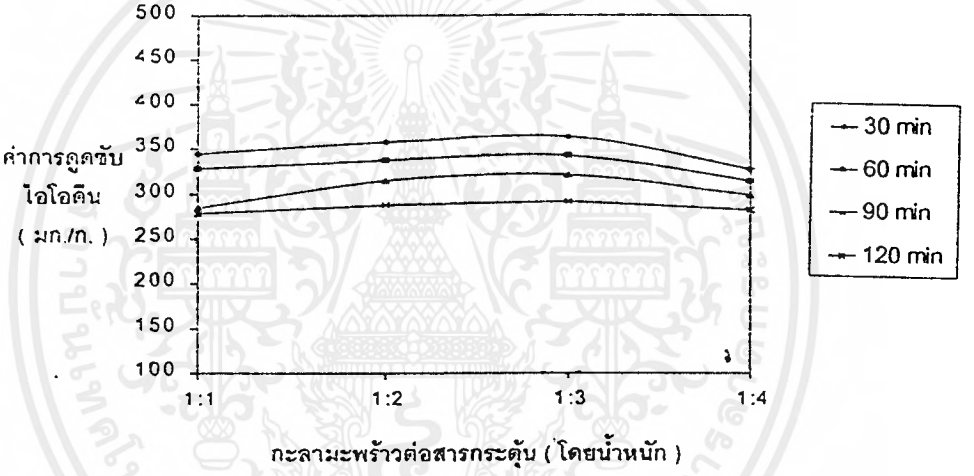


รูปที่ 5.9 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

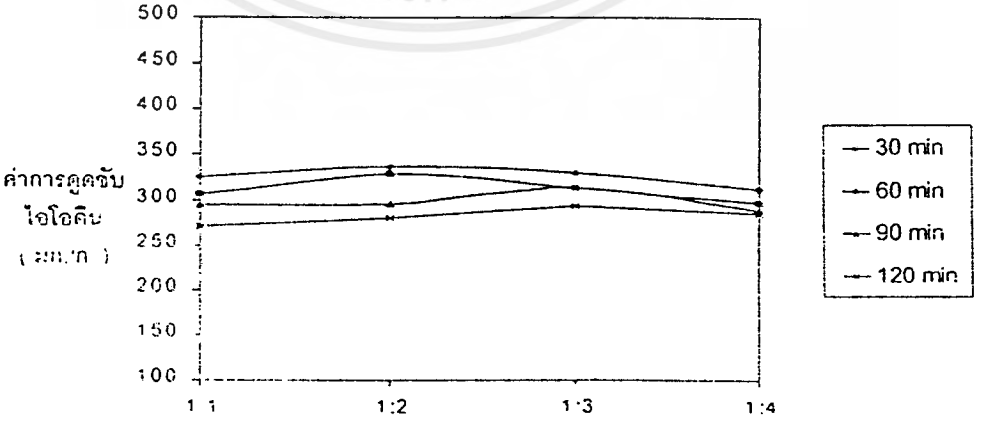
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

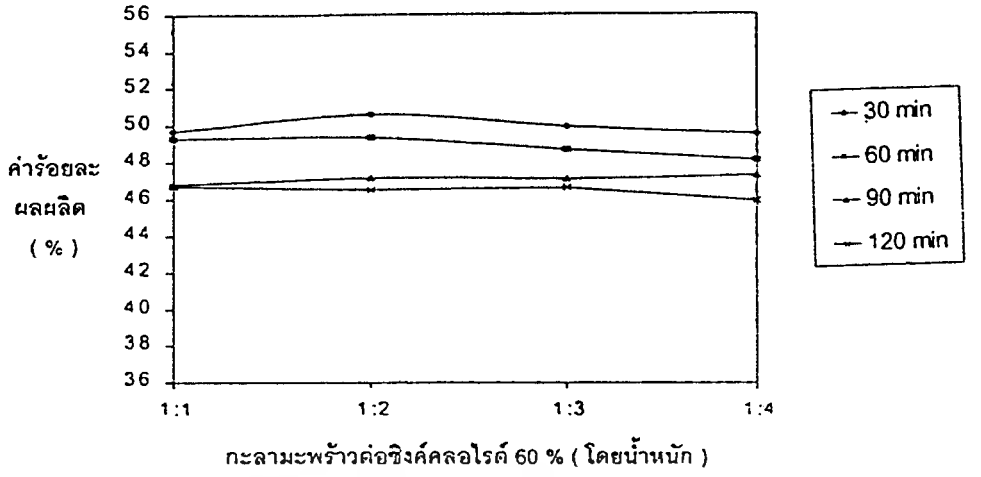


รูปที่ 5.11 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

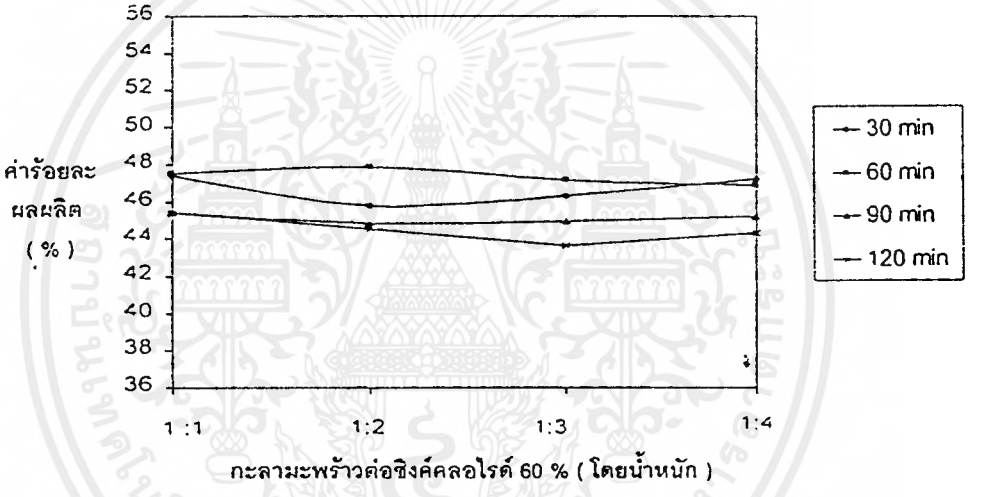


รูปที่ 5.12 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

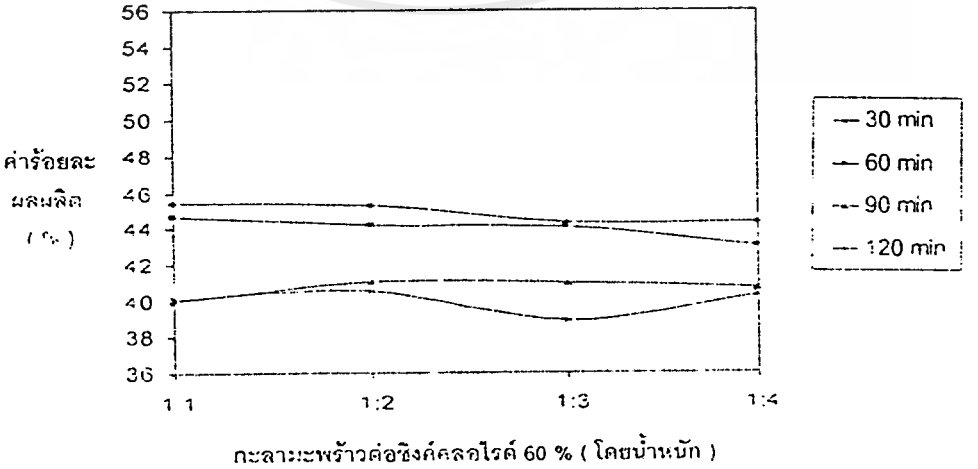
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

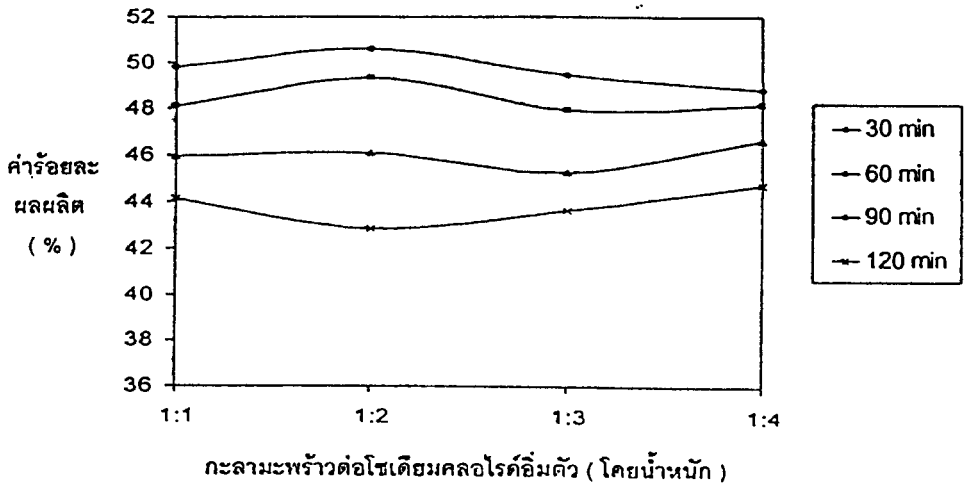


รูปที่ 5.14 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

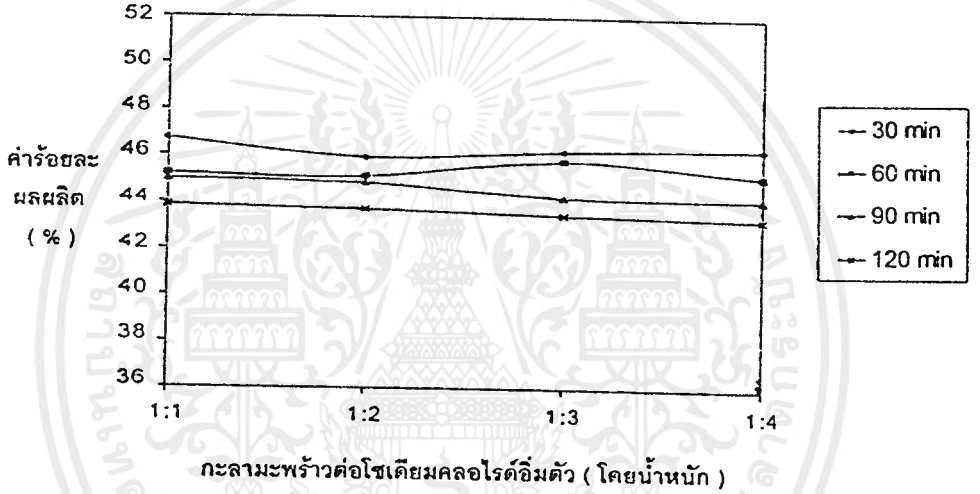


รูปที่ 5.15 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

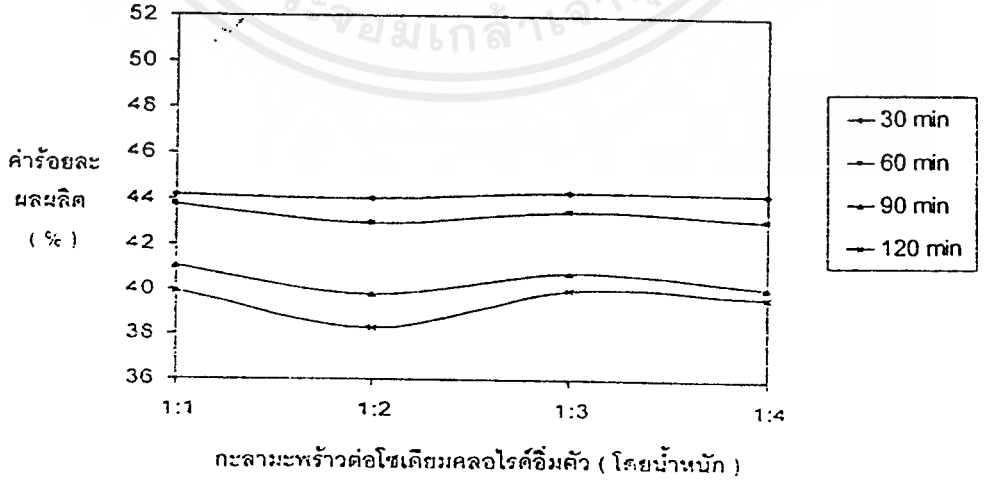
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรดอิ่มตัว โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

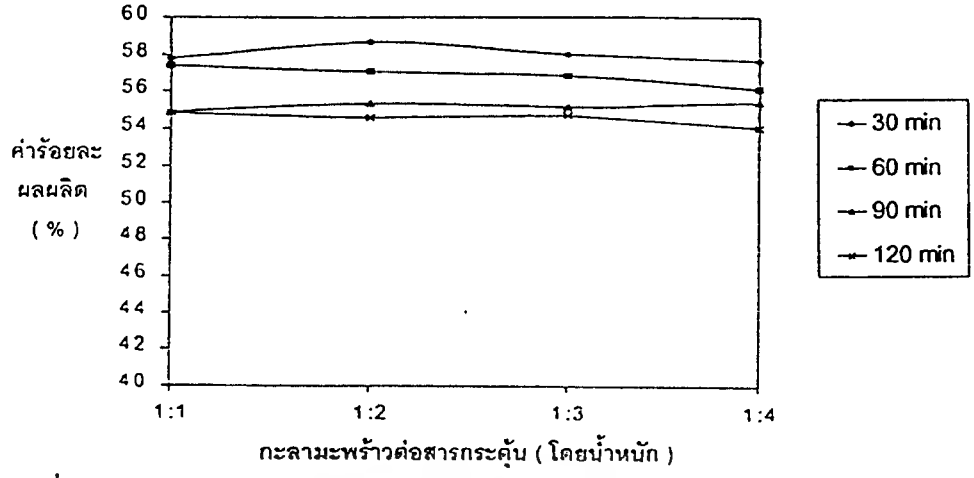


รูปที่ 5.17 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

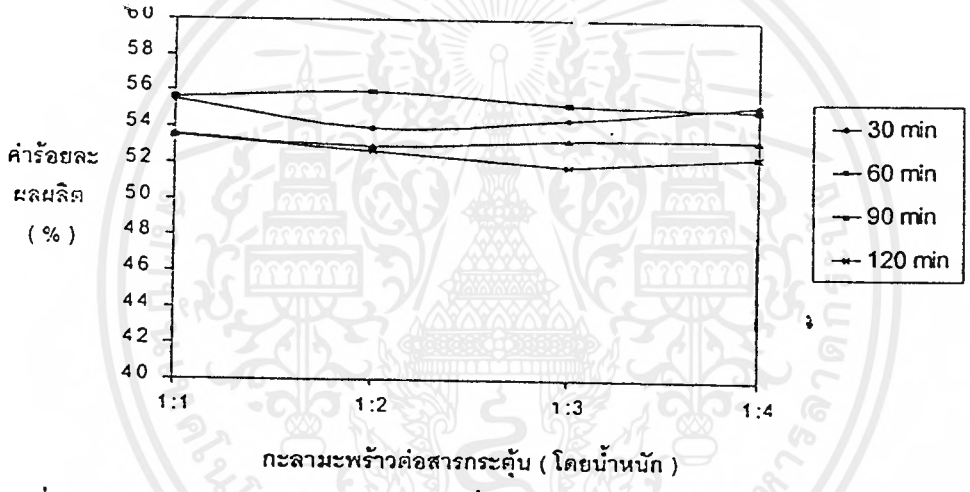


รูปที่ 5.18 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น อุตหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

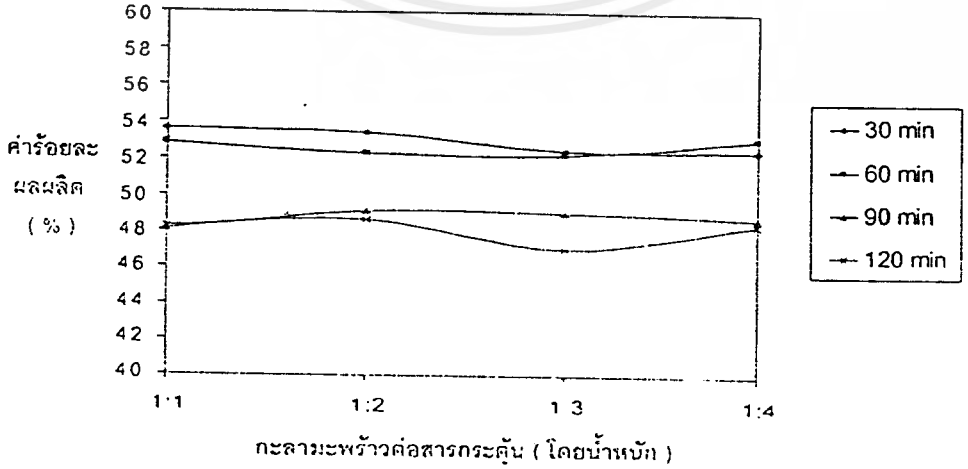
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส

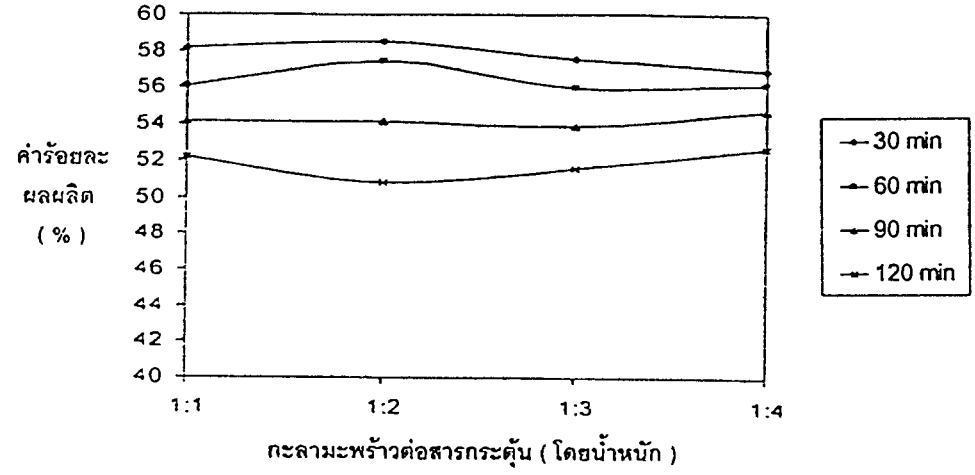


รูปที่ 5.20 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส

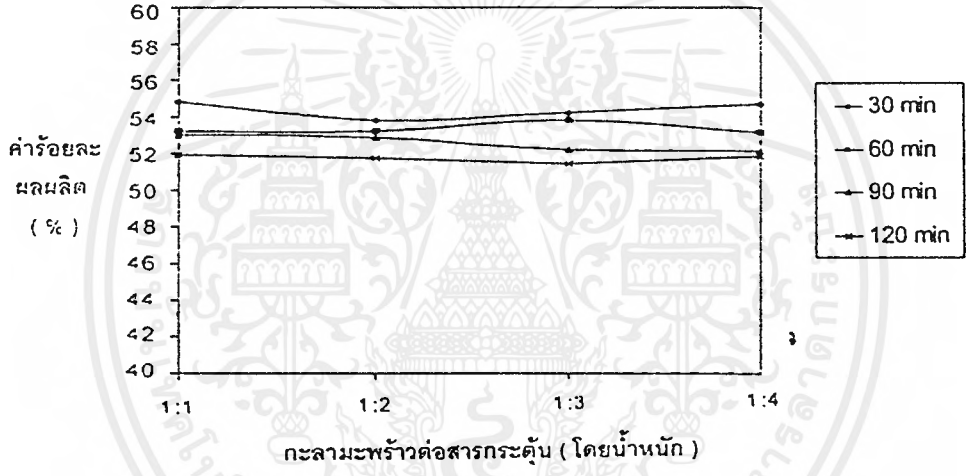


รูปที่ 2.21 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

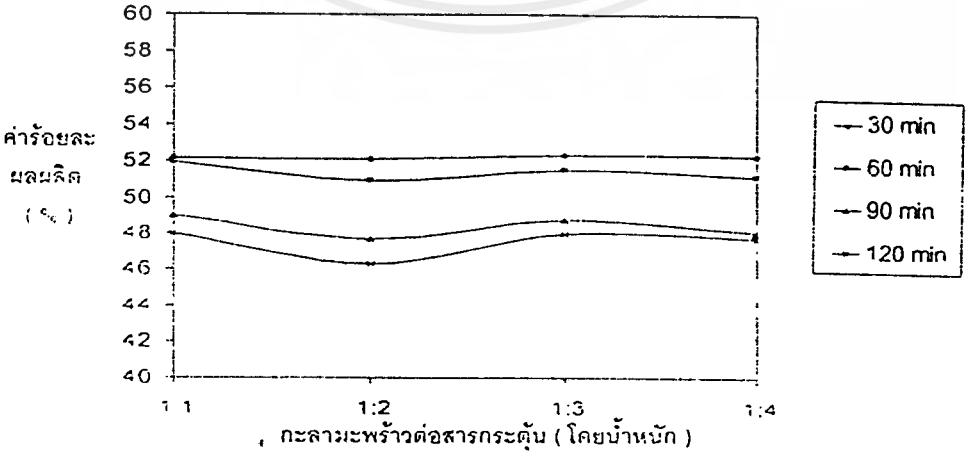
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.23 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.24 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 800 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 อภิปรายผลการทดลอง

5.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.1.1 อุณหภูมิในการกระตุ้น (600-800°ซ)

จากการศึกษาโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นทำให้ได้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น ดังรูปที่ 5.1-5.3 โดยที่อุณหภูมิที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 800°ซ

ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวนั้น พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงขึ้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ ที่อุณหภูมิ 700°ซ และ 800°ซ ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน

เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้นดังรูปที่ 5.7-5.12 นั้น จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ 600°ซ, 700°ซ และที่อุณหภูมิที่ 800°ซ ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าต่ำลง

อุณหภูมิในการกระตุ้นมีความสำคัญอย่างมากในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สารอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอนมีโอกาสถูกไล่ออกไปได้มากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้ดีขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับสารกระตุ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้ค่าคงที่ของปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ จำนวนอะตอมของคาร์บอนมีพลังงานสูงขึ้น เมื่อเกิดการชนกันกับสารกระตุ้นจึงสามารถเอาชนะพลังงานกระตุ้นได้ หรือการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มบริเวณที่จะเกิดปฏิกิริยา (Active sites) มากขึ้นนั่นเอง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงเกิดรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงเกินไป ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมด้วยกลไกของการแพร่ของสารกระตุ้น ซึ่งช่วงนี้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วมากทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ผิว (Surface reaction) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลงได้

สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว มีแนวโน้มเป็นสารกระตุ้นที่ดีที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่ม เป็นสารกระตุ้นที่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.2 ผลของเวลาในการกระตุ้น

การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เป็นสารกระตุ้น (รูปที่ 5.1-5.3) เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นสูง คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด เมื่อเวลาในการกระตุ้นเป็น 90 นาที อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก มีค่า 1:3

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น ผลการทดลองมีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นสูง คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมควรเป็น 90 นาที อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวมีค่า 1:3

สำหรับการใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าแนวโน้มของค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการกระตุ้นมากขึ้น และอุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ (600°ซ) เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็น 1:1 ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมากที่สุดเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมีค่า 1:3 และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 90 นาที แต่เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็น 1:2 ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมากที่สุดเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมีค่า 1:2 และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 60 นาที ที่อุณหภูมิในการกระตุ้นสูง (700°ซ, 800°ซ) ค่าการดูดซับไอโอดีนจะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้น ดังรูปที่ 5.7-5.12

เวลาที่ใช้กระตุ้นเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งในกระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการกระตุ้นเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะทำให้สารประกอบตัวอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอนสลายตัวออกไป หรือเป็นการเพิ่มโอกาสให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและน้ำมันดินที่เหลืออยู่ในคาร์บอนกัมมันต์ได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันดินและโมเลกุลของคาร์บอนบางโมเลกุลถูกกำจัดออกไปทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจึงมีค่าสูงขึ้น การเพิ่มเวลาในการกระตุ้นนานเกินไปอาจทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าต่ำลงได้ เนื่องจากการใช้เวลามากเกินไปอาจทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณของเถ้าในคาร์บอนกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.3 ผลของอัตราส่วนของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น

จากรูปที่ 5.1-5.3 พบว่า เมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น การเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นมีแนวโน้มทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาและอุณหภูมิในการกระตุ้นเดียวกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:2 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงใกล้เคียงกับอัตราส่วน 1:3 และ1:4 แต่สูงกว่า 1:1 มาก

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นก็ได้ผลในทำนองเดียวกันกับเมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.4-5.6

เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิในกระตุ้นต่ำ (600^{o}ซ) การเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นจะทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูง (700^{o}ซ และ 800^{o}ซ) เมื่อเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นจะทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.7-5.12

การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักมากขึ้น จะทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่ามากขึ้น โดยจะเห็นได้จากความชันของกราฟในช่วงที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก 1:1 และ 1:2 หลังจากนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าตอนแรกมากจนเกือบคงที่ แสดงว่าการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลาย ซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็น 1:2 ก็เพียงพอที่จะทำให้ซิงค์คลอไรด์แทรกเข้าไปในเนื้อคาร์บอนได้เต็มที่ การเพิ่มปริมาณซิงค์คลอไรด์ในปริมาณที่มากกว่า 1:2 จึงไม่ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้นมากนัก เส้นกราฟที่ได้จึงมีลักษณะคงตัว

สำหรับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวมากขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว 1:1 และ 1:2 แต่ช้ากว่าในกรณีของสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก แต่เพิ่มในอัตราที่น้อยมาก ค่าการดูดซับไอโอดีนกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงและคงตัวที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 เช่นเดียวกันกับกรณีของของสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.4 ผลของชนิดของสารกระตุ้น

จากการศึกษาพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง

ซิงค์คลอไรด์มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าโซเดียมคลอไรด์คือมีจุดหลอมเหลวต่ำเพียง 275°ซ เนื่องจากคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ในวัตถุดิบที่ถูกแทนที่โดยสารกระตุ้น ดังนั้นเหตุผลข้อหนึ่งที่อาจเป็นไปได้ที่ทำให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นก็คือ ขณะที่ให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนเกิดการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุออกไปในรูปของก๊าซและของเหลว ซิงค์คลอไรด์ที่เติมลงไปก็จะเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ (400-600°ซ) ซึ่งเป็นช่วงที่สารอินทรีย์ที่ระเหยได้สูญเสียอย่างรวดเร็ว ซิงค์คลอไรด์ที่อยู่ในสภาวะของเหลวจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนที่ถูกเปิดขึ้นจากการระเหยของสารระเหยได้ดีกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในสภาวะของแข็ง ในขณะที่ให้ความร้อนเมื่อให้ความร้อนจนกระทั่งเกิดการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุทำให้การหดตัวของคาร์บอนกัมมันต์ที่ซิงค์คลอไรด์แทรกอยู่ถูกจำกัดมากกว่า เมื่อล้างซิงค์คลอไรด์ออกทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ในกรณีของโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 808°ซ แม้ว่าโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลวสามารถจะแพร่เข้าไปในเนื้อคาร์บอนได้ แต่ในช่วงอุณหภูมินี้เป็นช่วงที่สารที่ระเหยได้ส่วนใหญ่ได้ถูกไล่ออกไปเพราะเป็นช่วงอุณหภูมิสูงที่เกิดการเผาไหม้แล้ว ซึ่งยังคงมีสารระเหยส่วนน้อยที่เหลืออยู่ภายในคาร์บอน และเนื่องจากการเกิดรูพรุนในคาร์บอนกัมมันต์เกิดจากความสามารถของเกลืออนินทรีย์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วแทรกเข้าไปในเนื้อคาร์บอน โดยไปแทนที่บริเวณที่สารระเหยได้เคยอยู่ ทำให้การหดตัวของคาร์บอนเกิดขึ้นจำกัดเมื่อได้รับความร้อนดัง และเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของโซเดียมคลอไรด์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้การแพร่ของโซเดียมคลอไรด์ในการเข้าไปแทนที่สารระเหยได้ในคาร์บอน เกิดขึ้นได้น้อยกว่าการแพร่ของซิงค์คลอไรด์ ทำให้ซิงค์คลอไรด์จึงเป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมคลอไรด์ ส่วนการใช้ซิงค์คลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นร่วมกันนั้น พบว่าคาร์บอนกัมมันต์จะให้ค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำกว่าการใช้สารเคมีตัวเดียวในการกระตุ้นมาก ทั้งนี้เหตุผลที่อาจจะเป็นไปได้ คือ เกิดการกีดกันในการแทรกซึมเข้าไปตามรูพรุนที่ถูกเปิด จากการระเหยของโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์ซึ่งสารทั้งสองมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันดังที่ได้อธิบายข้างต้น คือในขณะที่ซิงค์คลอไรด์ในสถานะของเหลวแทรกซึมเข้าไปในรูพรุน นั้นโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าซิงค์คลอไรด์ยังไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนได้ ในขณะเดียวกันยังอาจเป็นตัวกีดกันความสามารถในการแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของซิงค์คลอไรด์อีกด้วย

Whistler และ Teng [7] ได้ให้เหตุผลในกรณีที่ใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นแล้วสามารถทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดกลืนและสีสูงกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากซิงค์คลอไรด์ทำให้การพองตัวของเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของไม้และวัสดุอื่น ๆ มีค่าสูงกว่าเกลือชนิดอื่น ๆ ซิงค์คลอไรด์จึงสามารถแทรกเข้าไปในเซลลูโลสของไม้หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบได้ดีกว่าเกลือชนิดอื่น เมื่อวัตถุดิบถูกเผาไหม้เป็นคาร์บอน ซิงค์คลอไรด์ยังคงกระจายอยู่ทั่วไปในคาร์บอนได้มากและค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าเกลืออื่น ๆ เมื่อสกัดเอาซิงค์คลอไรด์ออกจึงเกิดรูพรุนขึ้นในคาร์บอนกัมมันต์สูง

5.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้น

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณร้อยละผลผลิตจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณสารอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอนมีโอกาสถูกไล่ออกไปได้มากขึ้นตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปจะทำให้ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับสารกระตุ้นเกิดได้ดีขึ้นทำให้ เกิดการสูญเสียคาร์บอนอีกทางหนึ่งจึงเหลือคาร์บอนกัมมันต์น้อยลง

5.4.2.2 ผลของเวลาในการกระตุ้น

พบว่าไม่ว่าจะใช้สารเคมีตัวใดเป็นสารกระตุ้นมีผลในทำนองเดียวกันคือ ปริมาณร้อยละผลผลิตจะลดลงตามระยะเวลาในการกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่นำกะลามะพร้าวมาเผาที่อุณหภูมิสูง สารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หรือระเหยสูญหายไป น้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่เหลือจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในช่วงแรก ๆ น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเผานานช่วงเวลาหนึ่งน้ำหนักของคาร์บอนลดลงในอัตราที่ช้ามากจนเกือบคงที่

จากผลการทดลองตามรูป 5.13-5.24 เมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้นจาก 30-120 นาที สารที่ระเหยได้ที่ยังหลงเหลืออยู่บางส่วนซึ่งเป็นส่วนน้อย (โดยส่วนใหญ่ได้ถูกไล่ออกไปแล้วก่อนหน้านี้) จึงมีโอกาสระเหยออกไปได้ ทำให้ร้อยละของผลผลิตมีค่าลดลงน้อยมากจนเกือบ คงที่ ส่วนที่อุณหภูมิสูงการใช้เวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนในคาร์บอนกัมมันต์ออกไปในรูปของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้ร้อยละของผลผลิตมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.3 ผลของปริมาณสารกระตุ้น

จากการศึกษาเมื่อใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักต่อกะลามะพร้าว คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีแนวโน้มให้ค่าร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.13-5.15

การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอรไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ มีแนวโน้มของปริมาณร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นน้อยมาก เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวต่อกะลามะพร้าวเช่นเดียวกับกรณีของสารละลายซิงค์คลอไรด์ ดังรูปที่ 5.16-5.18 และรูปที่ 5.19-5.24 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นมากขึ้นในช่วง 1:1และ1:2 ปริมาณร้อยละผลผลิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วการที่เติมสารกระตุ้นลงไปมากขึ้นแล้วมีผลทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลผลิตมากขึ้นนี้ อธิบายได้ว่าอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะเกิดกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันดินเกิดขึ้นน้อยลง ซิงค์คลอไรด์จะทำให้ไฮโดรเจน และออกซิเจนอะตอมในวัตถุดิบถูกไล่ออกในรูปของน้ำมากกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หรือสารอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เพราะซิงค์คลอไรด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) และปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (Condensation) และซิงค์คลอไรด์ทำให้การแตกสลาย (Cracking) ของวัตถุดิบเกิดที่อุณหภูมิต่ำลง จึงเหลือร้อยละของผลผลิตมากกว่ากรณีที่เติมซิงค์คลอไรด์ในปริมาณที่น้อยกว่าเป็นสารกระตุ้น ส่วนการใช้โซเดียมคลอไรด์คาดว่าทำให้เกิดผลในทำนองเดียวกันกับการใช้ซิงค์คลอไรด์ ส่วนในกรณีของการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นนั้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ในลักษณะเดียวกับการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น และการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้น มากกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น ทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น

การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นร่วมกันมีผลทำให้ได้ปริมาณร้อยละผลผลิตมากกว่าการใช้สารกระตุ้นเพียงตัวเดียว ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากซิงค์คลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์มีส่วนดีในการทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างต้นเสริมกันทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นมีผลทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า การเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นทุกชนิด มีแนวโน้มทำให้ค่าร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารกระตุ้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นเกือบไม่มีผลต่อค่าร้อยละผลิตของคาร์บอนกัมมันต์

5.4.2.4 ผลของชนิดของสารกระตุ้น

จากการศึกษาพบว่า สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวจะให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงกว่า การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เป็นสารกระตุ้นเพียงชนิดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการใช้สารกระตุ้น 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เวลาในการกระตุ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1 สำหรับสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว มีแนวโน้มว่าอุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 800°ซ จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าที่ 600°ซ และ 700°ซ แต่ให้ค่าร้อยละผลผลิตลดลงไม่ต่ำกว่ากรณีที่อุณหภูมิในการกระตุ้นเป็น 600°ซ และ 700°ซ นัก

6.1.2 สารละลายผสมโดยน้ำหนักระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 และ 1:2 อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600°ซ จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าที่อุณหภูมิ 700°ซ และ 800°ซ แต่ให้ค่าร้อยละผลผลิตลดลงไม่มากนัก

6.1.3 เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมที่ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนและค่าร้อยละผลผลิตสูง เป็นดังนี้

-สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก คือ 60 นาที

-สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว คือ 90 นาที

-สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 คือ 60 นาที

-สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:2 คือ 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ในการทดลองนี้ คือ

สารกระตุ้น	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	กะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มก./ก)	ร้อยละผลผลิต
$ZnCl_2$	800	60	1:2	922	44.18
NaCl	800	90	1:3	705	44.23
$ZnCl_2$: NaCl (1:1)	600	90	1:3	540	55.10
$ZnCl_2$: NaCl (1:2)	600	60	1:2	436	57.33

6.1.4 เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นนั้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิในกระตุ้นต่ำ (600°ซ) การเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นจะทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูง (700°ซ และ 800°ซ) เมื่อเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นจะทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่ดีและมีราคาถูกแต่เป็นสารกัดกร่อนที่รุนแรง ดังนั้นหากมีการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมควรมีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้เหมาะสม

6.2.2 โซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่ดีและมีราคาถูกกว่าซิงค์คลอไรด์ถึง 11 เท่า ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

6.2.3 การใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักและสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นตัวกระตุ้น ทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีค่าร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้นเพียงอย่างเดียว โดยที่ค่าการดูดซับไอโอดีนยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และการใช้สารละลายผสมจะลดค่าใช้จ่ายลง เพราะโซเดียมคลอไรด์มีราคาต่ำกว่าซิงค์คลอไรด์

6.2.4 จากงานวิจัยควรนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดในแต่ละสารกระตุ้นไปตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) และหาค่าพื้นที่ผิว และปริมาตร รูพรุนด้วยวิธีการของ Branner-Emmett-Teller (BET) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5 มีความเป็นไปได้ที่จะใช้สภาวะในการทดลองในงานวิจัยนี้ เพื่อผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนเหมาะสม โดยให้ค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 600 มิลลิกรัมไอโอดีน/กรัมคาร์บอนกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. วิทยา เพียรวิจิตร, เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ 2525 : หน้า 2.
2. กรมศุลกากร, สถิติการนำเข้าและส่งออก, รายงานประจำปี พ.ศ. 2534-2537.
3. สมศักดิ์ ดำรงเลิศ และคณะ, การทำ Activated carbon จากกะลามะพร้าว : ภาค 2, วารสารเคมีวิศวกรรม-เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง, ปีที่ 2, 2535 : หน้า 67-72.
4. กรมเศรษฐกิจพาณิชย์, รายงานผลการศึกษาวิจัยเกลือทะเลฉบับโรเนียว, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ : หน้า 1-4.
5. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, การศึกษาเรื่องการทำคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ, รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 38, 2523 : หน้า 65-73.
6. มานัด แก้วถาวร, ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว,วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537 : หน้า 43-52.
7. ศักดิ์จิตรา ตันสมบูรณ์ ลัดดา ยาวิรัชน์ และ ชลธา ไกรวัตนุสรณ์, การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากชานอ้อย, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538 : หน้า 15-18.
8. Hassler, J.W., Purification with Activated Carbon, New York, N.Y. : Chemical Publishing Co.Inc., 1974 : pp. 341-355.
9. Kawabata, J.L., Tasaki, Y., Mitsui, S. and Kiikawa, K., Method for Manufacture of Activated carbon and Apparatus, United States Patent, No. 3910849, 1975 : pp.1-6.
10. เกศรา นุตาลัย และคณะ, การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2532; ปีที่ 4, ฉบับที่ 3 : หน้า 50-86.
11. Brunner, Handbook of Incinerator System, New York , McGraw-Hill Inc., 1991 : pp. 111-113.
12. Sakapanich, T., Thitthiwong, P., Khummongkol, D. and Tangasathitkulchai C., Gasification of Coconut Shell with a Purpose of Charcoal Production, The Regional Symposium on Petrochemical Technology, Chulalongkorn University, 14-17 December 1987 : pp.7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Schweittzer P.A., Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, New York, McGrawhill, 1979 : pp.40.

14. Simek M. and Cerny S., Activated Carbon Manufacture Properties and Applications, New York, Elsevier Publishing Company, 1979 : pp. 67-72.

15. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, วิศวกรรมประปา เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์ ก. วิวรรธน์, 2527 : หน้า 189-219.

16. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, คาร์บอนกัมมันต์, ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 107, หน้า 12-13.

17. Harrison R.M. and Laxen D.P.H, Lead Pollution Cause and Control, London, Chapman and Hall Ltd., 1981 : pp. 168.

18. Grimwood, B.E., Coconut Palm Product, London, Tropical Institute, 1975 : pp. 146-158.

19. Kirk, P.E. and Othmer, E.F., Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 4, New York, The Interscience Encyclopedia, 1978 : pp. 561-569.

20. McGarry N.G., The reclamation of dricking water, New York, Nation Technical Information Service U.S., Department of Commerce, 1975 : pp.30-41.

21. Berl E. Formation and Properties of Activated Carbon, Trans. Faraday Soc., 1938 ; 16thed., Vol. 34 : pp. 1040-1056.

22. อนุชิต กิจสวัสดิ์, การศึกษาเรื่องการทำถ่านแกลบให้มีคุณสมบัติในการฟอกสี, กองการวิจัย กรมวิชาการบริการ, ฉบับแก้ไข มิถุนายน 2525 : หน้า 17.

23. นราพร หาญวจนวงศ์ และ คณะ, การทำคาร์บอนกัมมันต์จากซังข้าวโพด,บทความวิจัยและพัฒนา, วารสารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2529; ปีที่ 5, ฉบับที่ 3 : หน้า 291-302.

24. คำรง ขุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริยกุล, การผลิตคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น, เกษตรอุตสาหกรรม, วิศวกรรมสาร, 2533; ปีที่ 43, เล่มที่ 6 : หน้า 96-99.

25. Robert H. Perry and Cecil H. Chilton, Chemical Engineer's handbook, McGraw-Hill, 5thed. : pp.16-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกรดุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนักเป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:1 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้สารละลายผสม (สารละลายซิงค์คลอไรด์ 60 % โดยน้ำหนัก : สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว = 1:2 โดยน้ำหนัก) เป็นสารกระตุ้น (ต่อ)

กะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)		
			ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	เฉลี่ย
1:3	600	30	57.25	57.84	57.54
		60	55.31	56.74	56.03
		90	53.42	53.34	53.87
		120	51.67	51.46	51.57
	700	30	53.95	54.56	54.26
		60	53.70	53.92	53.81
		90	52.19	52.30	52.25
		120	51.50	51.37	51.44
	800	30	52.43	52.28	52.36
		60	51.60	51.48	51.54
		90	48.98	58.62	48.80
		120	47.78	48.23	48.01
1:4	600	30	55.99	57.99	56.99
		60	56.19	56.2	56.20
		90	54.29	55.22	54.76
		120	52.76	52.84	52.71
	700	30	54.25	54.53	54.74
		60	53.30	53.07	53.15
		90	52.23	52.12	52.15
		120	51.95	51.75	51.85
	800	30	52.23	52.32	52.28
		60	51.04	51.25	51.15
		90	48.23	48.02	48.13
		120	47.72	47.78	47.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ

ตารางที่ ก.9 การวิเคราะห์อ้างอิงขององค์ประกอบแบบประมาณ [25]

รายการทดลอง	การวิเคราะห์อ้างอิง
ความชื้น	ASTM D3173
สารระเหย	ASTM D3175
เถ้า	ASTM D3174
คาร์บอนคงตัว	ASTM D3172

ตารางที่ ก.10 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของความชื้นของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

วัสดุ	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละความชื้น	เฉลี่ย
กะลามะพร้าว	1	9.9872	9.5271	4.61	3.75
	2	9.9908	9.7023	2.89	
คาร์บอนกัมมันต์	1	8.2348	7.8041	5.23	5.98
	2	8.5961	8.0485	6.73	

ตารางที่ ก.11 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของสาระเหยของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

วัสดุ	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละสาระเหย	เฉลี่ย
กะลามะพร้าว	1	9.9971	6.6722	33.16	34.27
	2	9.9853	6.4638	35.27	
คาร์บอนกัมมันต์	1	8.0136	7.8445	2.11	2.29
	2	8.0317	7.8333	2.47	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ตัวอย่างการหาค่าร้อยละของเถ้าของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

วัสดุ	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละสารระเหย	เฉลี่ย
กะลามะพร้าว	1	9.4213	8.4159	10.67	10.84
	2	8.6451	76946	11.00	
คาร์บอนกัมมันต์	1	9.8903	8.6560	12.48	12.56
	2	8.8846	7.7616	12.64	

ตารางที่ ก.13 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แบบประมาณของกะลามะพร้าวและคาร์บอนกัมมันต์

วัสดุ	องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
กะลามะพร้าว	ความชื้น	3.75
	สารระเหย	34.27
	เถ้า	10.84
	คาร์บอนคงตัว	51.14
คาร์บอนกัมมันต์	ความชื้น	5.98
	สารระเหย	2.29
	เถ้า	12.56
	คาร์บอนคงตัว	79.17

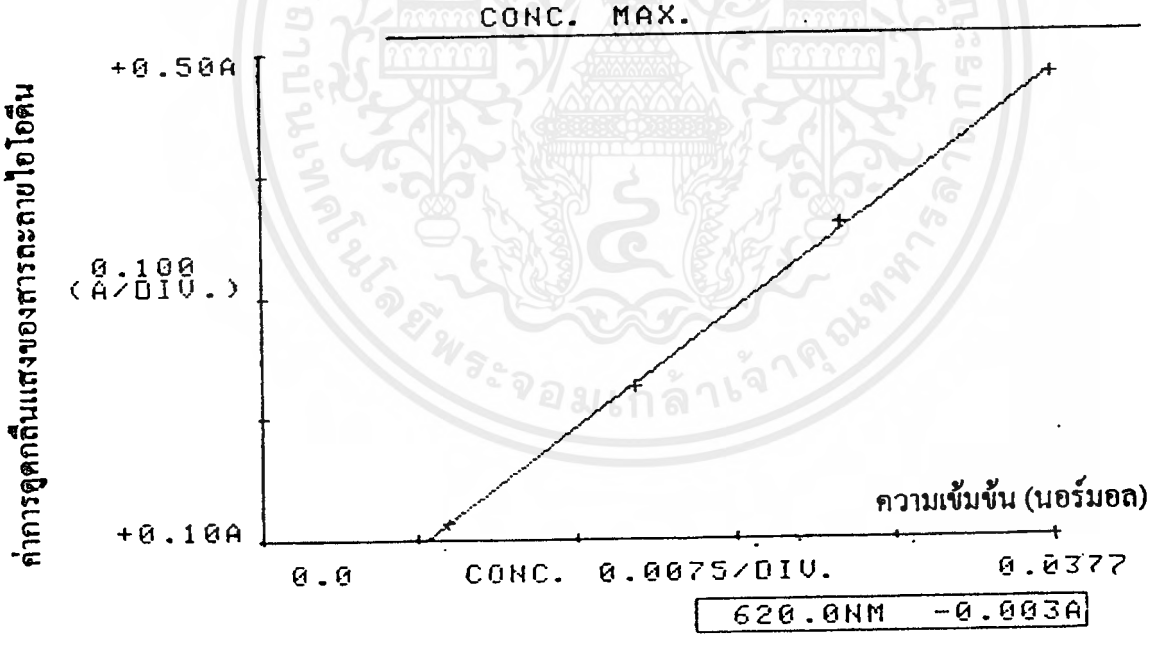
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ [25]

ตารางที่ ข.1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนที่ความเข้มข้นที่กำหนด

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



รูป ข.1 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอโอดีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้