สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟีนอลและทอลูอีน

นายพงษ์ชัย เพชรสังหาร
นายไพศาล เด่นรุ่งเรือง
นายวัธนพล บุญเลิศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45687
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF ACTIVATED CARBON FROM COFFEE RESIDUE FOR THE ADSORPTION OF PHENOL AND TOLUENE

Mr. PHONGCHAI PETSANGHAN
Mr. PAISAN DENRUNGRUANG
Mr. WATTANAPOL BOONLERT

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
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟีนอลและทอลูอีน

โดย นายพงษ์ชัย เพชรสังหาร
นายไพศาล เด่นรุ่งเรือง
นายวัธนพล บุญเลิศ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(รศ.ดร.วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา)

.....กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟีนอลและทอลูอีน
โดย	นายพงษ์ชัย เพชรสังหาร
	นายไพศาล เด่นรุ่งเรือง
	นายวัธนพล บุญเลิศ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ดูดซับฟีนอลและทอลูอีนในขั้นห้องปฏิบัติการ การทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเผากากเมล็ดกาแฟแบบอับอากาศ การกระตุ้นคาร์บอน และการทดสอบการดูดซับ ในส่วนของการเผากากเมล็ดกาแฟแบบอับอากาศ พบว่าที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิต 21 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว 76 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนการกระตุ้นใช้การกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำยิ่งยวดและการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมของการกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด คือ อุณหภูมิการกระตุ้น 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ประมาณ 180 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 70 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.109 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.5 นาโนเมตร ในการกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกระตุ้น 1:2.5 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 90 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 625 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 171 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.358 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกมีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 556 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 170 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.315 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร

ในการทดสอบการดูดซับฟีนอลและทอลูอีน ใช้คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารเคมีตามสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลมากกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ โดยมีค่าที่ดูดซับได้เท่ากับ 58 และ 48 มิลลิกรัมฟีนอลต่อกรัมคาร์บอน-กัมมันต์ตามลำดับ ส่วนการดูดซับทอลูอีนพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ สามารถดูดซับทอลูอีนได้มากกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยมีค่าที่ดูดซับได้ 120 และ 99 มิลลิกรัมทอลูอีนต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Synthesis of Activated Carbon from Coffee Residue for the Adsorption of Phenol and Toluene
By	Mr. Phongchai Petsanghan
	Mr. Paisan Denrungruang
	Mr. Wattanapol Boonlert
Advisor	Asst.Prof.Dr.Anchaleeporn Waritswat Lothongkum
Co-advisor	Assoc.Prof.Dr.Virote Boonaumnuayvitaya
	Department of Chemical Engineering
	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research studies the synthesis of activated carbon from coffee residue for the adsorption of phenol and toluene in a laboratory scale. The experiments comprise three steps which are carbonization, activation and adsorption. The optimum conditions of carbonization are at 500°C with the heating rate of 10 °C/min for 40 minutes obtaining 21% yield and 76% fixed carbon. The physical activation by superheated steam and the chemical activation by zinc chloride solution and phosphoric acid were studied. The optimum conditions of the physical activation are at 900 °C for 1 hour. The total surface area, mesoporous surface area, pore volume and pore diameter are 180 m^2/g, 70 m^2/g, 0.109 cm^3/g and 2.5 nm, respectively. The optimum conditions of the chemical activation are at weight ratio of carbon and chemical of 1:2.5 at 600 °C and 90 minutes. The total surface area, mesoporous surface area, pore volume and pore diameter of the activated carbon activated by zinc chloride solution are 625 m^2/g, 171 m^2/g, 0.358 cm^3/g and 2.3 nm, respectively. And those of the activated carbon activated by phosphoric acid are 556 m^2/g, 170 m^2/g, 0.315 cm^3/g and 2.3 nm, respectively.

For the adsorption of phenol and toluene, the activated carbons activated by chemicals under the mentioned conditions were used. It was found that the activated carbon activated by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phosphoric acid adsorbed phenol better than that activated by zinc chloride solution. The adsorbed values are 58 and 48 mg phenol/gram of activated carbon. In case of toluene, the activated carbon activated by zinc chloride solution adsorbed toluene better than that activated by phosphoric acid. The adsorbed values are 120 and 99 mg toluene/gram of activated carbon.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

คุณไชยยันต์ ไชยยะ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือโดยตลอด

บริษัท เนสท์เล่ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้สนับสนุนกากเมล็ดกาแฟที่ใช้ในการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำและเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรมิเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

รศ.แม้น อมรสิทธิ์ และอาจารย์ ธรรมนูญ อุดมมั่น ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์ด้านการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมี

ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำปรึกษาเรื่องการดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และรศ.ดร.วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความช่วยตลอดการทำวิจัย ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายพงษ์ชัย เพชรสังหาร
นายไพศาล เด่นรุ่งเรือง
นายวัธนพล บุญเลิศ
11 มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การดูดซับ	3
2.2 คาร์บอนกัมมันต์	6
2.3 กระบวนการไพโรไลซิส	9
2.4 กรรมวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์	10
2.5 กาแฟ	17
บทที่ 3 การทดลอง	20
3.1 การเผาในที่อับอากาศ	20
3.2 การกระตุ้นคาร์บอน	21
3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์	23
3.4 การดูดซับฟีนอลและทอลูอีน	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	26
4.1 การเผาแบบอับอากาศ	26
4.2 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด	29
4.3 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยซิงค์คลอไรด์	32
4.4 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยกรดฟอสฟอริก	35
4.5 การทดสอบการดูดซับ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58
5.1 การเผาแบบอับอากาศ	58
5.2 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด	58
5.3 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	58
5.4 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	58
5.5 การพิจารณาเลือกคาร์บอนกัมมันต์เพื่อใช้ในการทดสอบการดูดซับ	59
5.6 การทดสอบการดูดซับฟีนอล	59
5.7 การทดสอบการดูดซับทอลูอีน	59
บทที่ 6 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	60
6.1 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด	60
6.2 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์	60
6.3 การดูดซับฟีนอลและทอลูอีน	60
6.4 ข้อเสนอแนะในด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย	66
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์	69
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว	75
ภาคผนวก ง การกระจายตัวของรูพรุน	77
ภาคผนวก จ มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพคาร์บอนกัมมันต์	92
ภาคผนวก ฉ เอกสารข้อมูลความปลอดภัย	99
ภาคผนวก ช คุณสมบัติคาร์บอนกัมมันต์ชนิดต่างๆ	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ	19
4.1	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้	26
4.2	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ที่ได้จากกากเมล็ดกาแฟเปรียบเทียบกับวัสดุต่างๆ	28
4.3	คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด	30
4.4	คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1 : 1.5 โดยน้ำหนัก	32
4.5	คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาทีหลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1 : 2.5 โดยน้ำหนัก	33
4.6	คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาทีหลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1 : 1.42 โดยน้ำหนัก	35
4.7	คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาทีหลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1 : 2.49 โดยน้ำหนัก	37
4.8	กราฟมาตรฐานของฟีนอล	39
4.9	กราฟมาตรฐานของทอลูอีน	40
4.10	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	42
4.11	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	44
4.12	ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	46
4.13	ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	48
4.14	ค่าการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	50
4.15	ค่าความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุล และปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.16	ค่าการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	52
4.17	ค่าความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุล และปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	52
4.18	ค่าการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	54
4.19	ค่าความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล และปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	54
4.20	ค่าการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	56
4.21	ค่าความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล และปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	56
จ.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง	95
จ.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด	95
จ.3	แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ	4
2.2	ลักษณะอนุภาคของคาร์บอนกัมมันต์	7
2.3	กระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป	18
2.4	ส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ	18
4.1	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้	27
4.2	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส	29
4.3	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดหลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด	31
4.4	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางหลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด	31
4.5	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ 1:1.5 และ 1:2.5	34
4.6	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ 1:1.5 และ 1:2.5	34
4.7	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ 1:1.42 และ 1:2.49	38
4.8	ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ 1:1.42 และ 1:2.49	38
4.9	กราฟมาตรฐานของฟีนอล	40
4.10	กราฟมาตรฐานของทอลูอีน	41
4.11	ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	43
4.12	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	47
4.14	ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	49
4.15	การคำนวณค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	51
4.16	การคำนวณค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	53
4.17	การคำนวณค่าปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	55
4.18	การคำนวณค่าปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก	57
ค.1	การหาความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	75
ง.1	หน้าต่างโปรแกรมที่แสดงการกระจายตัวของรูพรุนของกากเมล็ดกาแฟ	79
ง.2	หน้าต่างโปรแกรมที่แสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส 40 นาที	82
ง.3	หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง	85
ง.4	หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที	88
ง.5	หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

สารประกอบอินทรีย์จากอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนออกสู่สภาวะแวดล้อม ส่วนมากจะอยู่ในสภาวะก๊าซหรือของเหลว วิธีการกำจัดอาจใช้ วิธีการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ การสกัด การใช้เยื่อแผ่น หรือการดูดซับ การดูดซับเป็นวิธีที่นิยมใช้มาก เนื่องจากความสะดวกในการดำเนินการและความเหมาะสมทางด้านราคาโดยใช้ตัวดูดซับต่างๆ เช่น คาร์บอนกัมมันต์ ซีโอไลต์ โมเลกุลาร์-ซีฟ คาร์บอนกัมมันต์จัดเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่ทำให้เป็นถ่านแล้ว วัตถุที่ใช้สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จะเลือกจากอินทรียวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ อินทรียวัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

- พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย ชานอ้อย ซังข้าวโพด เมล็ดกาแฟ
- พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท บิทูมินัส
- วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก
- วัตถุดิบอื่น เช่น พลาสติก กระดุม เป็นต้น

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ในรูปของถ่านนั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรียวัตถุ ซึ่งเราเรียกว่า "ถ่านสังเคราะห์" (Artificial Char) มีผู้ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากวัตถุดิบตั้งต้นประเภทต่างๆ เช่น ยูคาลิปตัส [1] Sugar Carbon [2] ชานอ้อย [3-4] เปลือกถั่ว ฟางข้าว กากถั่วเหลือง เปลือกวอลนัท [4] Brab Palm [5] และปาล์มน้ำมัน [6] ซึ่งใช้กรรมวิธีการสังเคราะห์แตกต่างกันไป

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมกาแฟมีการผลิตที่เพิ่มขึ้น จากสถิติของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [7] พบว่าในระหว่างปี พ.ศ. 2542-2543 ประเทศไทยมีการผลิตกาแฟส่งออก 51,000 ตันต่อปี และใช้ภายในประเทศ 21,000 ตันต่อปี กากเมล็ดกาแฟที่เหลือทิ้งจะกำจัดโดยนำไปฝัง เผาทิ้ง ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้เครื่องกำเนิดไอน้ำ และใช้ทำปุ๋ย จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่ากากเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแล้วมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยนำมาสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ เนื่องจากกากเมล็ดกาแฟมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ค่อนข้างสูงและมีความเป็นรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟ

1.2.2 ศึกษาตัวแปรการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ เช่น วิธีการกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลาในการกระตุ้น

1.2.3 ศึกษาการดูดซับฟีนอล และทอลูอีน ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินการ

1.3.1 ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ จากกากเมล็ดกาแฟด้วยการเผาแบบอับอากาศ และกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด สารละลายซิงค์คลอไรด์ และสารละลายกรดฟอสฟอริก

1.3.2 ทดลองหาสภาวะในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการเผาแบบอับอากาศ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระตุ้นคาร์บอนด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารเคมีที่ใช้กระตุ้น

1.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

1.3.4 ศึกษาการดูดซับฟีนอล และทอลูอีน ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้

1.3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.3.6 จัดทำรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การดูดซับ [8]

การดูดซับมี 2 แบบ คือ การดูดซับเชิงกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับเชิงเคมี (Chemical Adsorption)

การดูดซับเชิงกายภาพ เกิดขึ้นที่ใดก็ได้อย่างไม่เจาะจง ปรากฏการณ์คล้ายกับการควบแน่นที่เกิดได้ทุกจุดบนผิวของแข็ง แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลที่ผิวของแข็งมีไม่มาก ส่วนมากเป็นแรงแวนเดอวาลส์ ความร้อนเนื่องจากการดูดซับหรือพลังงานก่อกัมมันต์อยู่ในช่วงต่ำประมาณ 4-40 กิโลจูลต่อโมล การดูดซับเข้าสู่สมดุลได้เร็วและผันกลับได้ ปริมาณการดูดซับของโมเลกุลก๊าซจะลดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการดูดซับเชิงกายภาพจึงไม่สามารถใช้เป็นกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของโมเลกุลที่มีความเสถียรได้ อีกทั้งพลังก่อกัมมันต์ต่ำเกินไป แต่อาจใช้ปฏิกิริยาของอะตอมหรืออนุมูลอิสระที่ไม่ต้องการพลังก่อกัมมันต์มากก็ได้ โดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้การดูดซับเชิงกายภาพในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิว เป็นต้น

การดูดซับเชิงเคมี การดูดซับเกิดขึ้นอย่างจำเพาะบนจุดกัมมันต์ของผิวของแข็ง โดยพันธะทางเคมี ความร้อนเนื่องจากการดูดซับหรือพลังงานก่อกัมมันต์อยู่ในช่วง 40-200 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมากกว่าการดูดซับเชิงกายภาพเนื่องจากการดูดซับเกิดขึ้นเพราะเป็นแบบพันธะทางเคมีส่วนใหญ่โมเลกุลที่มาดูดซับจะเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว (Monolayer)

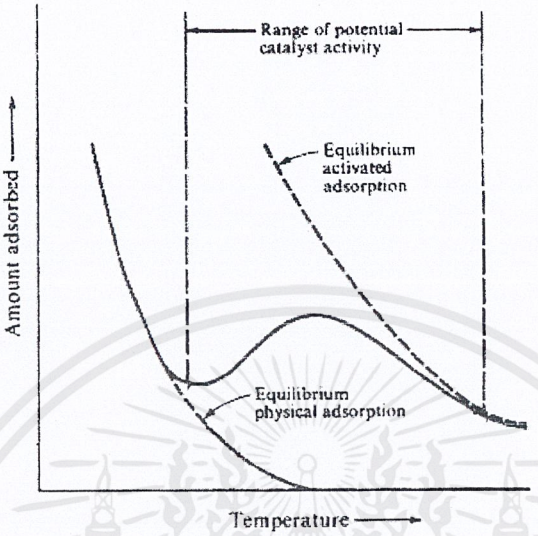
การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous Reaction) คือสารที่ทำปฏิกิริยากันอยู่ในวัฏภาคที่ต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซหรือของเหลวกับของแข็ง เป็นต้น

ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

Langmuir [9] ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับและการคายซับของก๊าซจากผิวของแข็ง เพื่ออธิบายการดูดซับเชิงปริมาณไว้ อันที่จริงแบบจำลองของ Langmuir นั้น พัฒนาสำหรับการดูดซับเชิงเคมี แต่ก็มีการประยุกต์ใช้สำหรับการดูดซับเชิงกายภาพด้วย

การศึกษาว่าสารหรือโมเลกุลใดดูดซับบนผิวของแข็งได้มากขนาดใดนั้น จะต้องควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับมาก ข้อมูลการดูดซับจะรายงานออกมาในรูปไอโซเทอร์มการดูดซับ แบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ของ Langmuir เรียกว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาตรการดูดซับ เห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาตรการดูดซับมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ [9]

ทฤษฎีการดูดซับของแบบจำลอง Langmuir [9]

กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ โดยที่สารละลายจะถูกดูดซับ และมีการคายซับไปพร้อมๆกัน ซึ่งอัตราการดูดซับ และการคายซับที่เท่ากันจะทำให้เกิดสภาวะสมดุลเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ ที่จุดสมดุลนี้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับจะเท่ากับความเข้มข้นของตัวดูดซับ และปริมาณของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับที่เกิดขึ้นนี้สามารถใช้ ไอโซเทอร์มการดูดซับ อธิบายถึงสมดุลที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิคงที่

ไอโซเทอร์มการดูดซับ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ และความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ เมื่อนำเอาความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ไปเขียนกราฟในรูปของลอการิทึมกับปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับ

เนื่องจากวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ต่างกัน และวัสดุชีวมวลชนิดเดียวกันก็มีคุณสมบัติในการดูดซับสารแต่ละชนิดต่างกัน ดังนั้นจึงต้องศึกษา สมการไอโซเทอร์มการดูดซับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณสารที่ถูกดูดซับโดยวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด สมการไอโซเทอร์มการดูดซับ ที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายสมดุลการดูดซับ คือ สมการ Langmuir เนื่องจากสามารถอธิบายการดูดซับได้ดี

สมมติฐานของทฤษฎีนี้มีแนวความคิดจากแบบจำลอง Monolayer ดังนี้

1. ที่ทุกๆ ตำแหน่งผิวสัมผัสสามารถดูดซับโมเลกุลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โมเลกุลแต่ละโมเลกุลไม่มีผลกระทบต่อกัน หมายความรวมถึงตำแหน่งของโมเลกุลไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

3. พลังงานและกลไกการดูดซับของทุกๆ โมเลกุลบนผิวดูดซับเกิดขึ้นเหมือนกัน

4. การดูดซับของโมเลกุลบนแต่ละพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดียว

Langmuir ไอโซเทอร์มการดูดซับ [9]

กำหนดให้

$$\theta = v/v_m \quad (2.1)$$

โดย θ = สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

v = สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/g)

v_m = สารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว (mg/g)

อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด

$$r_{ax} = k_a C_x (1-\theta) \quad (2.2)$$

โดย r_{ax} = อัตราการดูดซับของตัวถูกดูดซับ

k_a = ค่าคงที่ของการดูดซับ

C_x = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (ppm)

ที่สมดุล

$$k_a C_x (1-\theta) = k_d \theta \quad (2.3)$$

$$\theta = k_a C_x / (k_d + k_a C_x) \quad (2.4)$$

โดย k_d = ค่าคงที่ของการคายซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ $K = k_a/k_d$ = ค่าคงที่สมดุล (2.5)

ได้

$$v = \frac{v_m K C_x}{1+KC_x} \quad (2.6)$$

จัดให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

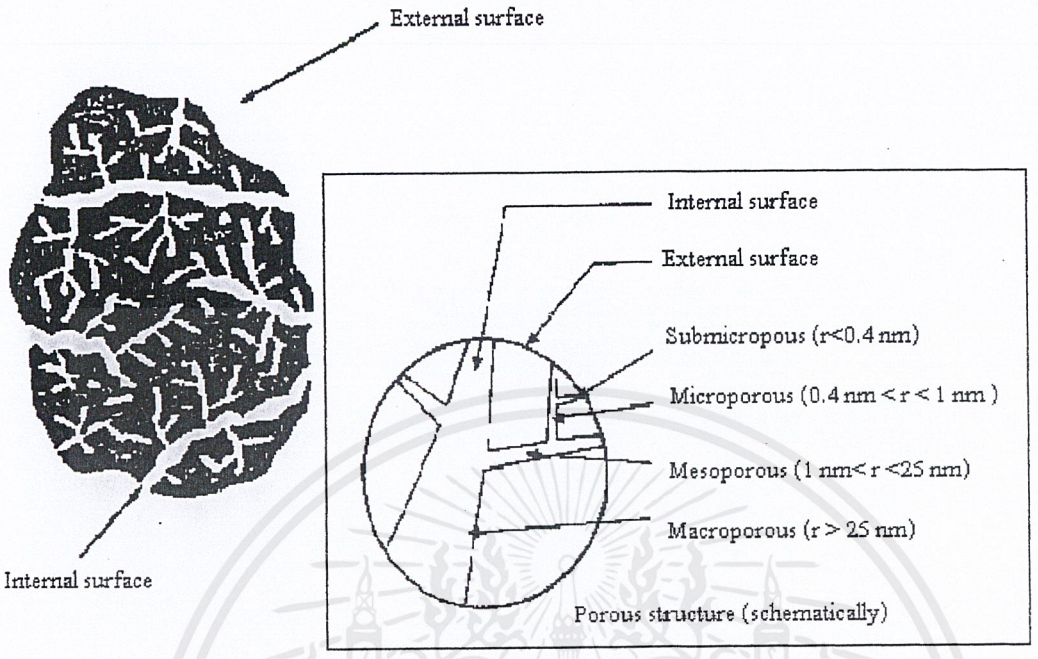
$$\frac{C_x}{v} = \frac{C_x}{v_m} + \frac{1}{Kv_m} \quad (2.7)$$

ค่า v_m และค่า K สามารถหาได้จากความชัน $\left(\frac{1}{v_m}\right)$ และจุดตัด $\left(\frac{1}{Kv_m}\right)$ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\frac{C_x}{v}$ กับ C_x

2.2 คาร์บอนกัมมันต์ [10-13]

คาร์บอนกัมมันต์เป็นสารประกอบคาร์บอนรูปหนึ่งที่มีความพรุนสูง ลักษณะอนุภาคและพื้นที่ผิวภายในของคาร์บอนกัมมันต์ แสดงดังรูป 2.2 โดยทั่วไปถ้าใช้วัตถุดิบต่างกัน คาร์บอน-กัมมันต์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์นอกจากจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้แล้ว ยังขึ้นกับวิธีการสังเคราะห์ด้วย ซึ่งขนาดของรูพรุนจะเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในการเลือกคาร์บอนกัมมันต์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคของคาร์บอนกัมมันต์ [14]

คาร์บอนกัมมันต์อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

1.ประเภทที่ใช้กับของเหลว (Liquid Phase Carbon) อุตสาหกรรมที่นำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่

- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อฟอกสีทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น

- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบู่และสารออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมัน

- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร

- อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น

- อุตสาหกรรมเคมีและยาหลายชนิด เช่น Acetanilide, Atabrine, Cafeine, Glyceline, Calcium Ferrocyanide, Sodium Acetic, Citric Acid และ Streptomycin

- ใช้กำจัดสารพิษที่ปนเปื้อนจากกระบวนการผลิต

- อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกของหลังจากการสกัดจากแร่ ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจาก Petroleum Oil – Well Brines (น้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน พบมากในประเทศจีน) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด

- กระบวนการคะตาไลติค (Catalytic Process) คาร์บอนกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นตัวพาตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้นด้วย

- ใช้ในการดูดซับสารพิษจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

2. ประเภทที่ใช้ในการดูดก๊าซและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

- การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ คาร์บอนกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ

- อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยคาร์บอนกัมมันต์จะดูดมลทินในอากาศต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

- อุตสาหกรรมบุหรี่ โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นก้นกรองของบุหรี่

นอกจากนี้ยังมีการนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์คาร์บอนกัมมันต์ที่สูง เนื่องจากชนิดและคุณภาพแตกต่างจากคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ และปริมาณการใช้คาร์บอนกัมมันต์ภายในประเทศสูงมาก

การจำแนกประเภทของคาร์บอนกัมมันต์ ตามขนาดของรูพรุน ซึ่ง International Union of Pure Applied Chemistry (IUPAC) [15] มีเกณฑ์แบ่ง ดังนี้

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร

- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) มีรัศมีรูพรุนตั้งแต่ 2-50 นาโนเมตร

- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) มีรัศมีรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร

กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์มีขั้นตอนสำคัญ คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเผาในที่อับอากาศ เรียกว่า คาร์บอไนเซชั่น คาร์บอนที่ได้จากการเผาในที่อับอากาศจะถูกนำไปกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี ซึ่งก็แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการนำคาร์บอนกัมมันต์ไปใช้ ในงานนี้จะใช้การเผากากเมล็ดกาแฟในที่อับอากาศที่อุณหภูมิต่ำ และกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดและสารเคมี คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการไพโรไลซิส

การไพโรไลซิส เป็นกระบวนการสลายสารอินทรีย์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงในที่อับอากาศ เป็นกระบวนการทางเคมีที่ผันกลับไม่ได้ กระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เกิดที่อุณหภูมิระหว่าง 200–600 องศาเซลเซียส โดยที่องค์ประกอบย่อยต่างๆ จะถูกปล่อยออกมาในสถานะก๊าซ

การไพโรไลซิสวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวทางความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ จะได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านคาร์บอน ของเหลวที่กลั่นออกมา และก๊าซต่างๆ การไพโรไลซิสในที่อับอากาศที่ได้คาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เรียกว่า คาร์บอไนเซชั่น

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส

- องค์ประกอบของชีวมวล

มีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยทั่วไปแล้วสารชีวมวลจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยประมาณร้อยละ 60–70 โดยน้ำหนัก

- อุณหภูมิ

เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส โดยจะทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอนและปริมาณสารระเหยเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิในการไพโรไลซิสชีวมวล แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงประมาณ 135 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้ปริมาณสารระเหยจะยังมีไม่มาก และสารส่วนใหญ่ที่ระเหยออกมาจะเป็นความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ช่วงที่สองเป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 135–400 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมินี้ สารระเหยจะถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณค่อนข้างมาก โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 75 ช่วงที่สาม เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นกระบวนการผลิตคาร์บอน

- อัตราการให้ความร้อน

สารชีวมวลที่มีอัตราการให้ความร้อนต่ำ เช่น ถ่านและน้ำมันดิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ พวกก๊าซต่างๆ เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของคาร์บอนที่ได้จะน้อยลง แต่จะเกิดพวกก๊าซมากขึ้น และในช่วงเวลาที่เท่ากัน เมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำๆ จะทำให้เกิดคาร์บอนมากขึ้น

- สภาวะบรรยากาศ

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการดูดความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนมีสองวิธี คือ วิธีทางตรง ทำได้โดยการเผาไหม้บางส่วน หรือโดยการเติมพวกเชื้อเพลิงต่างๆ เข้าไปในกระบวนการ อีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีทางอ้อม ทำโดยการแยกส่วนเผาไหม้และส่วนไพโรไลซิสออกจากกัน และใช้ตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อส่งผ่านความร้อนซึ่งกันและกัน วิธีทางตรงมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ออกซิเจน หรืออากาศเติมเข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส แม้ว่าออกซิเจนมีราคาค่อนข้างแพง แต่จะช่วยในการหลีกเลี่ยงปัญหาการก่อตัวออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

- ขนาดของวัสดุ

ขนาดของวัสดุจะมีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส คือ วัสดุที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวมากการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็ว ในกรณีที่วัสดุมีขนาดใหญ่ การให้ความร้อนจะช้าทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก การกระจายอุณหภูมิจะไม่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอทำให้การสลายสารอินทรีย์ไม่สม่ำเสมอ และปริมาณสารระเหยที่ได้ ก็จะน้อยกว่า

2.4 กรรมวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ [10-13]

คาร์บอนสังเคราะห์ แบ่งออกตามอินทรียวัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภท

1. Hard Artificial Char เช่น ถ่านน้ำตาล ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ ถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง (High Pressure Wood Charcoal)

2. Soft Artificial Char เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน ถ่านกากน้ำตาล

วัตถุอินทรีย์เหล่านี้ ยังไม่มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดี แต่เราสามารถทำเป็นคาร์บอนที่มีคุณสมบัติการดูดซับดีขึ้น ที่เรียกว่า "คาร์บอนกัมมันต์" โดยใช้กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีต่อไป

ในปัจจุบันกรรมวิธีการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์มีหลายวิธี ขึ้นกับว่าวัตถุดิบที่ใช้คืออะไร และต้องการคาร์บอนกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติอย่างไร กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งรวมถึงการอบแห้ง การบด การทำเป็นเม็ด การเผาแบบอับอากาศ เป็นต้น จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการกระตุ้นด้วยสารเคมี เช่น การกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ การกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อทำเป็นคาร์บอนกัมมันต์ในที่สุด

เนื่องจากวิธีการกระตุ้นเพื่อสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ มีความสำคัญต่อคุณสมบัติ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์คาร์บอนกัมมันต์ จึงจะกล่าววิธีการกระตุ้นโดยละเอียด การกระตุ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุน โดยทำให้สารมีรูพรุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารของคาร์บอนกัมมันต์ ประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมทั้งวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย สารประเภทคาร์บอนกัมมันต์นั้นจัดเป็นสารประเภทคาร์บอนอสัณฐาน แต่มีรูปลักษณะของผลึกอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Berl [16] แบ่งวิธีการกระตุ้นเพื่อสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ ดังนี้

- การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม
- การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์
- การกระตุ้นด้วยสารดูดน้ำ (Dehydrating Agent)

2.4.1 การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโพแทสเซียมหรือโซเดียม

เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่ต้องการทำเป็นคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งผสมกับสารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมหรือไอออนของโซเดียม ไอออนเหล่านี้จะแทรกเข้าไประหว่างชั้นของผลึกแกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า 700 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน จะหลุดออกทำให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ตามที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าการใช้สารประกอบของโพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นจะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารประกอบของโซเดียมเป็นตัวกระตุ้น และพบว่าโพแทสเซียมซัลไฟด์เป็นตัวกระตุ้นที่ดีที่สุดของในกลุ่มตัวกระตุ้นชนิดนี้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น มีดังนี้

$$2X + 3CO \longrightarrow X_2CO_3 + 2C \qquad (2.8)$$

$$X_2CO_3 + C \longrightarrow X_2O + 2CO \qquad (2.9)$$

$$2CO \longrightarrow CO_2 + C \qquad (2.10)$$

X คือ K^+ หรือ Na^+

ในอุตสาหกรรมมีการนำสารประกอบเหล่านี้มาใช้บ้าง ได้แก่

- สารประกอบคาร์บอเนต เช่น โพแทสเซียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมคาร์บอเนต นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเลือด วิธีผลิต นำเลือดที่แห้งมา 8 ส่วน ผสมกับสารกระตุ้น 1 ส่วนโดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ปริมาณสารกระตุ้นที่ใช้จะเปลี่ยนไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ด้วย

- สารประกอบซัลไฟด์และไธโอไซยาเนต ปฏิกิริยาของสารประกอบประเภทนี้มีความรุนแรงน้อยกว่าสารประกอบประเภทด่าง และนิยมใช้ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากขี้เลื่อย โดยการผสมขี้เลื่อยกับสารละลายโพแทสเซียมไธโอไซยาเนต เข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเผาอับอากาศที่อุณหภูมิ 300-350 องศาเซลเซียส แล้วเผาต่อให้อุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส ในบางครั้ง ถ้าต้องการเพิ่มความรุนแรงของปฏิกิริยา สามารถทำได้โดยเติมสารประเภทด่าง เช่น ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอน 100 ส่วน ผสมกับโพแทสเซียมซัลไฟด์ 15 ส่วน และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 ส่วน โดยน้ำหนัก ทำให้แห้งและนำไปเผาอับอากาศที่ 900 องศาเซลเซียส

2.4.2 การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์

ก๊าซหรือไอที่ใช้ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซคลอรีน และไอกำมะถัน ตัวแปรในการใช้ก๊าซออกซิไดส์ เพื่อผลิตคาร์บอนกัมมันต์ มีดังนี้ [17]

1. คุณสมบัติทางเคมี และความเข้มข้นของก๊าซออกซิไดส์ที่ใช้

2. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา

3. ระยะเวลาของปฏิกิริยา

4. ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบ เช่น ปริมาณคาร์บอน สารระเหยในวัตถุดิบที่ใช้

อุณหภูมิที่ใช้ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน ส่วนใหญ่จะไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะทำให้ความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน-กัมมันต์ลดน้อยลง อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไป อยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส แต่ก็มีบ้างที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น มีดังนี้

ที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส

$$H_2O + C_x \longrightarrow H_2 + CO + C_{x-1} \quad (2.11)$$

หรือ $$CO_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-1} \quad (2.12)$$

หรือ $$O_2 + C_x \longrightarrow 2CO + C_{x-2} \quad (2.13)$$

ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 600 องศาเซลเซียส

$$O_2 + C_x \longrightarrow CO_2 + C_{x-1} \quad (2.14)$$

การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์มี 2 วิธี คือ

ก. ทางตรง หมายถึง การใช้ก๊าซเหล่านี้ผ่านเข้าไปในวัตถุดิบโดยตรง ที่ใช้มากที่สุด คือ ไอน้ำ หรืออาจใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ ในที่นี้ไอน้ำ หมายถึง ไอน้ำยิ่งยวด (Superheated Steam) ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นแบบดูดความร้อน ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO \qquad \Delta H = -31 \text{ kcal} \qquad (2.15)$$

ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไป ทำให้เกิดรูพรุน แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยากันและให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน ดังสมการ

$$CO + CO \longrightarrow CO_2 + C \qquad (2.16)$$

การกระตุ้นด้วยไอน้ำมีข้อดี คือ ราคาถูก และไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่อุณหภูมิต้องสูงพอที่จะทำให้อัตราการออกซิไดส์เกิดอย่างรวดเร็ว ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง แต่จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน และฟีนอล สามารถพัฒนาให้เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิ แต่การดูดซับพวกกากน้ำตาล การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับไม่มากนัก

อุปกรณ์ที่สำคัญในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยกระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ซึ่งเป็นเตาเผาที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เตาแบบนี้มีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ
2. ตัวเครื่อง ซึ่งประกอบด้วย ท่อบรรจุคาร์บอน มอเตอร์ ที่วัดอุณหภูมิ และเครื่องควบแน่น
3. แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำที่ผ่านเข้ามาในตัวเครื่องกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด

- การกระตุ้นด้วยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่ใช้ควรถูกเผาเป็นคาร์บอนเสียก่อน ส่วนวิธีการสังเคราะห์นั้นคล้ายกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ข. ทางอ้อม หมายถึง การใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิในการกระตุ้นแล้วจะปล่อยก๊าซออกซิไดส์ออกมา สารเคมีดังกล่าวได้แก่ หินปูน ซึ่งถ้าถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดส์ทางอ้อม ได้แก่

- กระบวนการใช้สารโดโลไมต์ (Dolomite Process)

เป็นการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยทำโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) ให้แห้งแล้วนำไปเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 600-900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมาจากการเผาโดโลไมต์จะกระตุ้นถ่านหินลิกไนต์ จากนั้นแยกเอาแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ออกจากคาร์บอนกัมมันต์

- กระบวนการใช้สารซัลเฟต (Sulfate Process)

สารประกอบซัลเฟตจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารระเหย หลุดออกจากผิวคาร์บอน

2.4.3 การกระตุ้นด้วยสารดูดน้ำ

สารดูดน้ำที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียม - คลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ นอกจากนี้ ยังพบว่ามีการใช้กรดฟอสฟอริก และกรดซัลฟิวริก นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างที่ละเอียด เช่น คาร์บอนดินพรุ เปลือกถั่ว และขี้เลื่อย

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ประมาณ 500 องศาเซลเซียส สำหรับซิงค์คลอไรด์ และ 1,000 องศา-เซลเซียส สำหรับกรดฟอสฟอริก) โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากเซลลูโลสและลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในวัตถุดิบ ถ้าการกระตุ้นโดยซิงค์คลอไรด์ใช้อุณหภูมิไม่สูงนักจะทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่สามารถรวมตัวเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้นได้

ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริกซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวาง [17]

1. การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น [17]

ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีความสามารถ ในการกัดกร่อนโลหะได้ดี มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136.28 เป็นของแข็งสีขาว ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.91 จุดหลอมเหลวเท่ากับ 275 องศาเซลเซียส จุดเดือด 756 องศาเซลเซียส

ซิงค์คลอไรด์ที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ใช้ คือ สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้นประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบที่แห้ง 1 ส่วน บางครั้งอาจมีการเติมกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดฟอสฟอริก ลงไปเล็กน้อย หลังจากนั้นนำไปเผาที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส แต่ก็มีผู้เคยใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 400 องศาเซลเซียส หรืออาจสูงถึง 900 องศาเซลเซียส

คาร์บอนที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อเอาซิงค์คลอไรด์ที่เหลือและสาร Basic Zinc Chlorides ที่เกิดในปฏิกิริยาออกไป ซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณซิงค์คลอไรด์เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์ให้ดีขึ้น โดยการทำให้ปริมาตรรูพรุนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากซิงค์คลอไรด์จะถูกดูดซับในปริมาณที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ มีดังนี้

- ผสมวัตถุดิบที่แห้งกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น
- คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ของผสมแห้ง
- นำไปเผาที่อุณหภูมิสูงและอับอากาศ
- นำคาร์บอนที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- นำคาร์บอนที่ได้ไปอบให้แห้ง

ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยา จะต้องทนความร้อนได้สูงและต้องทนต่อการกัดกร่อนของซิงค์คลอไรด์ได้ดี

2. การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น [17]

กระบวนการนี้อาจใช้กรดซัลฟิวริกแทนได้ แต่คุณภาพคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะด้อยกว่า ตัวอย่างการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์ด้วยวิธีนี้ เช่น การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากดินพรุ หรือ ขี้เลื่อย วิธีทำคือ ผสมดินพรุหรือขี้เลื่อยด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก หรือกรดซัลฟิวริก แล้วนำสารผสมที่ได้ไปอบให้แห้ง และเผาที่อุณหภูมิ 400–600 องศาเซลเซียส ในเตาแบบหมุน กระบวนการกระตุ้นเกิดจาก การดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับกระบวนการกระตุ้นโดยใช้ ซิงค์คลอไรด์ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ควรนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800–1,000 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 2–8 ชั่วโมง ส่วนกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

นอกจากนี้ กรดฟอสฟอริกยังใช้เป็นสารช่วยในการกระตุ้นได้อีกด้วย เช่น หลังจากการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำอาจจะนำคาร์บอนที่ได้ไปแช่กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 2–25 โดยน้ำหนัก เพื่อให้คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้น

การหาค่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ [8]

การวัดพื้นที่ผิวจะใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนผิวของแข็ง ซึ่งปกติจะใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล ณ สภาวะมาตรฐาน (จุดเดือด –195.8 องศาเซลเซียส) ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน ซึ่งสามารถวัดและคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวได้โดยใช้โมโนแกรม วิธีการคือใช้ Adsorption Vessel 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากันโดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า แล้วผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน Cold Bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งสามารถวัดได้โดยมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ ไอโซเทอร์มการดูดซับ จะเป็นตัวแทนที่ดีสำหรับแสดงผลของข้อมูลจากการทดลอง โดยมีรูปแบบของสมการหลายสมการที่นิยมใช้ เช่น Langmuir Isotherm, Freundlich Isotherm และ BET Isotherm

สำหรับก๊าซที่ดูดซับบนผิวของแข็งแบบ Multi-molecular Layer ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ BET ใช้หลักการดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่จุดเดือดปกติ อุณหภูมิประมาณ 77.5 เคลวิน โดยกรณีนี้วัตถุที่นำมาวัดจะมีรูพรุนเล็ก คือ 10-100 อังสตรอง ซึ่งจะปล่อยให้ดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่ระดับความดันต่างๆ ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ จนถึงสภาวะสมดุล แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันต่างๆ BET Isotherm มีรูปแบบของสุมการ คือ

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{v_M c} + \frac{(c-1)P}{v_M c P_0} \qquad (2.17)$$

โดย V = ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวรูพรุน (cm^3)

V_m = ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวรูพรุนแบบโมเลกุลชั้นเดียว (Monomolecule Layer) ปกคลุมทั่วผิวรูพรุน (cm^3)

P = ความดันที่สภาวะใดๆ (mmHg)

P_s = ความดันไอหรือความดันอิ่มตัว (Vapor Pressure or Saturated Vapor) (mmHg)

C = ค่าจำเพาะสำหรับการดูดซับของก๊าซแต่ละชนิด

เมื่อเขียนกราฟจากสมการที่ (2.17) จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง V_m, C คำนวณหาได้จากจุดตัดและความชันเส้นตรง ค่า V_m ที่ได้นำมาเทียบเป็นพื้นที่ผิวรูพรุน S (m^2) ดังสมการ

$$S = \frac{V_m N_{AV}}{22400} a \qquad (2.18)$$

โดย S = พื้นที่ผิวรูพรุน (m^2)

N_{AV} = Avogadro Number (6.02×10^{23} molecules mol^{-1})

a = พื้นที่ต่อหน่วยโมเลกุลก๊าซ (cm^2 $molecule^{-1}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แต่ในกรณีที่รูพรุนใหญ่ จะใช้วิธีวัดแบบ Porosimeter โดยใช้หลักการอัดปรอทเข้าไปในรูพรุน จากปริมาตรของปรอทที่เข้าไปแทนที่รูพรุน ณ ความดันต่าง ๆ ก็จะคำนวณหาปริมาตรการกระจายรูพรุนตามเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนได้ ดังนั้นวิธีการแบบ BET ร่วมกับวิธีการวัดแบบ Porosimeter ก็จะสามารถหาการกระจายปริมาตรรูพรุนตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 10-10^5 อังสตรอง ซึ่งการกระจายของรูพรุนนั้นอาจมีการกระจายตัวในบางช่วงของรัศมีรูพรุนหรือหลายช่วงรัศมีรูพรุนก็ได้

2.5 กาแฟ [18]

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rubiaceae สายพันธุ์ Coffea มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Coffea Arabica L. กาแฟเป็นไม้ยืนต้น ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของทวีปแอฟริกา ซึ่งเป็นที่รู้จักกันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1820 ผลของกาแฟแต่ละผลจะให้สองเมล็ด ลักษณะผลเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีขาว เมื่อแก่จัด สีจะเข้มขึ้นและเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม

พืชในสายพันธุ์ Coffea ที่นิยมปลูกกันมาก คือ พันธุ์อะราบิกาและพันธุ์โรบัสตา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

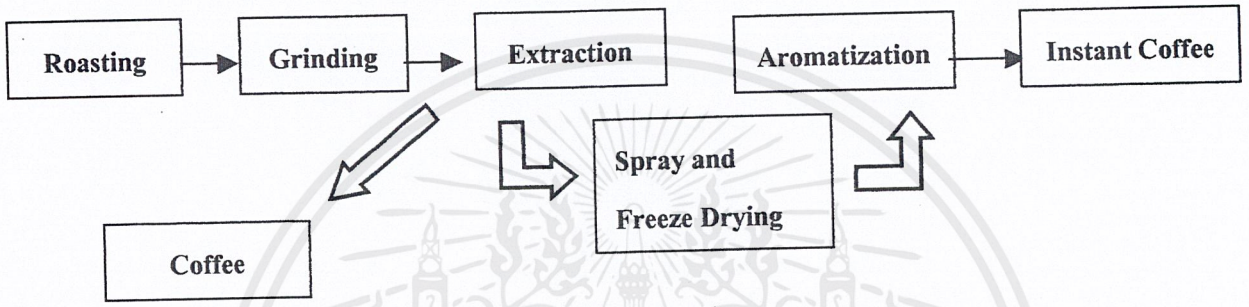
- พันธุ์อะราบิกา เป็นพันธุ์ที่ปลูกทั่วไปในประเทศเยเมน ให้ผลผลิตสูงมีปริมาณคาเฟอีนต่ำ และรสชาติหอมอร่อย จึงเป็นที่นิยมบริโภคมากกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยมากนิยมนำมาผลิตเป็นกาแฟคั่วบดผล (Roast Coffee) กาแฟอะราบิกายังแบ่งได้อีกหลายชนิด ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ปลูก เช่น Bourbon Maragogype ปลูกบริเวณประเทศบราซิล และ Mocha ปลูกบริเวณคาบสมุทรอาราเบีย นอกจากนี้ยังปลูกได้บริเวณประเทศโคลัมเบียและอเมริกากลาง

- พันธุ์โรบัสตา เป็นพันธุ์ที่ถูกค้นพบตอนปลายศตวรรษที่ 19 มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกา-กลาง มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ โรคพืช และแมลงได้ดี มีปริมาณคาเฟอีนค่อนข้างสูง และสามารถคงกลิ่นไว้ได้นานกว่าพันธุ์อะราบิกา ให้ผลผลิตสูง แต่รสชาติและกลิ่นของพันธุ์โรบัสตาไม่เป็นที่นิยมเท่ากับพันธุ์อะราบิกา จึงนิยมนำไปผลิตเป็นกาแฟผงสำเร็จรูป (Instant Coffee) พันธุ์โรบัสตานี้พบมากในแถบหมู่เกาะชวาและประเทศอินโดนีเซีย

ขั้นตอนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป แสดงในรูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์นี้ เริ่มต้นจากนำเมล็ดกาแฟที่กะเทาะเปลือกออกแล้วมาคั่ว แล้วจึงบดย่อยขนาด จากนั้นผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสูงโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Percolator จำนวน 6 คอลัมน์ เพื่อให้ได้ผลผลิตของเนื้อกาแฟมากที่สุดแล้วจึงกรองแยกออก ของแข็งที่เหลืออยู่คือ กากเมล็ดกาแฟ ส่วนของเหลวที่ได้ เรียกว่า Coffee Liquor ซึ่งจะส่งไปพักที่ถังเก็บ แล้วนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แห้งแบบฉีดพ่นฝอยจนกลายเป็นของแข็ง แล้วจึงผ่านการระเหยอีกครั้งเพื่อนำน้ำส่วนเกินออกอีกในขั้นตอน Freeze Drying ในนี้สุดจะได้กาแฟผง ซึ่งสามารถชง

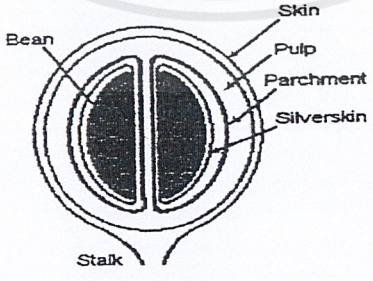
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45687

ดื่มได้ทันที แต่เนื่องจากในระหว่างขั้นตอนการสกัด จนถึง Freeze Drying จะมีการสูญเสียสารระเหยอะโรมาติก ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นหอมไปบางส่วน จึงต้องผ่านขั้นตอน Aromatization เพื่อเติมสารเหล่านี้อีกครั้งก่อนที่จะบรรจุลงถุงพร้อมกับเติมก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดความเสี่ยงต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่น



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป [19]

การปลูกกาแฟในประเทศไทยร้อยละ 97 ของการปลูกกาแฟทั้งหมด เป็นพันธุ์โรบัสตาซึ่งปลูกบริเวณแถบภาคใต้ คือ จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช กระบี่ ยะลา ระนอง และตรัง ส่วนพันธุ์อะราบิกาปลูกเป็นร้อยละ 3 ของการปลูกกาแฟทั้งหมดในประเทศซึ่งปลูกบริเวณทางภาคเหนือ ตามลาดเขาในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน จนถึงภาคเหนือตอนล่าง รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของเมล็ดกาแฟ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเปลือก คือ ส่วนที่เป็นเปลือกสีขาวกับส่วนที่เป็นผิวเมล็ดกาแฟ ซึ่งในส่วนนี้กาแฟทั้งสองพันธุ์มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน คือ ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคทิน ลิกนิน ยาง สี และไข

ส่วนเมล็ด คือ ส่วนที่นำไปบริโภค ประกอบด้วย สารระเหย (Volatile Matters) คือ สารพวกอะโรมาติก และเฮเทอโรไซคลิก โดยเฉพาะคาเฟอีน และประกอบด้วยแร่ธาตุ หลายชนิดหลักๆ คือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส องค์ประกอบทางเคมี ของเมล็ดกาแฟ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ [19]

สาร	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
	อะราบิกา	โรบัสตา
คาร์โบไฮเดรต	55-65.5	40-55.5
กรดและฟีนอล (สารระเหย คลอโรจินิค ลิกนิน)	8-11	9-17
ไขมัน (ไข น้ำมัน)	15-18	8-12
สารประกอบไนโตรเจน	1-2	1-2
แร่ธาตุ (โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส)	3-5.4	3-5.4
โปรตีน	8.5-12	8.5-12
คาเฟอีน	0.8-1.4	1.5-3.0

ในงานวิจัยนี้ใช้กากเมล็ดกาแฟซึ่งก็คือกาแฟที่ผ่านจากขั้นตอนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปจากบริษัทเนสท์เล่ เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 การเผาในที่อับอากาศ

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

กากเมล็ดกาแฟ

- อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ครูซิเบิล
3. เตาเผา
4. ภาชนะเก็บสาร
5. เดสิกเคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. นำกากเมล็ดกาแฟที่ได้มาทำให้แห้งโดยผึ่งแดด หรืออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
2. บดให้ละเอียดจนสามารถผ่านตะแกรงขนาด 60 เมชได้
3. นำกากเมล็ดกาแฟที่ได้ไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์
4. นำไปเผาในที่อับอากาศ (โดยปิดฝาครูซิเบิล) ที่อุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด
5. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์

กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการเผาแบบอับอากาศ คือ

- อุณหภูมิ 300, 350, 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส
- เวลาในการเผาอับอากาศที่ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

ในเบื้องต้นจะเผากากเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 30 นาที และสำหรับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนคงตัวและผลผลิตสูงจะนำมาเผาที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาในการเผาที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การกระตุ้นคาร์บอน

3.2.1 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

คาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาแบบอับอากาศ

- อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ครูซิเบิล
3. เตาเผา
4. ภาชนะเก็บสาร
5. เดสิกเคเตอร์
6. เครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาแบบอับอากาศ 10 กรัม
2. บรรจุลงเครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ
3. ผ่านไอน้ำความดัน 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เปิดเครื่องให้ความร้อน เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายใน ตรงตามที่กำหนด
4. ปิดเครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำเมื่อครบเวลาที่กำหนด รอให้เย็นแล้วจึงนำคาร์บอนกัมมันต์ออกมา
5. ชั่งน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้แล้วเก็บไว้ในเดสิกเคเตอร์

ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด

- อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส
- เวลา 60, 120 และ 180 นาที

3.2.2 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์หรือสารละลายกรดฟอสฟอริก

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

1. คาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาแบบอับอากาศ
2. สารละลายซิงค์คลอไรด์เกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก
3. สารละลายกรดฟอสฟอริกเกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้นร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก
4. สารละลายกรดเกลือความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ครูซิเบิล
3. แท่งแก้วคนสาร
4. กระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
6. แผ่นให้ความร้อน
7. ตู้อบ
8. เตาเผา
9. เดสิกเคเตอร์
10. กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 42
11. ภาชนะบรรจุสาร
12. กระดาษลิตมัส

วิธีการทดลอง

1. นำคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาแบบอับอากาศมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำใส่ครูซิเบิล แล้วเติมสารละลายซิงค์คลอไรด์หรือสารละลายกรดฟอสฟอริกตามอัตราส่วนที่กำหนด

2. ปิดฝาแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด

3. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นแล้วไปล้างด้วยน้ำร้อน ซึ่งคาร์บอน-กัมมันต์จะจับตัวเป็นก้อน จึงต้องใช้แท่งแก้วคนสารบดคาร์บอนกัมมันต์ให้เล็กลง ล้างซ้ำด้วยน้ำร้อนจำนวนหลายๆ ครั้ง เพื่อล้างสารเคมีที่อาจจะตกค้างอยู่ให้หมดไป

4. ล้างคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสารละลายกรดเกลือ เพื่อกำจัดสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ จำนวน 2-3 ครั้ง

5. ล้างคาร์บอนกัมมันต์ด้วยน้ำร้อนอีกหลายครั้ง และทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จนมั่นใจว่าเป็นกลาง

6. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปอบให้แห้ง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์

ตัวแปรที่ใช้ในการกระตุ้น

- อัตราส่วนโดยน้ำหนักคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ คือ 1:1.5 และ 1:2.5 และอัตราส่วนโดยน้ำหนักคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก คือ 1:1.42 และ 1:2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส
- เวลา 30, 60 และ 90 นาที

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

คุณสมบัติคาร์บอนกัมมันต์ที่จะทดสอบ คือ ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด พื้นที่ผิวรูพรุน ปริมาตรรูพรุน ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน BET [21]

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

1. ก๊าซไนโตรเจน
2. ไนโตรเจนเหลว
3. คาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการทดสอบคุณสมบัติ

- อุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ Specific Surface Area ของของแข็ง โดยกระบวนการดูดซับก๊าซไนโตรเจน Area Meter II ของ StrÖhlein Instruments ประเทศเยอรมนี พร้อมอุปกรณ์ประกอบการวิเคราะห์ตามคำแนะนำในคู่มือการใช้เครื่องมือนี้
2. เตาอบ

วิธีการทดลอง

1. อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ แล้วชั่ง 0.02-0.05 กรัม ใส่ลงใน Adsorption Vessel
2. วาง Adsorption Vessel ที่บรรจุตัวอย่างไว้นี้ลงใน Heating Thermostat
3. อุ่นตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผ่านก๊าซไนโตรเจนธรรมดาที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลาประมาณ 45 นาที เพื่อกำจัดโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวอย่างก่อนทำการวัด
4. ใช้ Adsorption Vessel 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากันโดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า
5. ผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง
6. ทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน Cold Bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิด Pressure Difference ระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งวัดได้โดยใช้ Differential Monometer
7. อ่านค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การดูดซับฟีนอลและทอลูอีน

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

1. ฟีนอล เกรดวิเคราะห์
2. ทอลูอีน เกรดวิเคราะห์
3. คาร์บอนกัมมันต์ที่ต้องการพิจารณาค่าการดูดซับ
4. น้ำกลั่น

- อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรจำนวน 10 ขวด
2. กรวยกรองแก้วและกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด
4. ปิเปตขนาด 100 มิลลิลิตร
5. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1601 Shimadzu
6. เครื่องกรองสุญญากาศ
7. เครื่องเขย่าสาร
8. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. นาฬิกาจับเวลา

การเตรียมสารละลายฟีนอลและทอลูอีน

1. ชั่งฟีนอลหรือทอลูอีน 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ให้มีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ลูกบาศก์-เซนติเมตร

3. สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายมาตรฐานสำหรับฟีนอลและทอลูอีน

3.4.1 การทดลองเพื่อหาไอโซเทอร์มการดูดซับ

- การพิจารณาขั้นต้นถึงเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

1. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่อบแห้งและคัดขนาดให้ได้ 60-80 เมช จำนวน 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด

2. เติมสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 500 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ในข้อ 1. นำไปเขย่าและจับเวลา

3. เมื่อเวลาผ่านไป 15, 30, 45, 60, 90 และ120 นาที ตามลำดับนำสารละลายจากขวดรูปชมพู่ที่ได้ทำการดูดซับตามระยะเวลาดังกล่าว มากรองคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันที และนำสารละลายใสไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือในสารละลายด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ความยาวคลื่นที่ใช้ คือ 270 นาโนเมตร [22]

4. นำข้อมูลมาเขียนไอโซเทอร์มเพื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับต่อไป

5. การทดลองดูดซับทอลูอีน โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการทดลองดูดซับฟีนอล โดยเปลี่ยนความยาวคลื่นเป็น 220 นาโนเมตร

6. ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลของข้อมูล

- การปรับเวลาที่ใช้ในการดูดซับให้เหมาะสม

พิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับ ถ้าอัตราการดูดซับเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาเร็วเกินไป ให้เปลี่ยนเวลาที่ใช้ทำการทดลองใหม่

3.4.2 การทดลองเพื่อหาปริมาณการดูดซับ

1. เตรียมความเข้มข้นของฟีนอลที่ 100, 300 และ 500 ppm

2. นำคาร์บอนกัมมันต์ที่อบแห้งและคัดขนาดให้ได้ 60-80 เมช จำนวน 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

3. ปิเปตสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่างๆ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ในข้อ 2. นำไปเขย่าและจับเวลา

4. เมื่อได้เวลาที่เหมาะสม (พิจารณาจากไอโซเทอร์มการดูดซับที่ความเข้มข้นของฟีนอลคงที่) กรองสารละลายข้างต้นด้วยเครื่องกรองสุญญากาศให้ได้สารละลายใสแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV- Visible Spectrophotometer ตามค่าความยาวคลื่นข้างต้น เพื่อพิจารณาปริมาณการดูดซับต่อไป

5. เปลี่ยนสารเคมีเป็นทอลูอีน ทำการทดลองตามวิธีการดูดซับข้างต้น

6. เปลี่ยนชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทดสอบการดูดซับ ทำการทดลองตามวิธีการดูดซับข้างต้น

7. ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลของข้อมูล

8. สร้างกราฟจากข้อมูลที่ได้เพื่อหาปริมาณในการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

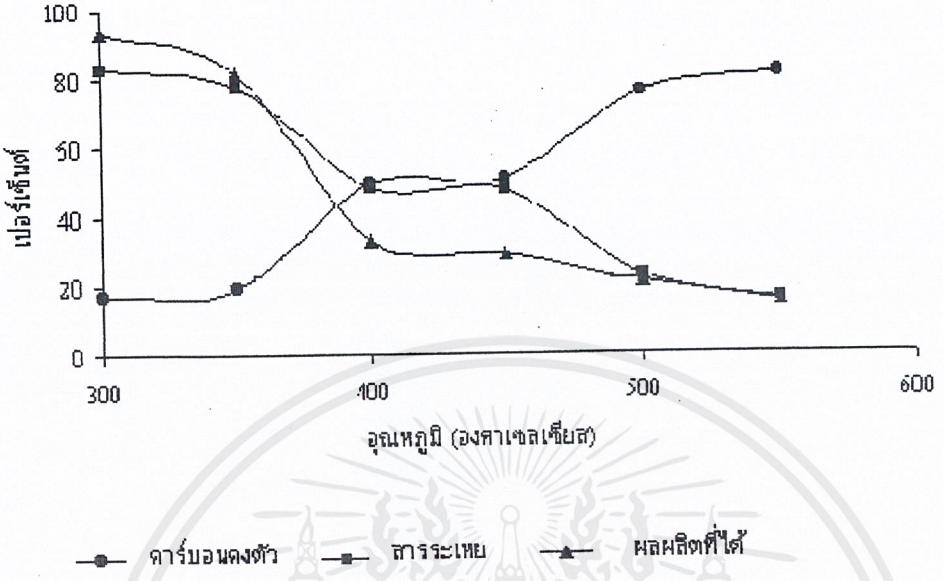
4.1 การเผาแบบอับอากาศ

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ และองค์ประกอบของคาร์บอน แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์สารที่ระเหย (% Volatile Matters)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% Yield)	เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon)
300	81.36	93.70	17.07
350	77.58	82.20	19.60
400	48.55	32.70	50.16
450	47.67	29.10	51.05
500	22.86	21.30	76.00
550	16.00	15.50	81.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแบบอับอากาศที่เวลา 30 นาที ต่อเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์สารระเหย และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตคาร์บอนที่ได้ และเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากผลการทดลอง เลือกการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวที่สูงโดยที่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไม่น้อยเกินไป เปรียบเทียบข้อมูลได้กับงานวิจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 4.2 จากนั้นหาค่าเวลาในการเผาแบบอับอากาศที่เหมาะสมโดยกำหนดอุณหภูมิคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียส แล้วพิจารณาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

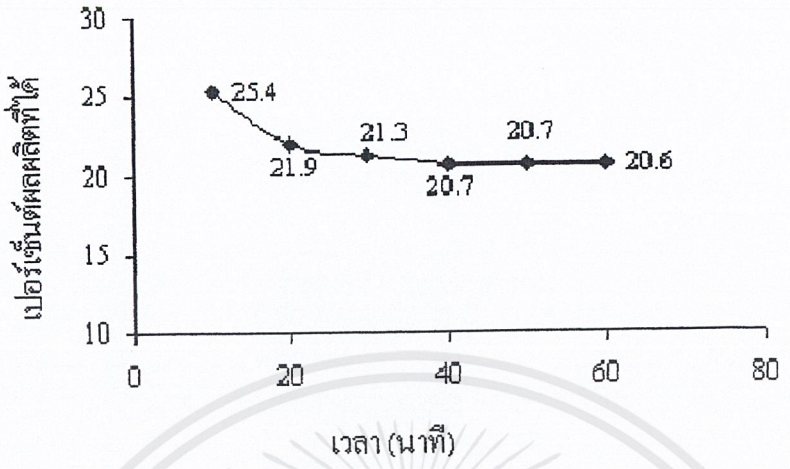
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ที่ได้จากกากเมล็ดกาแฟเปรียบเทียบกับวัสดุต่างๆ

วัสดุที่ใช้	อุณหภูมิการเผาแบบอับอากาศ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้
ยูคาลิปตัส [1]	600	25
Sugar Carbon [2]	675	47
ชานอ้อย [3]	550	20
Brab Palm [4]	200	55
เปลือกถั่ว [5]	750	30
ฟางข้าว [5]	750	35
กากถั่วเหลือง[5]	750	25
เปลือกวอลนัท [5]	750	26
ชานอ้อย[5]	750	35
ปาล์มน้ำมัน [6]	400	35
กากเมล็ดกาแฟ	500 (ที่เวลา 30 นาที)	21

จากผลการทดสอบได้ข้อมูลตามรูปที่ 4.2 เวลาที่เหมาะสม คือ 40 นาที

การเผากากกาแฟแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส และเวลาที่ 40 นาที เป็นสภาวะเหมาะสมสำหรับการกระตุ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส

4.2 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด

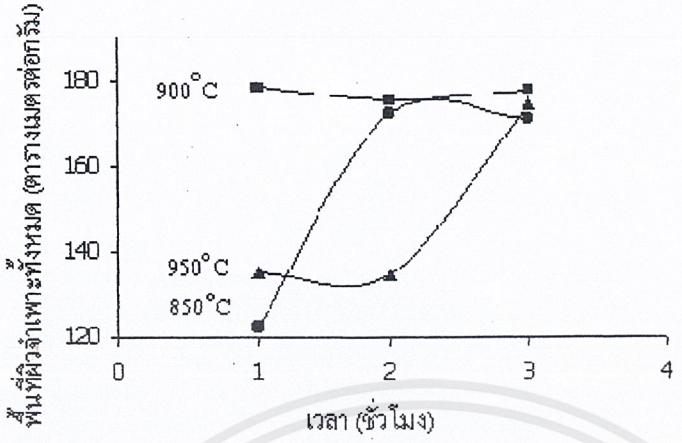
คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด (Total Specific Surface Area, $\overline{S}_{TOT}$) พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous Surface Area, $\overline{S}_{meso}$) และปริมาตรรูพรุน (Pore Volume, $\overline{V}_p$) ดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

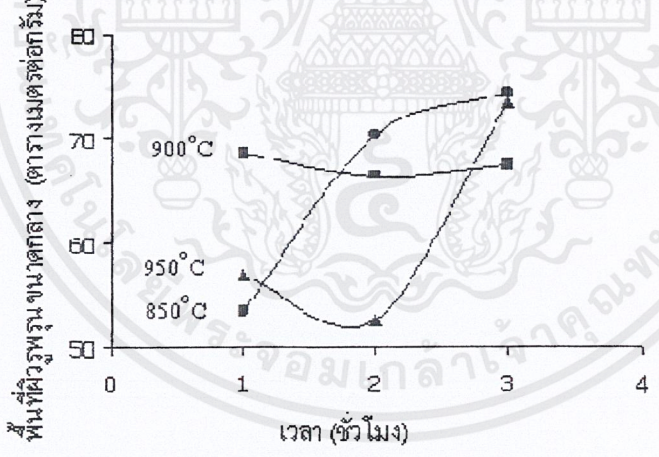
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด

ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\overline{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\overline{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)
1	850	60	2.4740	122.1029	53.4581	0.0755
2		120	2.5734	172.2978	70.4751	0.1108
3		180	2.5553	171.0343	74.2838	0.1093
4	900	60	2.4412	178.4851	68.6636	0.1089
5		120	2.4399	175.2934	66.4266	0.1069
6		180	2.4008	177.6492	67.4755	0.1066
7	950	60	2.5925	135.1171	56.8383	0.0875
8		120	2.4904	134.7502	52.5036	0.0839
9		180	2.5151	174.6163	73.4067	0.1098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด หลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง หลังการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด

ในกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด สภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.5 นาโนเมตร พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 180 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 70 ตารางเมตรต่อกรัม หรือประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด และปริมาตรรูพรุน 0.109 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

4.3 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยซิงค์คลอไรด์

การกระตุ้นคาร์บอนด้วยซิงค์คลอไรด์ มีผลอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง และปริมาตรรูพรุนแสดงตามตารางที่ 4.4 และ 4.5 และรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1 : 1.5 โดยน้ำหนัก

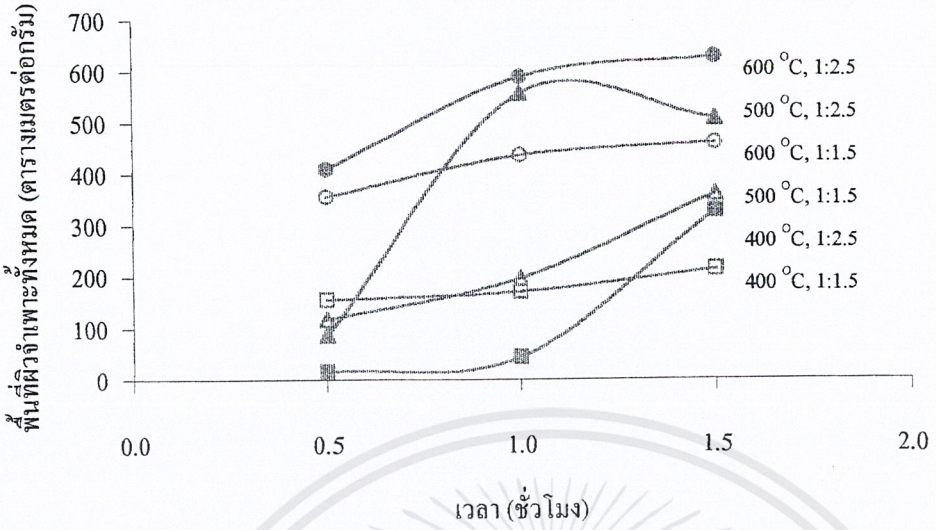
ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\overline{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\overline{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{V}_p$ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)
1	400	30	2.3313	156.1636	50.8406	0.0910
2		60	2.3352	171.2154	68.1964	0.0999
3		90	3.0268	213.1849	108.2544	0.1613
4	500	30	2.4093	117.1953	49.2704	0.0706
5		60	2.3038	197.0848	57.6257	0.1135
6		90	2.3294	359.7410	149.7651	0.2095
7	600	30	2.2928	355.6297	109.7875	0.2039
8		60	2.2909	436.3006	131.2506	0.2499
9		90	2.2785	459.0492	130.3982	0.2615

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

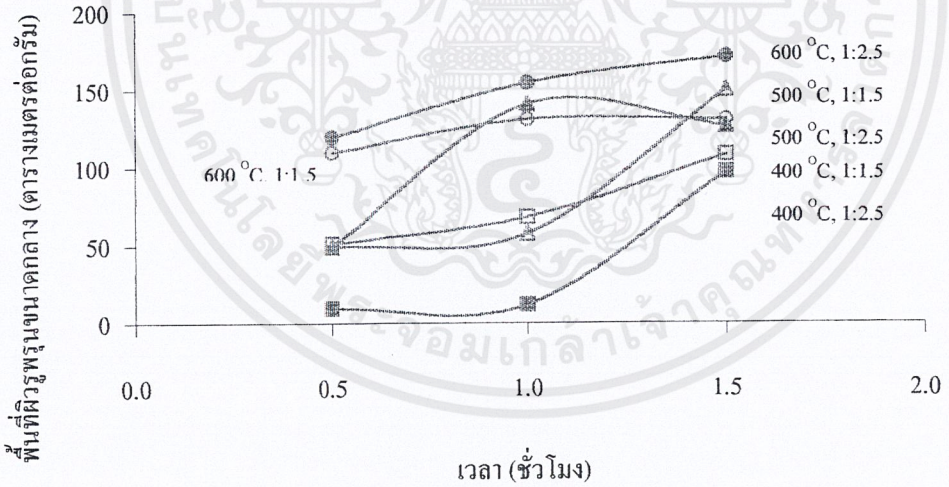
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอัดอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1 : 2.5 โดยน้ำหนัก

ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศา-เซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\bar{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\bar{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{V}_p$ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)
1	400	30	2.8260	16.3535	9.4800	0.0115
2		60	2.2377	44.0818	12.0094	0.0136
3		90	2.3349	326.3347	96.9768	0.1905
4	500	30	2.5815	87.4794	49.5813	0.0564
5		60	2.3186	556.9838	140.9765	0.3228
6		90	2.3376	506.5721	126.4208	0.2960
7	600	30	2.2908	409.7005	119.7625	0.2346
8		60	2.2853	588.8379	154.7155	0.3364
9		90	2.2874	625.5335	171.0827	0.3577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ 1:1.5 และ 1:2.5



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ 1:1.5 และ 1:2.5

สภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการกระตุ้น 90 นาที จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 625 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 171 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุน 0.358 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

4.4 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยกรดฟอสฟอริก

การกระตุ้นคาร์บอนด้วยกรดฟอสฟอริก มีผลอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง และปริมาตรรูพรุนแสดงตามตารางที่ 4.6 และ 4.7 และรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1 : 1.42 โดยน้ำหนัก

ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\overline{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\overline{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{V}_p$ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)
1	400	30	2.2837	32.5626	13.4589	0.0186
2		60	2.3461	0.0538	91.6987	35.7976
3		90	2.3231	0.1177	202.6955	52.4773

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1 : 1.42 โดยน้ำหนัก (ต่อ)

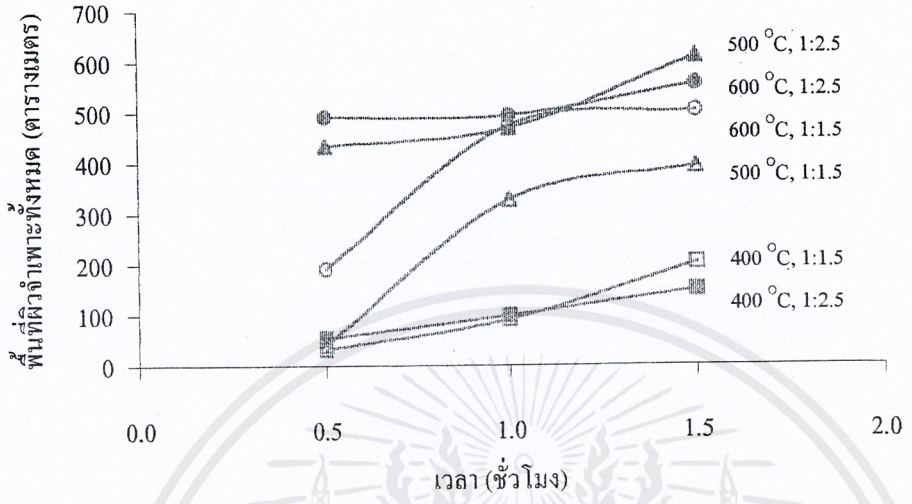
ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\overline{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\overline{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)
4	500	30	2.5196	41.2563	19.3886	0.0256
5		60	2.1798	327.7006	100.6153	0.1785
6		90	2.3087	393.2053	148.5074	0.2270
7	600	30	2.2222	190.9945	50.3131	0.1061
8		60	2.2922	474.7800	188.6721	0.2721
9		90	2.2923	502.4091	204.0957	0.2879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

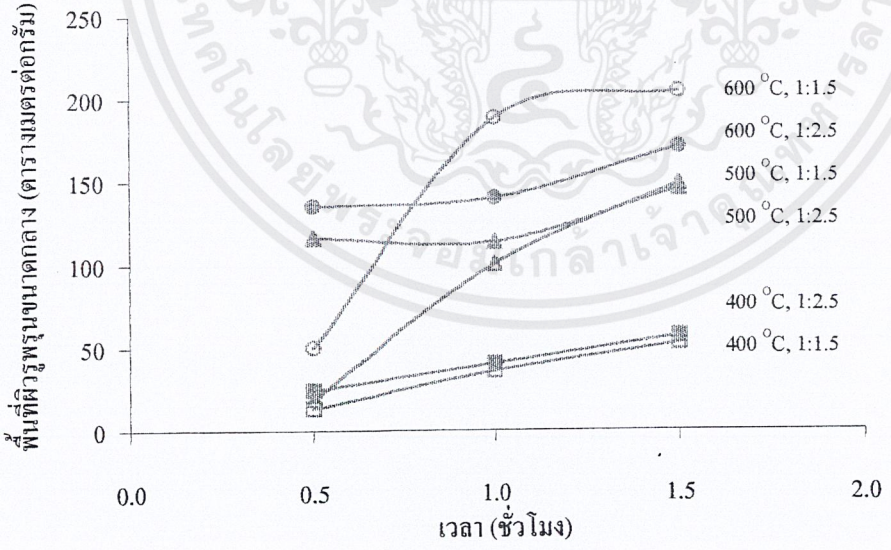
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของคาร์บอนเผาแบบอัดอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที หลังการกระตุ้นด้วยคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1 : 2.49 โดยน้ำหนัก

ลำดับที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	$\overline{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\overline{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\overline{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)
1	400	30	2.4017	54.6140	24.3714	0.0328
2		60	2.4051	98.7463	40.5453	0.0594
3		90	2.3945	149.5258	56.9899	0.0895
4	500	30	0.2533	433.3648	116.3436	2.3379
5		60	0.2703	469.1216	113.9799	2.3046
6		90	0.3499	609.9960	145.4381	2.2948
7	600	30	0.2824	490.8636	135.6208	2.3010
8		60	0.2839	493.7317	140.4224	2.2998
9		90	0.3153	556.1454	170.7424	2.2676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ 1:1.42 และ 1:2.49



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้นคาร์บอนต่อพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ 1:1.42 และ 1:2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.49 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการกระตุ้น 90 นาที จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร พื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 556 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 170 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุน 0.315 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

4.5 การทดสอบการดูดซับ

เลือกคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่สภาวะที่เหมาะสม ดังกล่าวในหัวข้อ 4.3 และ 4.4 เนื่องจากได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพโดยรวมดีที่สุด

4.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

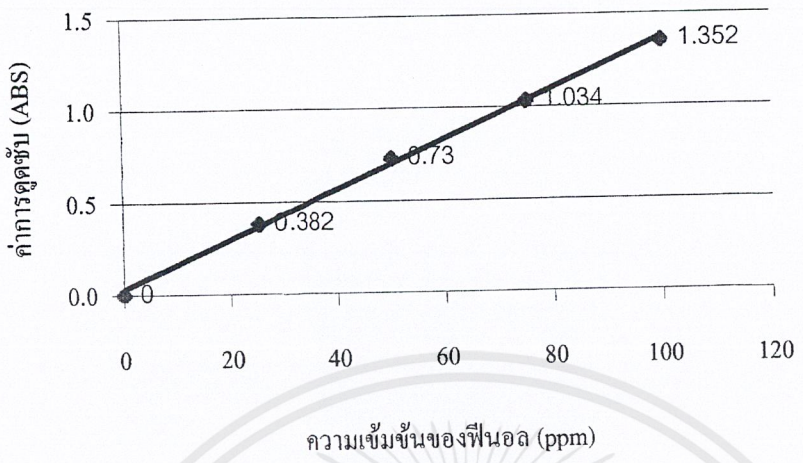
การสร้างกราฟมาตรฐานของฟีนอลและทอลูอีน แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 และในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 กราฟมาตรฐานของฟีนอล

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS)
100	1.352
75	1.034
50	0.730
25	0.382

หมายเหตุ น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5003 กรัม ความยาวคลื่นการดูดซับ 270 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



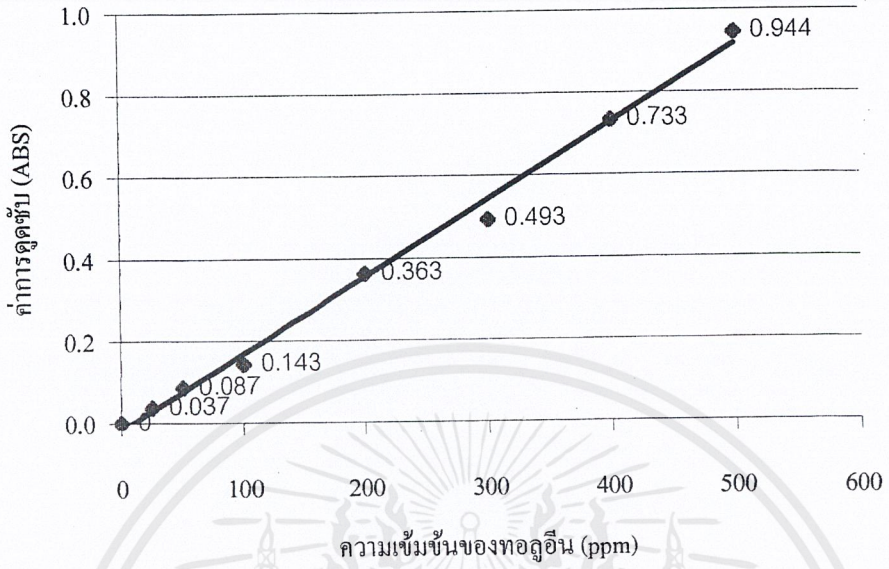
รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของฟีนอล

ตารางที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของทอลูอีน

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS)
500	0.944
400	0.733
300	0.493
200	0.363
100	0.143
50	0.087
25	0.037

หมายเหตุ น้ำหนักทอลูอีนในสารละลายมาตรฐาน 0.5094 กรัม ความยาวคลื่นการดูดซับ 220 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของทอลูอีน

4.5.2 การทดลองหาค่าการดูดซับ

กำหนดความเข้มข้นของฟีนอลและทอลูอีน ที่ 500 ppm และนำไปดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ข้างต้น ที่เวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

การดูดซับฟีนอล

- การดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นการแสดงค่าการดูดซับฟีนอล เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล

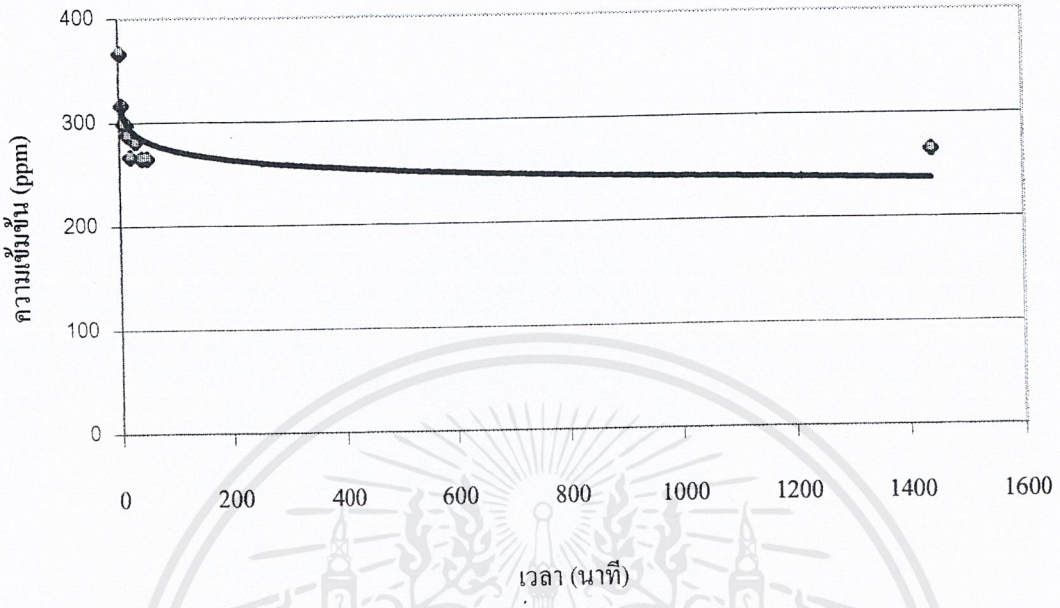
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้น
ด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ลำดับที่	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับ (ABS) (เจือจาง 10 เท่า)		ความเข้มข้น (ppm)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	3	0.522	0.526	366.667	369.630
2	5	0.454	0.456	316.296	317.778
3	8	0.430	0.431	298.519	299.259
4	13	0.428	0.430	297.037	298.519
5	15	0.416	0.416	288.148	288.148
6	20	0.387	0.389	266.667	268.148
7	30	0.407	0.406	281.481	280.741
8	40	0.385	0.386	265.185	265.926
9	50	0.385	0.387	265.185	266.667
10	1440	0.385	0.386	265.185	265.926

หมายเหตุ ลำดับที่ 1-5 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5002 กรัม
ลำดับที่ 6-10 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5009 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

- การดูดซับของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก แสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นการแสดงค่าการดูดซับฟีนอล เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

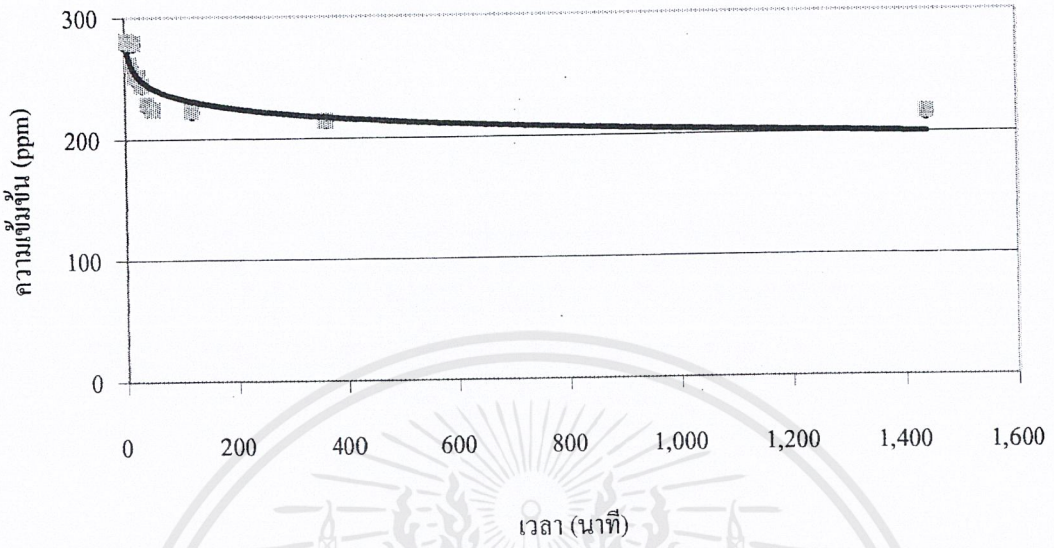
ตารางที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ลำดับที่	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับ (ABS) (เจือจาง 10 เท่า)		ความเข้มข้น (ppm)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	5	0.401	0.406	277.037	280.741
2	10	0.379	0.380	260.741	261.481
3	15	0.403	0.404	278.519	279.259
4	20	0.364	0.367	249.630	251.852
5	25	0.361	0.367	247.407	251.852
6	30	0.357	0.357	244.444	244.444
7	40	0.334	0.336	227.407	228.889
8	50	0.332	0.330	225.926	224.444
9	120	0.327	0.328	222.222	222.963
10	360	0.316	0.316	214.074	214.074
11	1,440	0.318	0.319	215.556	216.296

หมายเหตุ ลำดับที่ 1-5 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5002 กรัม

ลำดับที่ 6-11 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5009 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

การดูดซับของทอลูอีน

- การดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ แสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นการแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีน เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

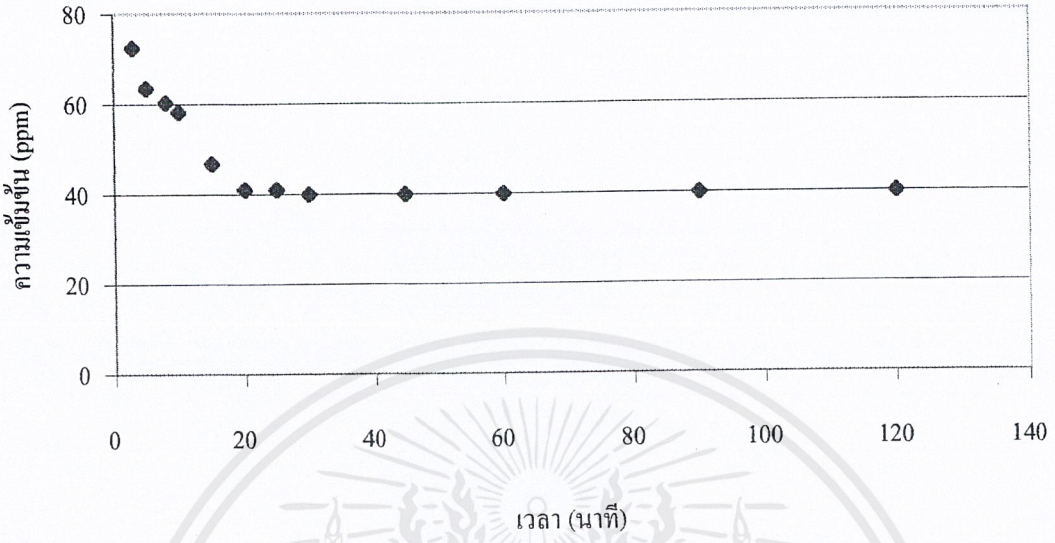
ตารางที่ 4.12 ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ลำดับที่	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับ (ABS)	ความเข้มข้น (ppm)
1	5	0.113	72.526
2	8	0.096	63.579
3	10	0.090	60.421
4	15	0.086	58.316
5	20	0.064	46.737
6	25	0.053	40.947
7	30	0.053	40.947
8	45	0.051	39.895
9	60	0.051	39.895
10	90	0.051	39.895
11	120	0.051	39.895

หมายเหตุ ลำดับที่ 1-5 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5120 กรัม

ลำดับที่ 6-11 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5029 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

- การดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก แสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นการแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีน เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

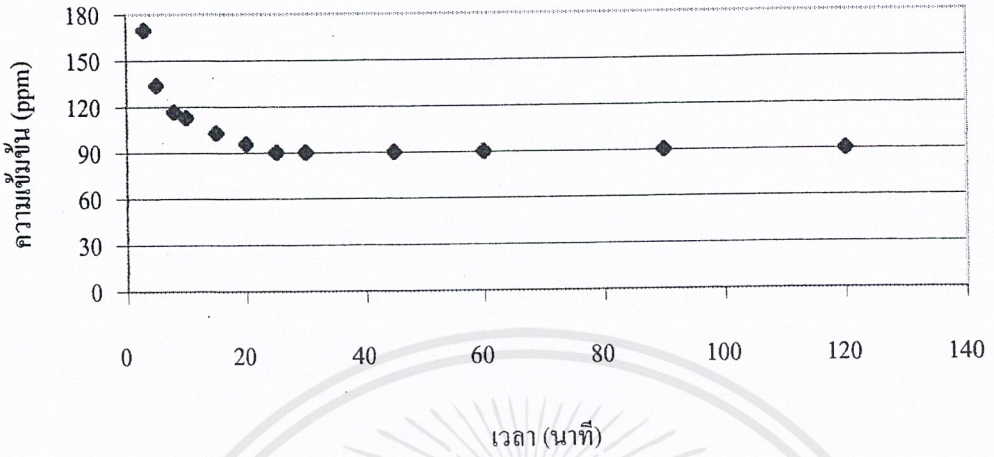
ตารางที่ 4.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ลำดับที่	เวลา (นาที)	ค่าการดูดซับ (ABS)	ความเข้มข้น (ppm)
1	3	0.298	169.895
2	5	0.230	134.105
3	8	0.197	116.737
4	10	0.190	113.053
5	15	0.171	103.053
6	20	0.157	95.684
7	25	0.147	90.421
8	30	0.147	90.421
9	45	0.147	90.421
10	60	0.147	90.421
11	90	0.147	90.421
12	120	0.147	90.421

หมายเหตุ ลำดับที่ 1-5 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5029 กรัม

ลำดับที่ 6-12 น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5109 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ไอโซเทอร์มการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

4.5.3 ค่าการดูดซับ

จากข้อมูลการดูดซับในหัวข้อ 4.5.2 เลือกเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลมาทำการทดลองโดยกำหนดเวลาคงที่ ที่ความเข้มข้น 100-500 ppm เพื่อสร้างกราฟคำนวณค่าการดูดซับต่อไป

ค่าการดูดซับของฟีนอล

- ค่าการดูดซับของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

เลือกการทดลองที่ 24 ชั่วโมงเพื่อนำมาหาค่าการดูดซับ ได้ผลดังตารางที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS) (เจือจาง 10 เท่า)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
100	0.025	0.030	0.028
200	0.081	0.079	0.080
300	0.167	0.169	0.168
400	0.260	0.261	0.261
500	0.385	0.387	0.386

หมายเหตุ น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5006 กรัม

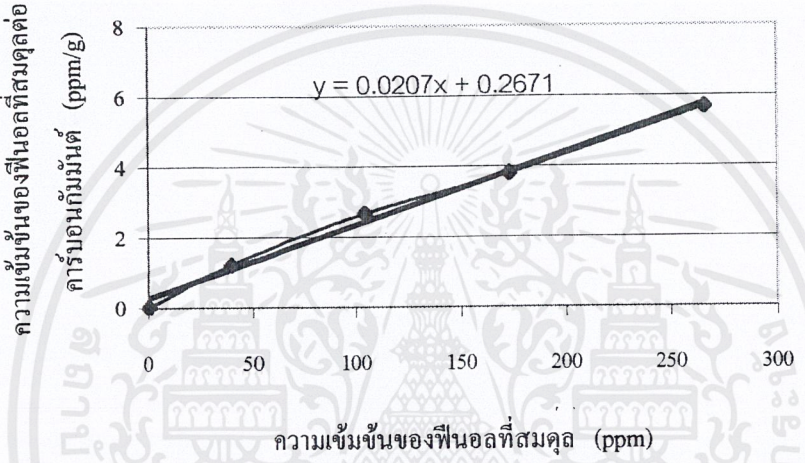
นำค่าการดูดซับเฉลี่ยจากในตารางที่ 4.14 มาเทียบหาค่าความเข้มข้นฟีนอล จากกราฟมาตรฐานของฟีนอล (รูปที่ 4.9) ได้ค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล (C_x) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ (v) ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค และค่าการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุลและปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุล (ppm), C_x	ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม), v
100	0.5007	0.370	19.90
200	0.5001	39.259	32.14
300	0.5009	104.444	39.04
400	0.5009	172.963	45.33
500	0.5003	265.926	46.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล และปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ มาสร้างกราฟระหว่าง $\frac{C_x}{v}$ กับ C_x ตามรูปที่ 4.15 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.7 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว (v_m) จากรูปที่ 4.15 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0207x + 0.2671$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า v_m และได้ค่า $v_m = 48.31$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 4.15 การคำนวณค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

- ค่าการดูดซับของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

เลือกการทดลองที่ 24 ชั่วโมงเพื่อนำมาหาค่าการดูดซับ ได้ผลดังตารางที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS) (เจือจาง 10 เท่า)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
100	0.035	0.031	0.033
200	0.081	0.084	0.0825
300	0.173	0.175	0.174
400	0.255	0.251	0.253
500	0.318	0.319	0.3185

หมายเหตุ น้ำหนักฟีนอลในสารละลายมาตรฐาน 0.5002 กรัม

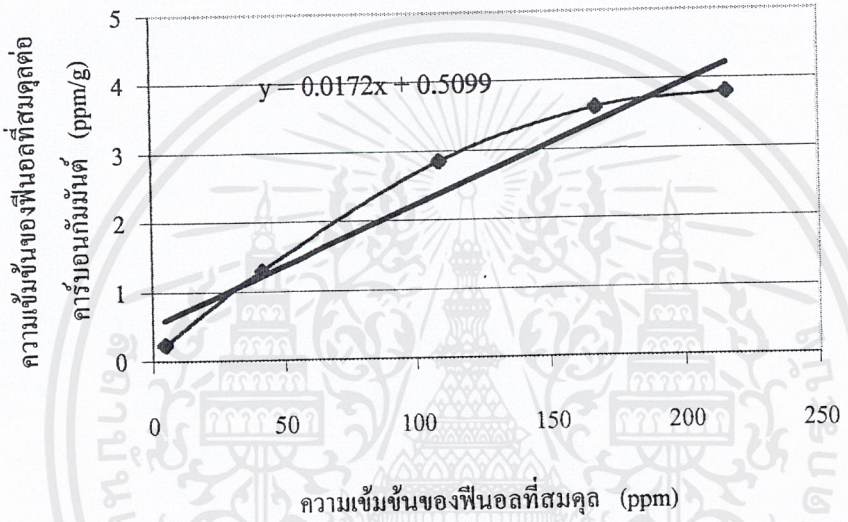
นำค่าการดูดซับเฉลี่ยจากในตารางที่ 4.16 มาเทียบหาค่าความเข้มข้นฟีนอล จากกราฟมาตรฐานของฟีนอล (รูปที่ 4.9) ได้ค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล (C_x) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ (v) แสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุลและปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นฟีนอลที่สมดุล (ppm), C_x	ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม), v
100	0.5006	4.444	19.09
200	0.5003	41.111	31.76
300	0.5006	108.889	38.18
400	0.5009	167.407	46.44
500	0.5004	215.926	56.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล และปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ มาสร้างกราฟระหว่าง $\frac{C_x}{v}$ กับ C_x ตามรูปที่ 4.16 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.7 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว (v_m) จากรูปที่ 4.16 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0172x + 0.5099$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า v_m และได้ค่า $v_m = 58.14$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 4.16 การคำนวณค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ค่าการดูดซับของทอลูอีน

- ค่าการดูดซับของทอลูอีนที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

จากการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ จะได้เวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุล คือ 30 นาที จึงทำการทดลองการดูดซับที่เวลา 30 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ค่าการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
100	0.019	0.021	0.020
300	0.027	0.034	0.031
500	0.051	0.051	0.051

หมายเหตุ น้ำหนักทอลูอีนในสารละลายมาตรฐาน 0.5029 กรัม

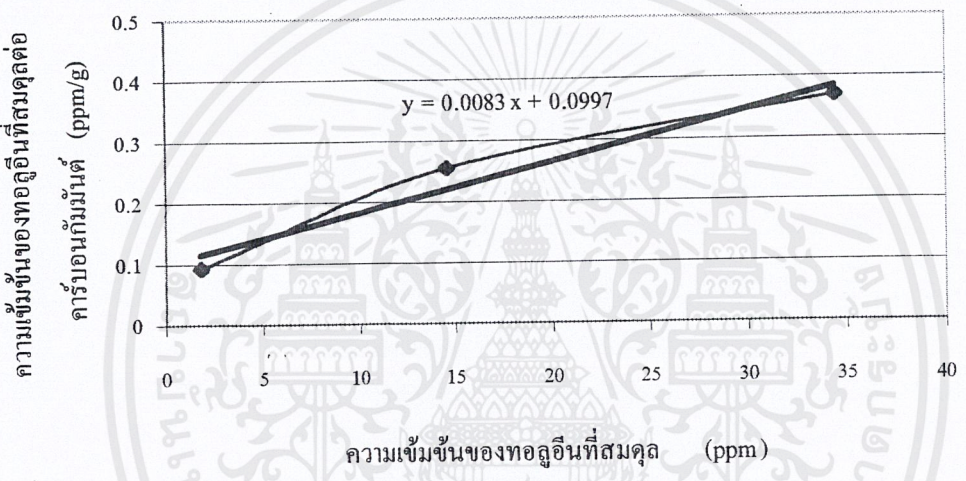
นำค่าการดูดซับเฉลี่ยจากในตารางที่ 4.18 มาเทียบหาค่าความเข้มข้นทอลูอีน จากกราฟมาตรฐานของทอลูอีน (รูปที่ 4.10) ได้ค่าความเข้มข้นของทอลูอีนที่สมดุล (C_x) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ (v) แสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล และปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล (ppm), C_x	ปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม), v
100	0.5006	1.824	19.61
300	0.5006	14.582	57.02
500	0.5004	34.407	93.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล และปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ มาสร้างกราฟระหว่าง $\frac{C_x}{v}$ กับ C_x ตามรูปที่ 4.17 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.7 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว (v_m) จากรูปที่ 4.17 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0083x + 0.0997$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า v_m และได้ค่า $v_m = 120.48$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 4.17 การคำนวณค่าปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

- ค่าการดูดซับของทอลูอีนที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

จากการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก จะได้เวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุล คือ 25 นาที จึงทำการทดลองการดูดซับที่เวลา 25 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ค่าการดูดซับทอลูอีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดซับ (ABS)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
100	0.023	0.021	0.022
300	0.056	0.050	0.053
500	0.147	0.147	0.147

หมายเหตุ น้ำหนักทอลูอีนในสารละลายมาตรฐาน 0.5094 กรัม

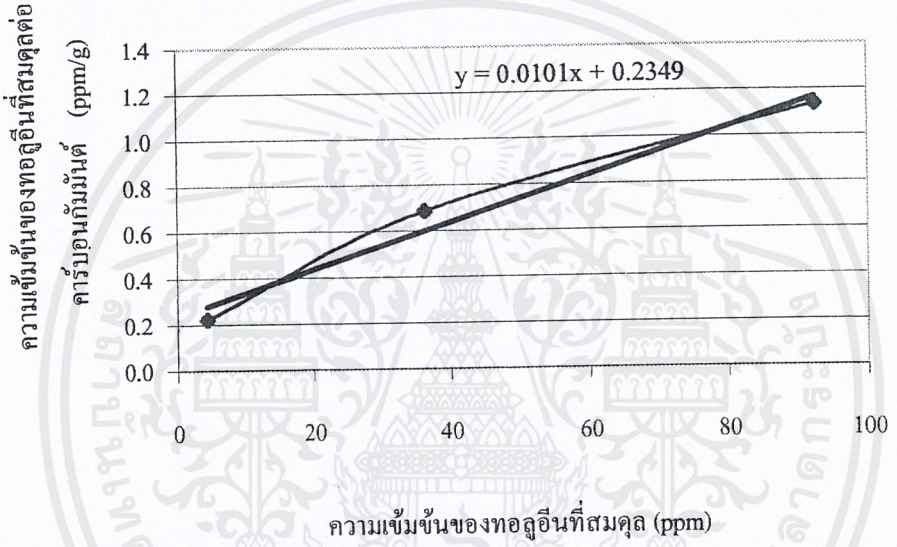
นำค่าการดูดซับเฉลี่ยจากในตารางที่ 4.20 มาเทียบหาค่าความเข้มข้นทอลูอีน จากกราฟมาตรฐานของทอลูอีน (รูปที่ 4.10) ได้ค่าความเข้มข้นของทอลูอีนที่สมดุล (C_x) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ (v) แสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล และปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นทอลูอีนที่สมดุล (ppm), C_x	ปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม), v
100	0.5005	4.251	19.13
300	0.5008	36.178	52.68
500	0.5005	92.444	81.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเข้มข้นของทอลูอีนที่สมดุล และปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ มาสร้างกราฟระหว่าง C_x กับ $\frac{C_x}{v}$ ตามรูปที่ 4.18 ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.7 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว (v_m) จากรูปที่ 4.18 ได้ความสัมพันธ์ของกราฟ คือ $y = 0.0101x + 0.2349$ โดยที่ค่าความชันเป็นส่วนกลับกับค่า v_m และได้ค่า $v_m = 99.01$ มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์



รูปที่ 4.18 การคำนวณค่าปริมาณทอลูอีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่อิ่มตัว โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การเผาแบบอับอากาศ

การเผาแบบอับอากาศในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลอง คือ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 40 นาที ทำให้ได้ปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวที่ประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ที่ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์

5.2 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด

การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด สภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 180 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 70 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.5 นาโนเมตร

5.3 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 90 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 625 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 171 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.358 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร

5.4 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

การกระตุ้นคาร์บอนด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.49 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 90 นาที คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดประมาณ 556 ตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางประมาณ 170 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.3153 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 2.3 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5. การพิจารณาเลือกคาร์บอนกัมมันต์เพื่อใช้ในการทดสอบการดูดซับ

พิจารณาเลือกคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที และคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.49 อุณหภูมิการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด และพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางมากที่สุด เพื่อใช้ในการดูดซับ

ทั้งนี้ ไม่พิจารณาเลือกคาร์บอนกัมมันต์จากสภาวะการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวด เนื่องจากสมบัติของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด และพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางไม่สูงเพียงพอ

5.6 การทดสอบการดูดซับฟีนอล

คาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลได้มากกว่าคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ โดยมีค่าการดูดซับ คือ 58 และ 48 มิลลิกรัมฟีนอลที่ได้ต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ

5.7 การทดสอบการดูดซับทอลูอีน

คาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับทอลูอีนได้มากกว่าคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยมีค่าการดูดซับ คือ 120 และ 100 มิลลิกรัมทอลูอีนที่ได้ต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 การกระตุ้นคาร์บอนด้วยไอน้ำยิ่งยวด

ผลการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดยังไม่เป็นที่พอใจ ทั้งในเรื่องของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด และพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำที่ใช้ไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ทำให้ไม่สามารถกระตุ้นคาร์บอนเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึง ควรปรับปรุงเครื่องปฏิกรณ์ไอน้ำ และทดลองใหม่อาจได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมดสูงขึ้น

6.2 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์

ได้ทดลองหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริก พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่วัดได้ไม่ค่อยแน่นอน แม้จะทดลองซ้ำเพื่อยืนยันค่าก็ตาม ไม่สามารถสรุปเป็นค่าที่แน่นอนได้ ช่วงของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่าง 600-900 มิลลิกรัมต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์

6.3 การดูดซับฟีนอลและทอลูอีน

การทดสอบการดูดซับมีปัญหาอย่างยิ่งในการเตรียมสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้นตรงตามต้องการ เนื่องจากฟีนอลและทอลูอีนเป็นสารที่มีพิษและระเหยง่าย นอกจากนี้สมดุลของไอระเหยในขวดปรับปริมาตรมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่ใช้สารในการทดลอง ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอาจมีค่าไม่คงที่ นอกจากนี้ในการวัดค่าการดูดซับด้วย UV-Visible Spectrophotometer ผู้วิจัยยังไม่สามารถกำจัดสารแทรกสอดและสิ่งปลอมปนได้สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการควบคุมการละลายของทอลูอีนในสารละลาย เพื่อมิให้เกิดสภาวะการอิ่มตัวในสารละลายและเกิดการแยกชั้นของของเหลวเกิดขึ้น

ในการดูดซับเลือกความเข้มข้นเบื้องต้นของฟีนอลและทอลูอีนเป็น 500 ppm เนื่องจากเป็นค่าที่พบได้บ่อยจากการวิเคราะห์มาตรฐานคุณภาพน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป [23]

ขนาดโมเลกุลของฟีนอลและทอลูอีนมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงไม่เกินพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลาง แต่ที่คาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกดูดซับฟีนอลได้ดีกว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ แม้ว่าจะมีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางใกล้เคียงกันก็ตาม ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดฟอสฟอริกมีความเป็นขั้วมากกว่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ จึงดูดซับฟีนอลซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความมีขั้วสูงกว่าทอลูอีนได้ดีกว่า

จากการดูดซับฟีนอลด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริกได้ทำการทดลองดูดซับที่เวลาเริ่มเข้าสู่สมดุลและที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการดูดซับใกล้เคียงกัน ดังนั้นการดูดซับทอลูอีนด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์และสารละลายกรดฟอสฟอริกจึงใช้เวลาที่เริ่มเข้าสู่สมดุลในการทดลอง

6.4 ข้อเสนอแนะในด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

การนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากกากเมล็ดกาแฟซึ่งเป็นของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตมาผลิตคาร์บอนกัมมันต์ เพื่อใช้กำจัดสารพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิต นับว่าเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม แต่จะมีข้อจำกัดเพราะคาดว่าต้นทุนในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟจะสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวหรือจากไม้ แม้ว่าคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟที่ได้นับว่าดีพอสมควร อีกทั้งกากเมล็ดกาแฟเป็นวัตถุดิบที่มีมวลเบาและประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเป็นจำนวนมาก การผลิตในลักษณะคาร์บอนกัมมันต์เกรดพิเศษ อาจจะไม่สามารถสู้ราคาต้นทุนต่อหน่วย แม้จะใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบเดียวกันก็ตาม

อย่างไรก็ดี หากอุตสาหกรรมกาแฟ มีความสนใจลงทุนผลิตคาร์บอนกัมมันต์ในเชิงอุตสาหกรรมเอง จะมีความได้เปรียบในการใช้กากเมล็ดกาแฟเพื่อเป็นทั้งวัตถุดิบของคาร์บอนกัมมันต์และแหล่งพลังงานเสริมในโรงงาน รวมทั้งได้เปรียบในด้านค่าขนส่งวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. N. Tancredi, T. Cordero, J. Rodriguez-Mirasol and J.J. Rodriguez. 1996. **Activated Carbon from Uruguayan Eucalyptus Wood.** Fuel. 75. 1701-1706
2. M.J.B. Evans, E. Halliop and J.A.F. MacDonal. 1999. **The Production of Chemically-Activated Carbon.** Carbon. 37. 269-274.
3. พิณพิมล สิงชิววงศ์. 2537. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ประเทศไทย
4. M.J. Mitchell., W.E. Marshall and C.A. Toles. 1998. **Agricultural By-products as Granular Activated Carbons for Adsorbing Dissolved Metals and Organics.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 71. 131-140.
5. B. Thakunmahachai. 1990. **Production of Activated Carbon from Palmyra Palm Shell in Fluidized Bed,** Ph.D Thesis, Chemical Technology, Chulalongkorn University, Thailand.
6. A. Phreedawanlerd. 1994. **Production of Charcoal from Elaeisguineensis by Saturated Steam Activation in Fluidized Bed.** Master Thesis. Chemical Technology, Chulalongkorn University. Thailand.
7. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2543. **ข้อมูลด้านการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ.** ฉบับที่ 7. กรุงเทพฯ
8. วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. **จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี : Chemical Kinetics and Reactor Design.** กรุงเทพฯ. 312-319
9. I. Langmuir. 1981. **The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum.** Am. Chem. Soc. 40,. 1361
10. เกศรา นุตาลัย. และคณะ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2532. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ.** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 4. ฉบับที่ 3. 50-86
11. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ กอบบุญ หล่อทองคำ ไชยยันต์ ไชยยะ ณัฐ งามเจตนรมย์ และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. **การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำด้วยถ่านคาร์บอนกัมมันต์ประเภทต่างๆ.** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 วันที่ 23-25 ตุลาคม 2540 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 1-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ และอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ. **การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสมระหว่างซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์เป็นสารกระตุ้น.** วิศวกรรมสารลาดกระบัง, ปีที่ 16 ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2542 หน้า 141-146

13. ยุวดี เดชทวิทย์ สายใจ นารถสมบูรณ์ 2541. **ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์โซเดียมคลอไรด์และสารละลายผสมระหว่างซิงคลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.** ปริญญานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

14. K.D. Henning and J. Degel. 1990. **Activated Carbon for Solvent Recovery.** Paper presented at the Meeting of the European Rotogravure Association Engineers Group. France.

15. H. Tamon. 2001. **Preparation and Characterization of Functional Carbon Materials Activated Carbon, Aerogels and Cryogels.** Lecture at Chulalongkorn University. Thailand

16. E. Berl. 1938. **Formation and Properties of Activated Carbon.** Trans. Faraday Soc.

17. J.W. Hassler. 1987. **Activated Carbon.** 1st. ed. Leonard Hill. London.

18. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527. **กาแฟคั่ว : Standard for Roasted Coffee.** กรุงเทพฯ

19. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2528. **กาแฟสำเร็จรูป : Standard for Instant Coffee.** กรุงเทพฯ

20. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2528. **กาแฟเมล็ด : Standard for Green Coffee.** กรุงเทพฯ

21. **คู่มือการใช้เครื่อง Area Meter II ของ SprÖhlein Instruments,** Karl Kolb Scientific Technical Supplies D-6 072 Dreieich, West Germany

22. G.L. McConnachie, A.M. Warhurst and S.J. Pollard. 1996. **Activated Carbon from Moringa Husks and Pods.** Reaching the Unreached: Challenges for the 21st Century. 22nd Water, Engineering and Development Centre (WEDC) Conference. New Delhi, India.

23. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 2529. **เรื่องกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ไม่ใช่ทะเล.** ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 103 ตอนที่ 60

24. ASTM Standardization News, Vol. 10, No. 10, Part 30, 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. American Water Works Association. 1994. **AWWA Standard for Granular Activated Carbon.** Denver. Colorado.

26. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532. **ถ่านกัมมันต์ : Standard for Activated Carbon.** กรุงเทพฯ

27. **เอกสารข้อมูลความปลอดภัย.** บริษัท แล็บสแกน เอเชีย จำกัด

28. O. Toshio, H. Kensaku and Y. Katsutoshi. 2000. **Journal of the Chemical Society of Japan, Chemistry and Industry.** No.9. September

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย [24]

ก.1 ปริมาณคาร์บอนคงตัว

คาร์บอนคงตัวเป็นค่าจากการคำนวณ ซึ่งได้มาจากผลรวมของเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า และสารที่ระเหย หักออกจาก 100 เปอร์เซ็นต์

ก.2 ปริมาณความชื้น

ความชื้น คือ การหาปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป เนื่องจากความร้อนภายใต้สภาวะที่ควบคุมไว้ของ อุณหภูมิ เวลา สภาพแวดล้อม น้ำหนักตัวอย่าง และอุปกรณ์ที่เฉพาะเจาะจง โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เผาครูซิเบิลที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชั่งน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงไปในครูซิเบิล แล้วปิดฝา
- นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 104–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = [(A-B)/A] \times 100 \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก.3 ปริมาณเถ้า

เถ้า คือ ปริมาณน้ำหนักของกากหลังจากการเผาถ่านภายใต้สภาวะที่ควบคุม มีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

- นำตัวอย่างไปบดให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช
- ชั่งตัวอย่างมา 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิล แล้วปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เผาที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิเดิมต่ออีก 2 ชั่วโมง
- ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ระมัดระวังเรื่องความชื้น
- ชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้าย

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้า ในการวิเคราะห์ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = [(A-B)/C] \times 100 \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของครูซิเบิล รวมกับฝาปิด และเถ้า (กรัม)
B = น้ำหนักของครูซิเบิล รวมกับฝา (กรัม)
C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ก.4 ปริมาณสารระเหย

น้ำหนักสารระเหย คือ น้ำหนักของถ่านที่เสียไปจากการให้ความร้อน โดยวิธีนี้จะพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซผลิตภัณฑ์ ยกเว้นความชื้น โดยมีขั้นตอนการทำต่อไปนี้

- ชั่งถ่าน 1 กรัม ใส่ใน ครูซิเบิลพลาตินัม ปิดฝาให้เรียบร้อย
- ใส่ ครูซิเบิลลงใน Furnace Chamber และให้อุณหภูมิที่ 950 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอน คือ ให้ความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 นาที และลดอุณหภูมิเหลือ 500 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 นาที

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป} = [(A-B)/A] \times 100 \qquad \text{(ก.3)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)
B = น้ำหนักของตัวอย่างที่ได้จากการเผา (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยในการวิเคราะห์ คือ

เปอร์เซ็นต์ของสารระเหย = C-D (ก.4)

เมื่อ C = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป

D = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์

การทดสอบการดูดซับไอโอดีน [25]

ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นปริมาณไอโอดีนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แห้ง 1 กรัม โดยความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลายเมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการดูดซับ มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.02 นอร์แมล ตามลำดับ

เครื่องมือ

- ตู้อบ
- ปั๊มสุญญากาศ
- เครื่องกรองสุญญากาศ
- เครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ $\pm$ 0.0001 กรัม
- เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก
- เดสิกเคเตอร์
- แผ่นให้ความร้อน
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ลิตร และ 2 ลิตร
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- กระบอกตวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
- บิวเรตขนาด 5 , 10 และ 25 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
- ปิเปต 10 และ 25 มิลลิลิตร
- กรวยแก้ว
- ขวดสีชา
- ขวดชั่งสารพร้อมฝาปิด
- ช้อนตักสาร
- กระจกนาฬิกา
- แท่งแก้วคนสาร
- หลอดหยด
- กระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก
- น้ำกลั่น
- เกล็ดไอโอดีน
- เกล็ดโพแทสเซียมไอโอไดด์
- สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)
- เกล็ดโซเดียมคาร์บอเนต
- เกล็ดโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
- แป้งมัน

การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

- **สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก**

เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวด

- **สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์แมล**

ชั่งไอโอดีน 12.700 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.100 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 2-6 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ กวนให้ละลาย จากนั้นจึงค่อยๆ เติมน้ำกลั่นลงไปครั้งละน้อย (ประมาณ 5 มิลลิลิตรต่อครั้ง) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนปริมาตรทั้งหมดเป็น 50-60 มิลลิลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กกวนต่อไปอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายหมด จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร แล้วเทเก็บในขวดสีชา

- **สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์แมล**

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.820 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เพิ่งต้มเดือดใหม่ๆ ปริมาตร 75 ± 25 มิลลิลิตร คนให้ละลาย จากนั้นจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 ± 0.01 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากบัคเตรี จากนั้นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตรในขวดวัดปริมาตร เทใส่ขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ 4 วัน ก่อนทำการเทียบค่ามาตรฐาน

- **สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 0.100 ± 0.001 นอร์แมล**

อบโพแทสเซียมไอ.โอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในเดสิกเคเตอร์ นำสารที่อบแห้งแล้ว 3.5667 ± 0.0001 กรัม ละลายในน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรผสมให้เข้ากันแล้วเทเก็บใส่ขวดเก็บสารที่มีฝาปิด

- น้ำแป้ง

ผสมแป้ง 1.0 ± 0.5 กรัมในน้ำกลั่นเย็น 5-10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 ± 5 มิลลิลิตร พร้อมกับกวนสารตลอดเวลา เทสารข้างต้นลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ ปริมาตร 1 ลิตร พร้อมกับกวนตลอดเวลา แล้วต้มสารละลายต่อไปอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเทเก็บในขวดเก็บสารแช่ไว้ในตู้เย็น สารนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งในวันที่ทดลอง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไธโอเดตปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 3.00 ± 0.01 กรัม ลงไปเขย่าให้ละลาย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก 5.0 มิลลิลิตร เติมลงในสารละลายข้างต้น ไทเทรตหาไอโอดีนที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจากสมการ

$$N_1 = \frac{(P_1 \times R)}{S} \qquad \text{(ข.1)}$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์แมล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์แมล)

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 ควรทำการทดลองใหม่

- ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนจนกระทั่งได้สารละลายสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลืองอ่อน หยดน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์แล้วไทเทรตต่อไปจนได้สารละลายไม่มีสี จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นจากสมการ

$$N_2 = \frac{(S \times N_1)}{I} \qquad (ข.2)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์แมล)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์แมล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

การไทเทรตควรทำ 3 ครั้ง แล้วหาความเข้มข้นโดยเฉลี่ย แต่ถ้าความเข้มข้นในแต่ละครั้งต่างกันมากกว่า 0.003 นอร์แมล ควรทำการทดลองใหม่ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนจะมีค่า 0.100 ± 0.001 นอร์แมล ถ้าความเข้มข้นไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวต้องเตรียมสารละลายไอโอดีนใหม่

วิธีการทดสอบการดูดซับไอโอดีน

- บดคาร์บอนกัมมันต์ให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช) อย่างน้อยร้อยละ 95 ประมาณ 10 กรัม
- อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 145-155 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิกเคเตอร์
- ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไป ปิดปากขวดด้วยจุกยาง และเขย่าเบาๆ จนกระทั่งคาร์บอนกัมมันต์เปียกทั่วหมด
- นำขวดไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ในตู้ดูดควัน เปิดจุกยางออก ต้มจนเดือดประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเป็นสารมลทิน แล้วยกลง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- ปิเปตสารละลายไอโอดีน 0.100 นอร์แมล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปิดด้วยจุกยางอย่างรวดเร็ว และเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง แล้วถ่ายส่วนที่ใสลงในบีกเกอร์
- นำ 20-30 มิลลิลิตร ของส่วนที่ใสที่ได้จากการกรองมากลั้วปิเปตแล้วทิ้งไป เก็บส่วนใสทั้งหมดแล้วกวนสารละลายใสที่ได้ จากนั้นปิเปตสารละลายใส 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.100 นอร์แมล จนสารละลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเหลืองจางๆ จึงเติมน้ำแป้งสุกลงไป 2 มิลลิลิตร เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วทำการไทเทรตต่อไป จนได้สารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ทั้งหมด (S) จากนั้นคำนวณความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายไอโอดีนหลังการดูดซับโดยคาร์บอนกัมมันต์ (C_1) จากสมการ

$$C_1 = \frac{(N_1 \times S)}{F_1} \qquad (ข.3)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์แมล)

F_1 = ปริมาตรของสารละลายใสที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

ค่า C_1 ที่ได้ ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.008-0.040 นอร์แมล ถ้าไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ต้องทำใหม่ โดยการเปลี่ยนน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ คือ ถ้า C_1 น้อยต้องลดปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ลง ถ้า C_1 มากต้องเพิ่มปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ให้มากขึ้นจนได้ค่า C_1 อยู่ในช่วงดังกล่าว

- ทำการทดสอบขั้นตอนข้างต้นอีก 2 ครั้งโดยเปลี่ยนน้ำหนักของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ เพื่อให้ได้ค่า C_1 อีก 2 ค่าที่อยู่ในช่วงดังกล่าวโดยค่า C_1 ที่ได้ควรกระจายกันพอสมควร
- ทำ Blank Test โดยการทดลองตามขั้นตอนข้างต้น แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์

การหาค่าการดูดซับไอโอดีนหาได้โดยการใช้ Three-Point Adsorption Isotherm โดยเขียนกราฟระหว่างค่า X/M กับค่า C_1 บนแกน log-log แล้วประมาณเป็นเส้นตรง เมื่อค่า X/M หาได้จากสมการ

$$A_1 = (N_2)(I_1)(126.93) \qquad (ข.4)$$

$$B_1 = (N_1)(126.93) \qquad (ข.5)$$

$$DF = \frac{(I_1 + H)}{F_1} \qquad (ข.6)$$

$$\frac{X}{M} = \frac{(A_1 - (DF)(B_1)(S))}{M} \qquad (ข.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A_1 = น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายไอโอดีนเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

B_1 = น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์พอดีกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 มิลลิกรัม (มิลลิกรัม)

DF = Dilute Factor เป็นสัดส่วนระหว่างสารละลายทั้งหมดตอนเริ่มต้นกับปริมาตรสารละลายที่นำมาไทเทรต

X/M = ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม)

I_1 = ปริมาตรของไอโอดีนที่ใส่เริ่มต้น (มิลลิลิตร)

H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)

ค่าการดูดซับไอโอดีน จะเป็นค่า X/M ที่อ่านได้จากกราฟเมื่อความเข้มข้น C_1 เท่ากับ 0.02 นอร์แมล

หมายเหตุ ถ้าทราบค่าการดูดซับไอโอดีนคร่าวๆ จะสามารถคำนวณหาปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ทั้ง 3 ค่า ที่ใช้ทดลองได้จาก

$$M = \frac{(A_1 - (DF)(C_1)(F_1)(126.93))}{E_1} \qquad (ข.8)$$

เมื่อ E_1 = ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ทราบ

C_1 โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า 0.01, 0.02 และ 0.03 นอร์แมล ตามลำดับ

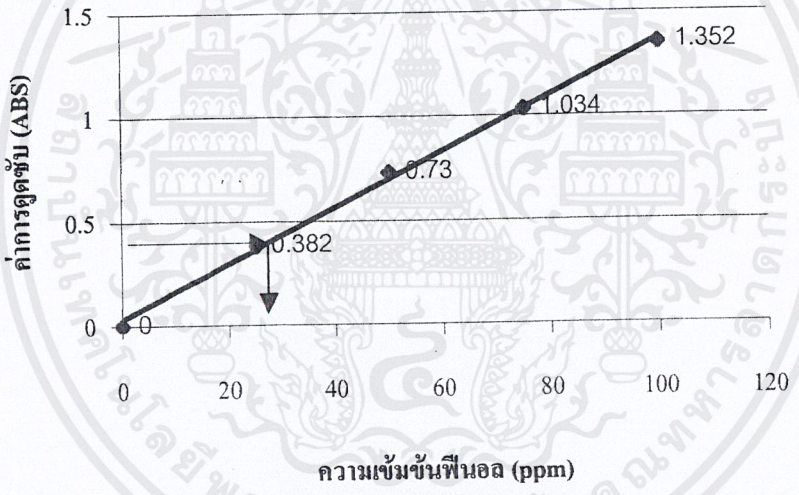
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสารเคมีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว

ตัวอย่างการคำนวณการดูดซับฟีนอล ความเข้มข้นเริ่มต้น 500 ppm ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง ได้ค่าการดูดซับเฉลี่ย คือ 0.386 ABS

ค.1 วิธีหาค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล (C_x)

นำค่าการดูดซับเฉลี่ย มาพิจารณาหาค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุลในกราฟมาตรฐานของฟีนอล (ตามรูปที่ ค.1)



รูปที่ ค.1 การหาความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์

จากรูปที่ ค.1 จะได้ความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล (C_x) คือ 26.5926 ppm เนื่องจากในการทดลองได้มีการเจือจางความเข้มข้น 10 เท่า ดังนั้นค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่แท้จริงจึงเป็น 10 เท่าของค่าที่วัดได้จากรูป ซึ่งค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่แท้จริงเท่ากับ 265.926 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 วิธีหาปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์

นำค่าความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล มาหาปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับ

โดย

ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับ = ความเข้มข้นเริ่มต้น – ความเข้มข้นของฟีนอลที่สมดุล (C_x)

234.074 ppm = 500 - 265.926

ในการทดลองใช้ฟีนอล 100 มิลลิลิตร ดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์หนัก 0.5003 กรัม

จาก $g = C \times V$ (ค.1)

เมื่อ g = น้ำหนักของฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม)

C = ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับ (ppm)

V = ปริมาณฟีนอลที่ใช้ทดลอง (ลิตร)

$g = 234.074 \times 0.1$

$= 23.4074$ มิลลิกรัม

จาก $v = g / G$ (ค.2)

เมื่อ v = ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม)

G = น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ (กรัม)

$v = 23.4074 / 0.5003$

$= 46.79$ มิลลิกรัม/กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การกระจายตัวของรูพรุน

การหาค่าการกระจายตัวของรูพรุน ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Nova Enhanced Data Reduction Software Version 3.70 ทำการคำนวณและแสดงผลการทดลอง คำสั่งประมวลผลได้จากการทดลองหาค่าการกระจายตัวของรูพรุน ซึ่งคำสั่งนี้จะสามารถให้กราฟผลการทดลองก็ต่อเมื่อเปิดคำสั่งด้วยโปรแกรมข้างต้นเท่านั้น

ง.1 การกระจายตัวของรูพรุนของกากเมล็ดกาแฟ

คำสั่งโปรแกรมการคำนวณผลแสดงได้ดังนี้

BEGIN
INSTRUMENT=NOVA-1200
VERSION=3.70
STATION= 0
USER_ID=1
USER_SETUP=1
USER_COMMENTS=
SAMPLE_ID=47
SAMPLE_CELL=2
SAMPLE_WEIGHT=0.100000001490
SAMPLE_VOLUME=0.066165447235
SAMPLE_DENSITY=1.511362910271
ADSORBATE=Nitrogen
ADSORBATE_TYPE=172
ADSORBATE_MOLECULAR_WEIGHT=28.013399000000
ADSORBATE_XSECTION_AREA=16.200001000000
ADSORBATE_DENSITY=0.812992000000
GAS_FACTOR=0.000065800000
BATH_TEMP=77.400002000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P0_TYPE= 166

P0_VALUE=773.452392578125

ADS_TOLERANCE=0.100000001490

ADS_EQUIL_TIME=60.000000000000

ADS_TIME_OUT=120.000000000000

DES_TOLERANCE=0.100000001490

DES_EQUIL_TIME=60.000000000000

DES_TIME_OUT=120.000000000000

ANALYSIS_START=2001 9 22 8 55 23

ANALYSIS_END=2001 9 22 9 58 46

ELAPSED_TIME=63.383333333333

DATA= 0.055783271790 0.169749557972 0.000000000000 A M

DATA= 0.092112109065 0.293261408806 0.000000000000 A M

DATA= 0.153450816870 0.467799454927 0.000000000000 A M

DATA= 0.190986454487 0.563257277012 0.000000000000 A M

DATA= 0.252921640873 0.699640810490 0.000000000000 A M

DATA= 0.304536581039 0.822501242161 0.000000000000 A M

DATA= 0.353217780590 0.904189169407 0.000000000000 A M

DATA= 0.492526859045 1.142835259438 0.000000000000 A

DATA= 0.653260052204 1.321609616280 0.000000000000 A

DATA= 0.800142884254 1.704580068588 0.000000000000 A

DATA= 0.944965779781 2.496027946472 0.000000000000 A D J

DATA= 0.936497330666 2.335027456284 0.000000000000 D J

DATA=. 0.906535446644 1.851942181587 0.000000000000 D J

DATA= 0.846382677555 1.378246068954 0.000000000000 D J

DATA= 0.795190811157 1.109427690506 0.000000000000 D J

DATA= 0.745060086250 0.713069736958 0.000000000000 D J

DATA= 0.694790601730 0.366784393787 0.000000000000 D J

DATA= 0.658732295036 0.244583934546 0.000000000000 D J

DATA= 0.507091701031 0.112403266132 0.000000000000 D J

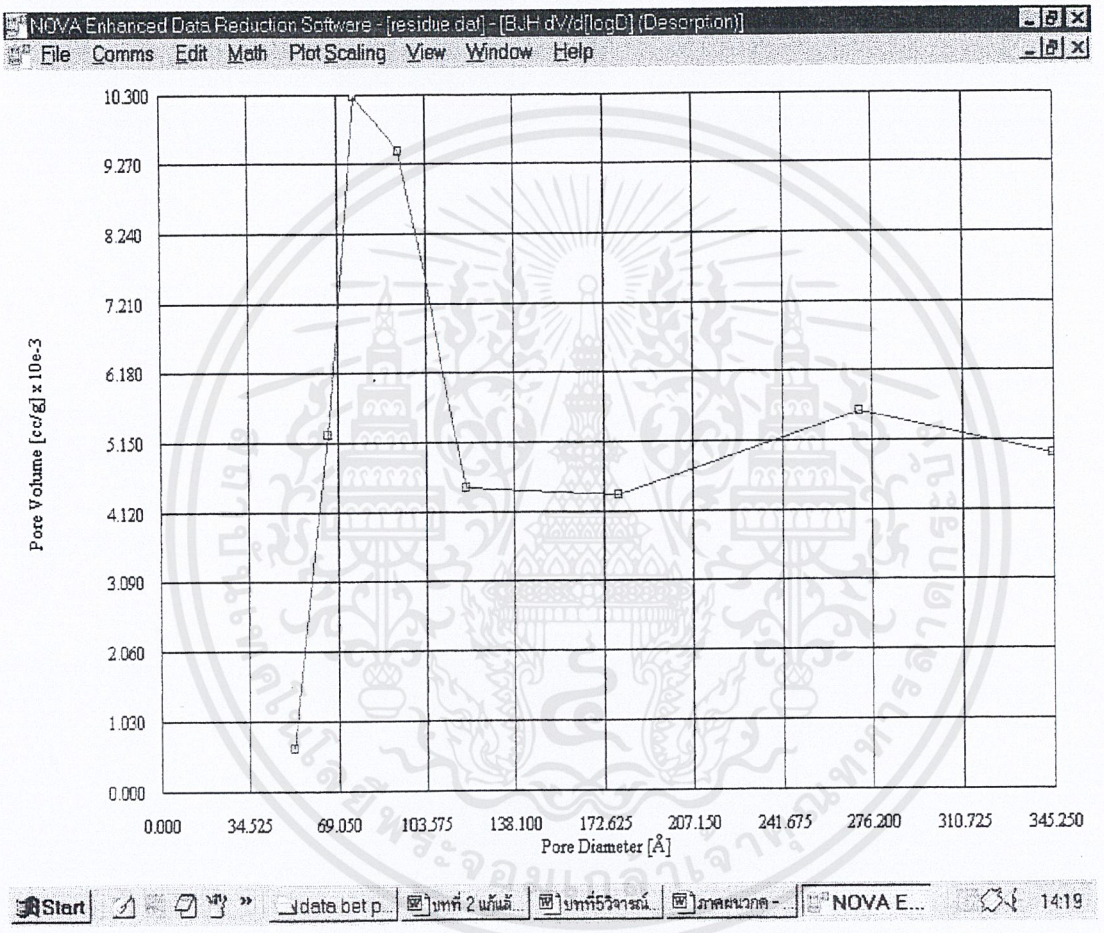
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA= 0.352302283049 0.157970800996 0.000000000000 D J

DATA= 0.203553810716 0.243736892939 0.000000000000 D J

DATA= 0.056795880198 0.300381064415 0.000000000000 D J

END



รูปที่ ง.1 หน้าต่างโปรแกรมที่แสดงการกระจายตัวของรูพรุนของกากเมล็ดกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส 40 นาที

คำสั่งโปรแกรมการคำนวณผลแสดงได้ดังนี้

BEGIN

INSTRUMENT=NOVA-1200

VERSION=3.70

STATION= 0

USER_ID=1

USER_SETUP=1

USER_COMMENTS=

SAMPLE_ID=46

SAMPLE_CELL=1

SAMPLE_WEIGHT=0.119999997318

SAMPLE_VOLUME=0.000000000000

SAMPLE_DENSITY=0.000000000000

ADSORBATE=Nitrogen

ADSORBATE_TYPE=172

ADSORBATE_MOLECULAR_WEIGHT=28.013399000000

ADSORBATE_XSECTION_AREA=16.200001000000

ADSORBATE_DENSITY=0.812992000000

GAS_FACTOR=0.000065800000

BATH_TEMP=77.400002000000

P0_TYPE= 166

P0_VALUE=773.452392578125

ADS_TOLERANCE=0.100000001490

ADS_EQUIL_TIME=60.000000000000

ADS_TIME_OUT=120.000000000000

DES_TOLERANCE=0.100000001490

DES_EQUIL_TIME=60.000000000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DES_TIME_OUT=120.000000000000

ANALYSIS_START=2001 9 22 7 42 33

ANALYSIS_END=2001 9 22 8 49 12

ELAPSED_TIME=66.650000000000

DATA= 0.054000813514 19.275371551514 0.000000000000 A M

DATA= 0.098714828491 21.241847991943 0.000000000000 A M

DATA= 0.148394748569 22.604846954346 0.000000000000 A M

DATA= 0.199503391981 23.651756286621 0.000000000000 A M

DATA= 0.250778526068 24.516633987427 0.000000000000 A M

DATA= 0.300285041332 25.249246597290 0.000000000000 A M

DATA= 0.351504683495 25.879823684692 0.000000000000 A M

DATA= 0.502985775471 26.619132995605 0.000000000000 A

DATA= 0.651026785374 27.296857833862 0.000000000000 A

DATA= 0.796813786030 27.943094253540 0.000000000000 A

DATA= 0.942781031132 28.827676773071 0.000000000000 A D J

DATA= 0.937281131744 29.199331283569 0.000000000000 D J

DATA= 0.906812787056 29.282917022705 0.000000000000 D J

DATA= 0.847332894802 29.356163024902 0.000000000000 D J

DATA= 0.796779096127 29.480152130127 0.000000000000 D J

DATA= 0.748853862286 29.602012634277 0.000000000000 D J

DATA= 0.703855514526 29.782585144043 0.000000000000 D J

DATA= 0.639437377453 29.889549255371 0.000000000000 D J

DATA= 0.501251876354 29.946367263794 0.000000000000 D J

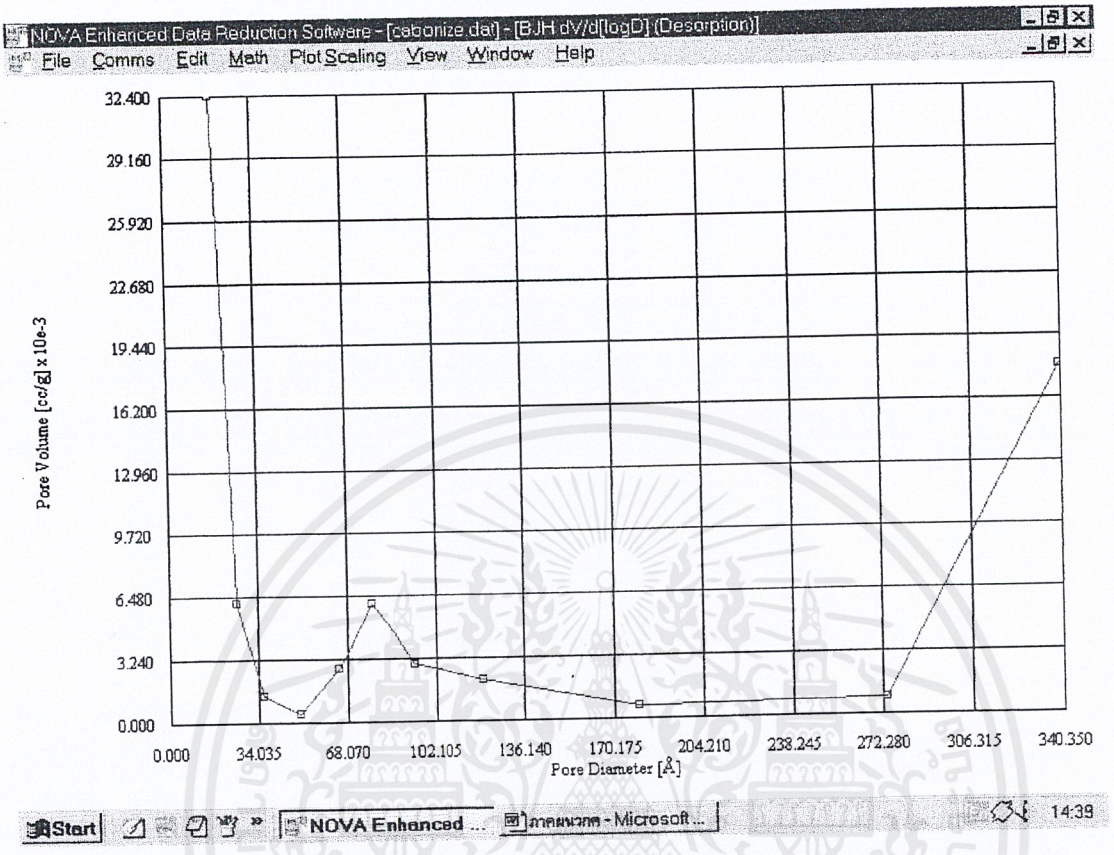
DATA= 0.353030532598 29.861494064331 0.000000000000 D J

DATA= 0.206015959382 29.637214660645 0.000000000000 D J

DATA= 0.045948546380 28.337137222290 0.000000000000 D J

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2 หน้าต่างโปรแกรมที่แสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอน
ที่ได้จากการเผาแบบอับอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส 40 นาที

ง.3 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง

คำสั่งโปรแกรมการคำนวณผลแสดงได้ดังนี้

BEGIN

INSTRUMENT=NOVA-1200

VERSION=3.70

STATION= 0

USER_ID=2

USER_SETUP=2

USER_COMMENTS=

SAMPLE_ID=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAMPLE_CELL=2

SAMPLE_WEIGHT=0.100000001490

SAMPLE_VOLUME=0.000000000000

SAMPLE_DENSITY=0.000000000000

ADSORBATE=Nitrogen

ADSORBATE_TYPE=172

ADSORBATE_MOLECULAR_WEIGHT=28.013399000000

ADSORBATE_XSECTION_AREA=16.200001000000

ADSORBATE_DENSITY=0.812992000000

GAS_FACTOR=0.000065800000

BATH_TEMP=77.400002000000

P0_TYPE= 166

P0_VALUE=773.452392578125

ADS_TOLERANCE=0.100000001490

ADS_EQUIL_TIME=60.000000000000

ADS_TIME_OUT=120.000000000000

DES_TOLERANCE=0.100000001490

DES_EQUIL_TIME=60.000000000000

DES_TIME_OUT=120.000000000000

ANALYSIS_START=2001 9 18 17 22 49

ANALYSIS_END=2001 9 18 18 39 39

ELAPSED_TIME=76.833333333333

DATA= 0.050519131124 52.682437896729 0.000000000000 A M

DATA= 0.096086218953 56.025238037109 0.000000000000 A M

DATA= 0.146418094635 58.199745178223 0.000000000000 A M

DATA= 0.198213368654 59.792785644531 0.000000000000 A M

DATA= 0.249273464084 61.051567077637 0.000000000000 A M

DATA= 0.299827307463 62.089107513428 0.000000000000 A M

DATA= 0.349479496479 62.965240478516 0.000000000000 A M

DATA= 0.501980066299 64.507690429688 0.000000000000 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA= 0.804997742176 67.979522705078 0.000000000000 A

DATA= 0.953538239002 70.520278930664 0.000000000000 A D J

DATA= 0.939486622810 70.431068420410 0.000000000000 D J

DATA= 0.907964229584 70.179992675781 0.000000000000 D J

DATA= 0.850183427334 69.635993957520 0.000000000000 D J

DATA= 0.801828205585 69.091392517090 0.000000000000 D J

DATA= 0.758230805397 68.611923217773 0.000000000000 D J

DATA= 0.702454507351 68.106834411621 0.000000000000 D J

DATA= 0.641483366489 67.697326660156 0.000000000000 D J

DATA= 0.507570266724 66.576988220215 0.000000000000 D J

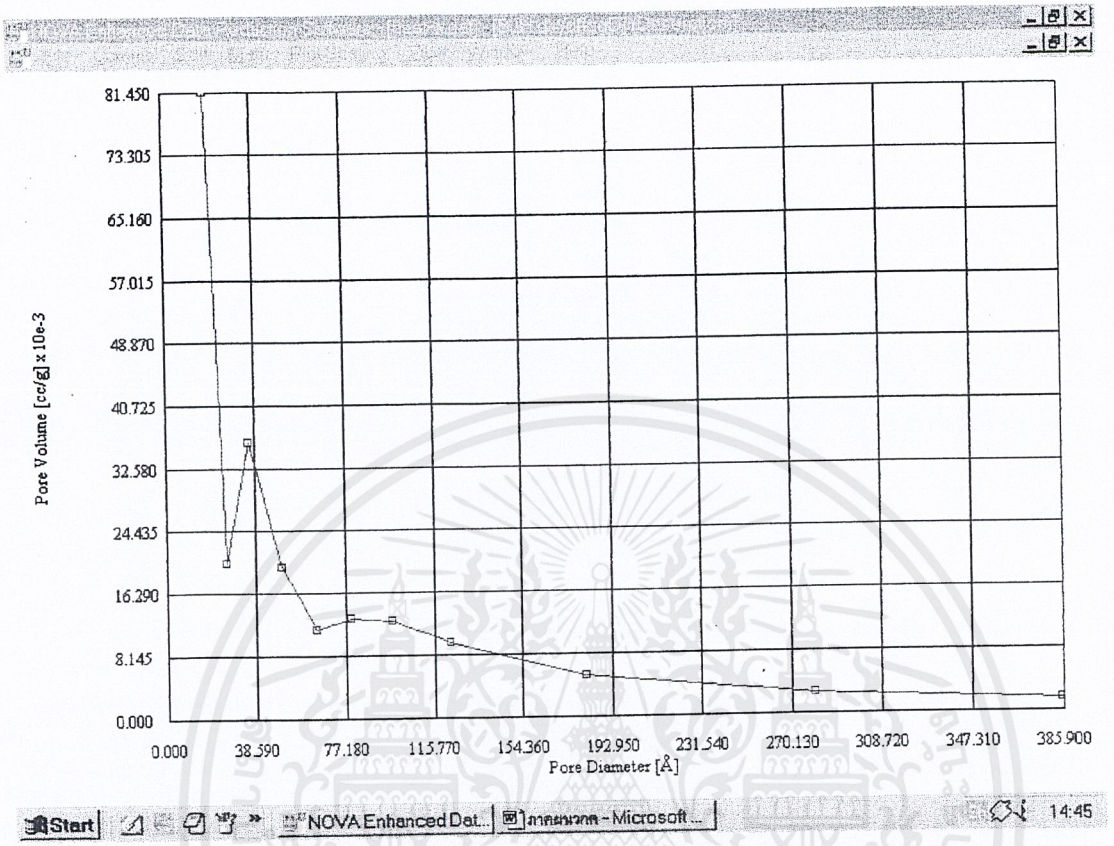
DATA= 0.345255702734 64.818046569824 0.000000000000 D J

DATA= 0.208505854011 63.906631469727 0.000000000000 D J

DATA= 0.050852037966 60.368560791016 0.000000000000 D J

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง

ง.4 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

คำสั่งโปรแกรมการคำนวณผลแสดงได้ดังนี้

BEGIN

INSTRUMENT=NOVA-1200

VERSION=3.70

STATION= 0

USER_ID=1

USER_SETUP=1

USER_COMMENTS=

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAMPLE_ID=27

SAMPLE_CELL=2

SAMPLE_WEIGHT=0.109999999404

SAMPLE_VOLUME=0.000000000000

SAMPLE_DENSITY=0.000000000000

ADSORBATE=Nitrogen

ADSORBATE_TYPE=172

ADSORBATE_MOLECULAR_WEIGHT=28.013399000000

ADSORBATE_XSECTION_AREA=16.200001000000

ADSORBATE_DENSITY=0.812992000000

GAS_FACTOR=0.000065800000

BATH_TEMP=77.400002000000

P0_TYPE= 166

P0_VALUE=773.452392578125

ADS_TOLERANCE=0.100000001490

ADS_EQUIL_TIME=60.000000000000

ADS_TIME_OUT=120.000000000000

DES_TOLERANCE=0.100000001490

DES_EQUIL_TIME=60.000000000000

DES_TIME_OUT=120.000000000000

ANALYSIS_START=2001 9 20 16 45 20

ANALYSIS_END=2001 9 20 18 18 5

ELAPSED_TIME=92.750000000000

DATA= 0.042744290084 192.706085205078 0.000000000000 A M

DATA= 0.094622805715 204.500396728516 0.000000000000 A M

DATA= 0.147181004286 210.379501342773 0.000000000000 A M

DATA= 0.193462461233 213.621139526367 0.000000000000 A M

DATA= 0.244786143303 216.223312377930 0.000000000000 A M

DATA= 0.296817213297 218.248229980469 0.000000000000 A M

DATA= 0.347412645817 219.804702758789 0.000000000000 A M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA= 0.498116940260 223.101593017578 0.000000000000 A

DATA= 0.655437886715 225.934387207031 0.000000000000 A

DATA= 0.792236268520 228.135833740234 0.000000000000 A

DATA= 0.954585492611 231.580459594727 0.000000000000 A D J

DATA= 0.939604461193 231.290252685547 0.000000000000 D J

DATA= 0.895653426647 230.261734008789 0.000000000000 D J

DATA= 0.849115252495 229.447280883789 0.000000000000 D J

DATA= 0.798949897289 228.762466430664 0.000000000000 D J

DATA= 0.750199317932 228.125457763672 0.000000000000 D J

DATA= 0.698827147484 227.332138061523 0.000000000000 D J

DATA= 0.656915128231 226.743835449219 0.000000000000 D J

DATA= 0.493636518717 224.279617309570 0.000000000000 D J

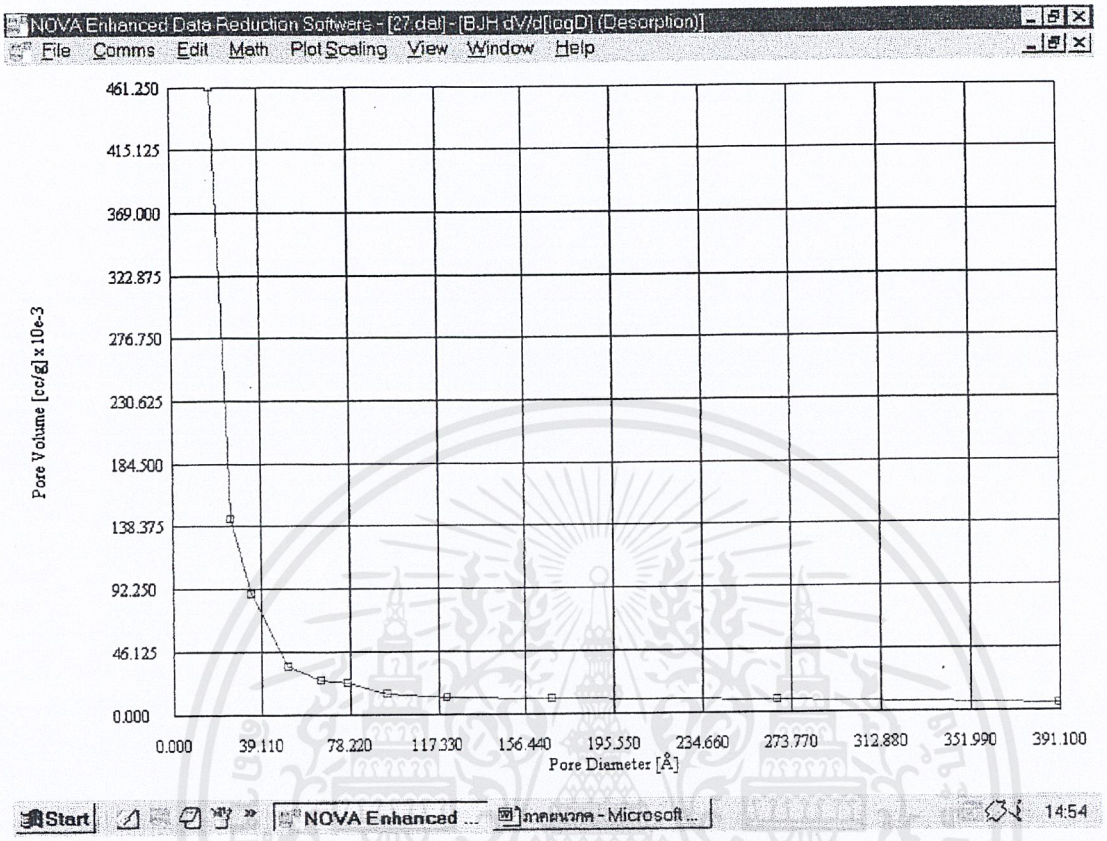
DATA= 0.347974449396 220.585723876953 0.000000000000 D J

DATA= 0.201764419675 215.460021972656 0.000000000000 D J

DATA= 0.048826839775 197.318420410156 0.000000000000 D J

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.4 หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

ง.5 การกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

คำสั่งโปรแกรมการคำนวณผลแสดงได้ดังนี้

BEGIN

INSTRUMENT=NOVA-1200

VERSION=3.70

STATION= 0

USER_ID=1

USER_SETUP=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USER_COMMENTS=

SAMPLE_ID=42

SAMPLE_CELL=1

SAMPLE_WEIGHT=0.100000001490

SAMPLE_VOLUME=0.000000000000

SAMPLE_DENSITY=0.000000000000

ADSORBATE=Nitrogen

ADSORBATE_TYPE=172

ADSORBATE_MOLECULAR_WEIGHT=28.013399000000

ADSORBATE_XSECTION_AREA=16.200001000000

ADSORBATE_DENSITY=0.812992000000

GAS_FACTOR=0.000065800000

BATH_TEMP=77.400002000000

P0_TYPE= 166

P0_VALUE=773.452392578125

ADS_TOLERANCE=0.100000001490

ADS_EQUIL_TIME=60.000000000000

ADS_TIME_OUT=120.000000000000

DES_TOLERANCE=0.100000001490

DES_EQUIL_TIME=60.000000000000

DES_TIME_OUT=120.000000000000

ANALYSIS_START=2001 9 22 0 36 38

ANALYSIS_END=2001 9 22 2 4 13

ELAPSED_TIME=87.583333333333

DATA= 0.046961151063 192.828857421875 0.000000000000 A M

DATA= 0.092465825379 201.426101684570 0.000000000000 A M

DATA= 0.149795740843 207.038497924805 0.000000000000 A M

DATA= 0.195674926043 209.755584716797 0.000000000000 A M

DATA= 0.247026339173 212.031402587891 0.000000000000 A M

DATA= 0.298218250275 213.842071533203 0.000000000000 A M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA= 0.348647207022 215.332412719727 0.000000000000 A M

DATA= 0.500613808632 218.599334716797 0.000000000000 A

DATA= 0.644909560680 221.093475341797 0.000000000000 A

DATA= 0.791785418987 223.353561401367 0.000000000000 A

DATA= 0.950985848904 226.556243896484 0.000000000000 A D J

DATA= 0.941116511822 226.493637084961 0.000000000000 D J

DATA= 0.897200047970 225.679779052734 0.000000000000 D J

DATA= 0.849358081818 224.994918823242 0.000000000000 D J

DATA= 0.799615681171 224.387695312500 0.000000000000 D J

DATA= 0.752439558506 223.824401855469 0.000000000000 D J

DATA= 0.688534736633 223.047180175781 0.000000000000 D J

DATA= 0.653662323952 222.620651245117 0.000000000000 D J

DATA= 0.493941724300 220.369216918945 0.000000000000 D J

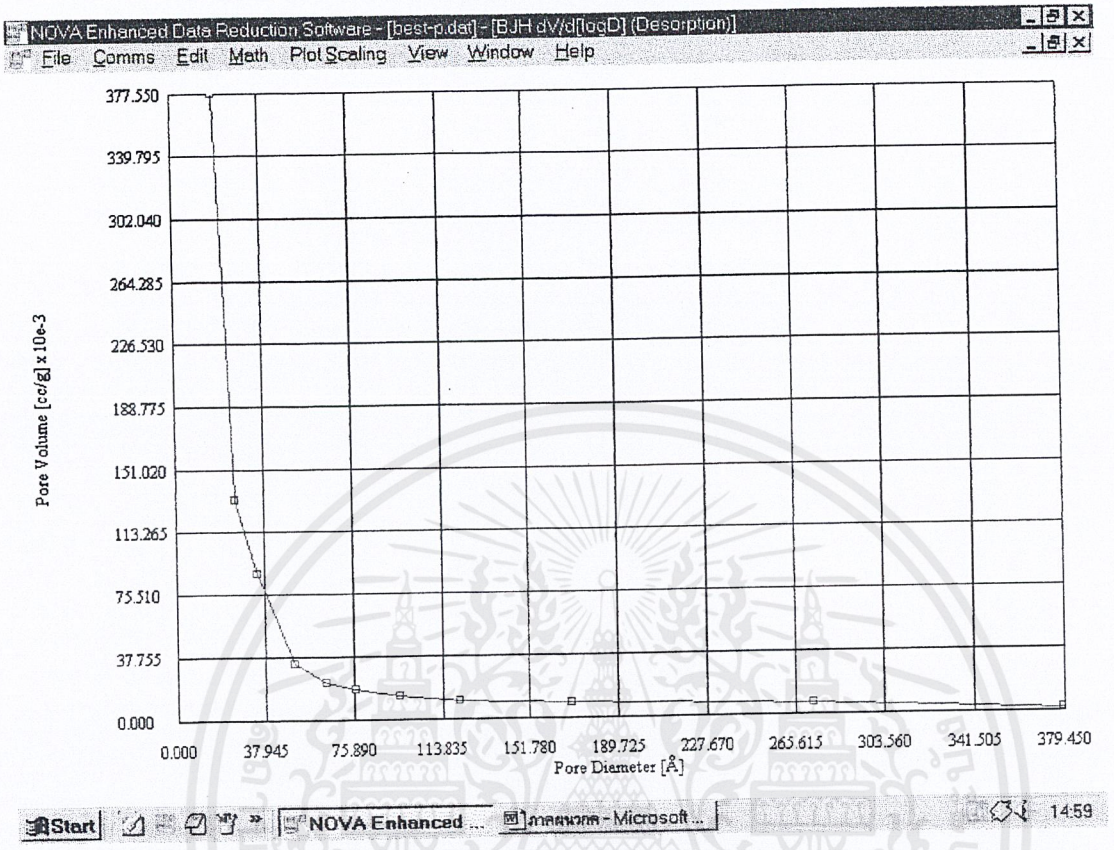
DATA= 0.347419589758 216.709014892578 0.000000000000 D J

DATA= 0.199877917767 211.925277709961 0.000000000000 D J

DATA= 0.055367138237 198.054962158203 0.000000000000 D J

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.5 หน้าต่างโปรแกรมแสดงการกระจายตัวของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:2.5 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพคาร์บอนกัมมันต์

จ.1 มาตรฐานและวิธีการทดสอบที่ใช้ทั่วไป [2]

มาตรฐาน และวิธีการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ดังจะกล่าวต่อไปนี้ คือ

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

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

คุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์เม็ดที่ต้องทดสอบ คือ

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Moisture
- Particle Size
- Total Ash Content

จ.1.3 มาตรฐานและการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์ของประเทศญี่ปุ่น กำหนดการทดสอบคุณสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ ดังนี้

คาร์บอนกัมมันต์ผง (JIS K 1470-1967)

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

คาร์บอนกัมมันต์เม็ด (JIS K 1474-1975)

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

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

- Moisture
- Ash
- Bulk Density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จ.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนกัมมันต์ [26]

จ.2.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด ขนาด คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคาร์บอนกัมมันต์

จ.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2. ค่าไอโอดีน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ดูดซับไว้ด้วยคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับ และผ่านการกรองแล้วเป็น 0.02 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

จ.2.3 ชนิด

คาร์บอนกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

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

จ.2.4 ขนาด

1. คาร์บอนกัมมันต์ผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2. คาร์บอนกัมมันต์เม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

- คาร์บอนกัมมันต์ผง ต้องเป็นผงละเอียดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ
- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

- คาร์บอนกัมมันต์ผง ให้เป็นไปตามตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ผง

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

- คาร์บอนกัมมันต์เม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ จ.2

ตารางที่ จ.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของคาร์บอนกัมมันต์เม็ด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2.6 การบรรจุ

1. ให้บรรจุคาร์บอนกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

2. น้ำหนักสุทธิของคาร์บอนกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

จ.2.7 เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่ภาชนะบรรจุคาร์บอนกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- ชนิด
- น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
- เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
- ชื่อผู้ผลิต หรือโรงงานที่ผลิต หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2. ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

จ.2.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

1. รุ่นในที่นี้ หมายถึง คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะชนิด และขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่าง และการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากับทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

- ให้ชักตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดใน ตารางที่ จ.3
- ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้างต้น จึงจะถือว่าคาร์บอนกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

- ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการบรรจุแล้ว มาภาชนะบรรจุละเท่าๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1,500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วน ที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ตารางที่ จ.3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

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

3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ จึงจะถือว่าคาร์บอน-กัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

จ.2.9 การทดสอบ

1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

2. น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3. การทดสอบขนาด

3.1 คาร์บอนกัมมันต์ผง

เครื่องมือ

- ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
- กูซครูซิเบิล

วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะแกรงให้เปียกก่อนแล้วค่อยเทตัวอย่างช้าๆ ผ่านตะแกรง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนตะแกรงแล้ว ใช้น้ำล้างตัวอย่าง อีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านตะแกรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิล ซึ่งทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเคเตอร์แล้วรีบชั่งทันที

วิธีคำนวณ

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

เมื่อ m_0 = น้ำหนักตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก (กรัม)

m_1 = น้ำหนักตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 (กรัม)

3.2 คาร์บอนกัมมันต์เม็ด

เครื่องมือ

- ตะแกรง 150 ไมโครเมตร
- เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 $\pm$ 5 รอบต่อนาที

วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในตะแกรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

4. น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทคาร์บอนกัมมันต์ออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย [27]

ฉ.1 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของทอลูอีน

1. ข้อมูลทั่วไป (Product and Company Identification)

1. ชื่อสามัญทางเคมีของเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	ทอลูอีน (Toluene)
2. สูตรเคมี	$C_6H_5CH_3$
3. ชื่ออื่น ๆ	Methyl benzene
4. ชื่อผู้ผลิต/ผู้แทนจำหน่าย	บ. แล็บสแกน เอเชีย จำกัด

2. ส่วนผสม (Composition/Information of Ingredients)

1. Toluene	99.5%-100%

3. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (Physical and Chemical Properties)

1. จุดหลอมเหลว	-95 องศาเซลเซียส
2. จุดเดือด	110.4-110.8 องศาเซลเซียส
3. ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส	0.87 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส	2.9 กิโลปาสคาล
5. ความหนืด	ไม่มีข้อมูล
6. การละลายได้ในน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส	0.05 กรัม/100 มิลลิลิตร
7. สถานะที่ 20 องศาเซลเซียส	ของเหลว
8. ลักษณะสีและกลิ่น	ใส ไม่มีสี มีกลิ่นของสารอะโรมาติกส์
9. จุดวาบไฟ	4.0 องศาเซลเซียส
10 อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง	535 องศาเซลเซียส
11. อัตราส่วนในอากาศที่เกิดการระเบิด	
- อัตราส่วนต่ำสุด (LEL)	1.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
- อัตราส่วนสูงสุด (UEL)	8.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
12. คุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ	n-octanol/water : log P_{ow} = 2.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย (Hazard Identification)

1. อันตรายที่สำคัญที่สุด	ไวไฟสูง และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
2. อันตรายต่อสุขภาพ	
- เมื่อเข้าตา	ทำให้ระคายเคืองต่อตา และเนื้อเยื่อเมือกในตา
- เมื่อสัมผัสผิวหนัง	ระคายเคือง อาจทำให้เป็นแผล และอักเสบเนื่องจากสารเคมีซึมผ่านผิวหนัง และมีการสัมผัสสารเคมีเป็นประจำหรือเป็นเวลานาน
- เมื่อเข้าสู่ระบบหายใจ	ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ถ้าสูดดมในปริมาณมากหรือมีความเข้มข้นสูงทำให้มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน ง่วงซึม และหมดสติ
- เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร	ทำให้ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน และอุจจาระร่วง เมื่อร่างกายดูดซึมในปริมาณมาก ทำให้ระบบส่วนกลางผิดปกติ มึนเมา (Inebriation) ชัก หมดสติ หยุดหายใจทันทีเนื่องจากหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบตัน

5. การปฐมพยาบาล (First-Aid Measures)

เมื่อเกิดอุบัติเหตุจากการใช้สารเคมี ให้นำเอกสารข้อมูลความปลอดภัยฉบับนี้ไปด้วยทุกครั้งที่ไปพบแพทย์

- เมื่อเข้าตา	รีบล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที แล้วรีบไปพบแพทย์
- เมื่อสัมผัสผิวหนัง	ถอดเสื่อผ้าที่เปื้อนสารเคมีออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำและสบู่ แล้วไปพบแพทย์ ทำความสะอาดเสื้อผ้าที่เปื้อนก่อนนำกลับมาใช้ใหม่
- เมื่อเข้าสู่ระบบหายใจ	ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยมีอาการหายใจไม่สะดวก หรือไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ แล้วพาไปพบแพทย์ ห้ามช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผู้ป่วยโดยวิธีเป่าลมหายใจลักษณะปากต่อปาก หรือเป่าลมหายใจเข้าทางจมูก
- เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร	รีบบ้วนปากทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากๆ ไม่ควรทำให้ผู้ป่วยอาเจียน ถ้าผู้ป่วยมีอาการหายใจไม่สะดวกหรือไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจแล้วรีบพาไปพบแพทย์ทันที ถ้าผู้ป่วยหมดสติไม่ควรให้ผู้ป่วยรับประทานสิ่งใดทางปาก
- การรักษาทางการแพทย์ (ถ้ามี)	ถ้าผู้ป่วยกลืนกินสารเคมี ให้ล้างท้องโดยแพทย์

6. การปฏิบัติเมื่อเกิดไฟไหม้ (Fire-Fighting Measures)

1. สารที่ใช้ดับไฟ	คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง โฟมดับเพลิง หรือละอองน้ำ
2. สารดับเพลิงที่ห้ามใช้	ไม่ควรฉีดน้ำพุ่งเป็นสาย
3. อันตรายจากเพลิงไหม้	เกิดกลุ่มควันดำของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เป็นอันตราย ถ้าเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่จำกัด ความร้อนจะทำให้เกิดการระเบิด ไอระเหยซึ่งหนักกว่าอากาศจะแพร่กระจายไปในระดับพื้นดิน และย้อนกลับมาติดไฟได้
4. อุปกรณ์ป้องกันตัว	สวมชุดป้องกันไฟ และหน้ากากช่วยหายใจ
5. วิธีการดับเพลิง	ลดความร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้ โดยใช้ละอองน้ำ และใช้วิธีการดับเพลิงที่เหมาะสม

7. การปฏิบัติเมื่อเกิดการรั่วไหล (Accidental Release Measures)

1. การป้องกันส่วนบุคคล	ย้ายคนไปอยู่ในที่ปลอดภัย สวมชุดป้องกันสารเคมี และหน้ากากช่วยหายใจ ย้ายเครื่องมือที่จะก่อให้เกิดประกายไฟ ออกไปจากบริเวณนั้น
2. การป้องกันที่สิ่งแวดล้อม	อย่าปล่อยสารเคมีลงสู่พื้นดิน หรือท่อระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	สาธารณะ เนื่องจากจะทำให้เกิดไอของสารที่สามารถเกิดการระเบิดได้ ถ้ามีการรั่วไหลเกิดขึ้น ให้ปรึกษาเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำจัด
3. การทำความสะอาดเมื่อเกิดการรั่วไหล	ดูดซับด้วยสารเคมีที่ไม่ไวไฟ เช่น ซิลิกาเจล ทราย ดิน ขี้เลื่อย แล้วเก็บกวาดใส่ภาชนะที่มีฝาปิด ปิดฉลากและส่งไปกำจัดทันที ทำความสะอาดพื้นที่ที่เปื้อนด้วยน้ำและสารซักฟอก ใช้ทรายหรือขี้เลื่อยดูดซับน้ำล้างเก็บกวาดใส่ภาชนะแล้วส่งไปกำจัด

8. การใช้และการจัดเก็บ (Handling/Storage)

1. การใช้	ถ่ายเทสารเคมีในสภาวะอันไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ห้ามใช้แรงดันอากาศช่วยในการสูบถ่าย ใช้สารเคมีในพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก อย่าให้สารเคมีถูกผิวหนัง เข้าตา และอย่าสูดดมไอระเหยของสารเคมี สวมถุงมือ และแว่นตาป้องกันสารเคมี ปิดภาชนะให้แน่นเรียบร้อยทุกครั้งหลังจากใช้งาน
2. การเก็บรักษา	เก็บสารเคมีในภาชนะที่ปิดสนิท และวางไว้ในพื้นที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เก็บให้ห่างจากความร้อนและแหล่งกำเนิดประกายไฟ

9. ค่ามาตรฐานความปลอดภัย/การควบคุม/การป้องกันส่วนบุคคล (Exposure Controls/Personal Protection)

1. ขีดจำกัดในการสัมผัสสารเคมี	TLV/TWA = 188 mg/m^3
2. มาตรการพื้นฐานในการป้องกันอันตราย	อ้างอิงจากข้อ 7
3. อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ	สวมหน้ากากกรองไอสารเคมี ในกรณีที่ต้องใช้ในพื้นที่อับอากาศ
4. อุปกรณ์ป้องกันมือ	ถุงมือยาง
5. อุปกรณ์ป้องกันตา	แว่นตาแบบ ป้องกันสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุปกรณ์ป้องกันผิวหนังและร่างกาย	รองเท้า และชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม
7. ข้อควรปฏิบัติ	ถ้าต้องใช้สารเคมีร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ หรือสารละลายที่ร้อน ให้ปฏิบัติงานในตู้ควัน และเปิดพัดลมดูดอากาศ จับเก็บและทำความสะอาดเสื้อผ้าที่ใส่ปฏิบัติงานแยกต่างหาก และเก็บให้ห่างจากอาหาร เครื่องดื่ม และสัตว์เลี้ยง

10. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reactivity)

1. ความคงตัว	มีความคงตัวที่สภาวะปกติ
2. สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง	ความร้อนสูง การปฏิบัติงานในสภาวะที่มีไฟฟ้าสถิต
3. สารที่ต้องหลีกเลี่ยง	สารออกซิไดส์เข้มข้น (เช่น โครเมียม (VI)-ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สารประกอบเปอร์ออกซี กรดเปอร์คลอริก กรดโครโมซัลฟิวริก เปอร์คลอเรต กรดไนตริก) กรดแก่
4. สารอันตรายจาการสลายตัว	คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์

11. ข้อมูลด้านพิษวิทยา (Toxicological Information)

1. พิษเฉียบพลัน	
- LD_{50} โดยทางปาก	5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สัตว์ที่ใช้ทดลอง หนู
- LD_{50} โดยทางผิวหนัง	12,124 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สัตว์ที่ใช้ทดลอง กระต่าย
- LD_{50} โดยการสูดหายใจ	5 มิลลิกรัม/ลิตร (หรือ มิลลิลิตร/ลูกบาศก์เมตร) สัตว์ที่ใช้ทดลอง หนู ระยะเวลาที่ได้รับสาร 4 ชั่วโมง
2. พิษต่อตา	ทำให้เกิดอาการระคายเคือง
3. พิษต่อผิวหนัง	ทำให้เกิดอาการระคายเคือง และเป็นแผลอักเสบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พิษกึ่งเฉียบพลัน/กึ่งเรื้อรัง	การสัมผัสสารเคมีเป็นประจำ หรือต่อเนื่องทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
5. พิษที่ทำให้เกิดภูมิแพ้	ไม่มีข้อมูล
6. พิษเรื้อรัง	
- พิษในการก่อมะเร็ง	ไม่มีข้อมูล
- พิษในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน	ไม่มีข้อมูล
- พิษที่ทำให้ตัวอ่อนผิดปกติ หรือมีผลต่อการสืบพันธุ์	ไม่มีข้อมูล
- พิษต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุ์กรรม	ไม่มีข้อมูล
- พิษต่อระบบประสาท	เป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง
- อวัยวะเป้าหมาย	ระบบประสาทส่วนกลาง ระบบทางเดินหายใจ

12. ข้อมูลผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ (Ecological Information)

1. การเปลี่ยนแปลงของสาร (Mobility)	ย่อยสลายในน้ำเล็กน้อย
2. การคงอยู่/การสลายตัวของสาร (Persistence/Degradability)	สารเคมีมีการสลายตัวทางชีวภาพ ความสามารถในการย่อยสลาย BOD5 :0.86 g/g ; COD : 0.7 g/g ; ThOD : 3.13 g/g ห้ามทิ้งสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ ท่อระบายน้ำ น้ำเสีย หรือดิน
3. การสะสมของสารในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation)	ไม่ก่อให้เกิดการสะสมของสารในสิ่งมีชีวิต $\log P_{OW} = 2.65$
4. พิษต่อระบบนิเวศน์ (Biotoxicity)	เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำเล็กน้อย อาจเกิดการผสมกับอากาศเหนือผิวน้ำให้ไอของสารที่ระเบิดได้
- ความเป็นพิษต่อปลา	LC_{50}/96 h/goldfish = 10 mg/litre
- ความเป็นพิษต่อไรน้ำ	LC_{50}/96 h/daphnia = 100 mg/litre

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การกำจัด/ทำลาย (Disposal Consideration)

1. การกำจัดเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	เผาในเตาสารเคมีซึ่งติดตั้งเครื่องเผาทำลายสารคาร์บอน (Afterburner) และเครื่องฟอก (Scrubber) แต่ต้องระมัดระวังเรื่องการจุดไฟติด เป็นพิเศษเพราะสารนี้ไวไฟสูง โดยต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง หรือส่งไปกำจัดกับองค์กรที่รับผิดชอบในแต่ละประเทศ
2. การกำจัดภาชนะบรรจุ	ทำความสะอาดแล้วนำไปฝังดิน หรือนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ถ้าเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ปนเปื้อน
3. การกำจัดกากของเสีย	การกำจัดเช่นเดียวกับการกำจัดเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์

ฉ.2 เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของฟีนอล

1. ข้อมูลทั่วไป (Product and Company Identification)

1. ชื่อสามัญทางเคมีของเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	ฟีนอล (Phenol)
2. สูตรเคมี	C_6H_5OH
3. ชื่ออื่น ๆ	Benzenol, Hydroxybenzene, Phenic Acid
4. ชื่อผู้ผลิต/ผู้แทนจำหน่าย	APS Chemicals

2. ส่วนผสม (Composition/Information of Ingredients)

1. Phenol	100%

3. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (Physical and Chemical Properties)

1. จุดหลอมเหลว	41-43 องศาเซลเซียส
2. จุดเดือด	182 องศาเซลเซียส
3. ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส	1.07 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส	0.2 มิลลิเมตรปรอท
5. สถานะที่ 20 องศาเซลเซียส	ของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ลักษณะสีและกลิ่น	ใส ไม่มีสีถึงสีชมพู มีกลิ่นของสารอะโรมาติกส์
7. จุดวาบไฟ	79 องศาเซลเซียส
8. อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง	715 องศาเซลเซียส
9. อัตราส่วนในอากาศที่เกิดการระเบิด	
- อัตราส่วนต่ำสุด (LEL)	38 โดยปริมาตร
- อัตราส่วนสูงสุด (UEL)	108 โดยปริมาตร

4. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย (Hazard Identification)

1. อันตรายต่อสุขภาพ

- เมื่อเข้าตา	ไอของสารจะทำให้เกิดอาการเคือง ความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลต่ออาการเคืองของตา และเป็นสาเหตุให้เกิดอาการบวมและเกิดภาพลวงตาของกระจกตา และเกิดการสูญเสียการมองเห็น
- เมื่อสัมผัสผิวหนัง	เกิดการกัดกร่อนบนเนื้อเยื่อ ความอันตรายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น บนผิวหนังจะเกิดอาการชา พร้อมกับเกิดอาการลอก และเกิดอาการเนื้อตายได้ ไอหรือของเหลวสามารถซึมผ่านผิวเกิดเป็นพิษ และถึงตายได้ นอกจากนั้นรวมถึง หมดสติ ชักอย่างรุนแรง และตาย
- เมื่อเข้าสู่ระบบหายใจ	ไอของสารทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อจมูก และ ทางเดินหายใจ การดูดซึมทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง (คลื่นไส้ เวียนศีรษะ ปวดหัว)
- เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร	ทำให้เกิดการไหม้ของปาก และลำคอ เป็นสาเหตุให้เกิดอาการเจ็บช่องท้อง ผิวหนังซีด สั่น และเกิดอาการชัก ไต และตับถูกทำลาย หมดสติ และตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การปฐมพยาบาล (First-Aid Measures)

เมื่อเกิดอุบัติเหตุจากการใช้สารเคมี ให้นำเอกสารข้อมูลความปลอดภัยฉบับนี้ไปด้วยทุกครั้งที่ไปพบแพทย์

- เมื่อเข้าตา	รีบล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที แล้วรีบไปพบแพทย์
- เมื่อสัมผัสผิวหนัง	หลีกเลี่ยงกับการสัมผัสสารโดยตรง ให้สวมถุงมือป้องกันสารเคมี ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีออก ล้างผิวหนังด้วยน้ำและสบู่ แล้วไปพบแพทย์ ทำความสะอาดเสื้อผ้าที่เปื้อนก่อนนำกลับมาใช้ใหม่
- เมื่อเข้าสู่ระบบหายใจ	ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยมีอาการหายใจไม่สะดวก หรือไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ แล้วพาไปพบแพทย์ ห้ามช่วยผู้ป่วยโดยวิธีเป่าลมหายใจลักษณะปากต่อปาก หรือเป่าลมหายใจเข้าทางจมูก
- เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร	ห้ามให้อะไรแก่ผู้ป่วยที่หมดสติ หรือชัก รีบบ้วนปากทันทีด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากๆ ไม่ควรทำให้ผู้ป่วยอาเจียน ถ้าผู้ป่วยมีอาการหายใจไม่สะดวกหรือไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ แล้วรีบพาไปพบแพทย์ทันที ถ้าผู้ป่วยหมดสติไม่ควรให้ผู้ป่วยรับประทานสิ่งใดทางปาก

6. การปฏิบัติเมื่อเกิดไฟไหม้ (Fire-Fighting Measures)

1. สารที่ใช้ดับไฟ	คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง โฟมดับเพลิง หรือละอองน้ำ
2. สารดับเพลิงที่ห้ามใช้	ไม่ควรฉีดน้ำพุ่งเป็นสาย
3. อันตรายจากเพลิงไหม้	เกิดกลุ่มควันดำของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เป็นอันตราย ถ้าเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่จำกัด ความร้อนจะทำให้เกิดการระเบิด ไอระเหยซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หนักกว่าอากาศจะแพร่กระจายไปในระดับพื้นดิน และย้อนกลับมาติดไฟได้
4. อุปกรณ์ป้องกันตัว	สวมชุดป้องกันไฟ และหน้ากากช่วยหายใจ
5. วิธีการดับเพลิง	ลดความร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้ โดยใช้ละอองน้ำ และใช้วิธีการดับเพลิงที่เหมาะสม

7. การปฏิบัติเมื่อเกิดการรั่วไหล (Accidental Release Measures)

1. การป้องกันส่วนบุคคล	ย้ายคนไปอยู่ในที่ปลอดภัย สวมชุดป้องกันสารเคมี และหน้ากากช่วยหายใจ ย้ายเครื่องมือที่จะก่อให้เกิดประกายไฟ ออกไปจากบริเวณนั้น
2. การป้องกันที่สิ่งแวดล้อม	อย่าปล่อยสารเคมีลงสู่พื้นดิน หรือท่อระบายน้ำสาธารณะ เนื่องจากจะทำให้เกิดไอของสารที่สามารถเกิดการระเบิดได้ ถ้ามีการรั่วไหลเกิดขึ้น ให้ปรึกษาเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำจัด
3. การทำความสะอาดเมื่อเกิดการรั่วไหล	ดูดซับด้วยสารเคมีที่ไม่ไวไฟ เช่น ซิลิกาเจล ทราย ดิน ขี้เลื่อย แล้วเก็บกวาดใส่ภาชนะที่มีฝาปิด ปิดฉลากและส่งไปกำจัดทันที ทำความสะอาดพื้นที่ที่เปื้อนด้วยน้ำและสารซักฟอก ใช้ทรายหรือขี้เลื่อยดูดซับน้ำล้างเก็บกวาดใส่ภาชนะแล้วส่งไปกำจัด

8. การใช้และการจัดเก็บ (Handling/Storage)

1. การใช้	ถ่ายเทสารเคมีในสภาวะที่ไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต ห้ามใช้แรงดันอากาศช่วยในการสูบถ่าย ใช้สารเคมีในพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก อย่าให้สารเคมีถูกผิวหนัง เข้าตา และอย่าสูดดมไอระเหยของสารเคมี สวมถุงมือ และแว่นตาป้องกันสารเคมี ปิดภาชนะให้แน่นเรียบร้อยทุกครั้งหลังจากใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเก็บรักษา	เก็บสารเคมีในภาชนะที่ปิดสนิท และวางไว้ในพื้นที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เก็บให้ห่างจากความร้อนและแหล่งกำเนิดประกายไฟ

9. ค่ามาตรฐานความปลอดภัย/การควบคุม/การป้องกันส่วนบุคคล (Exposure Controls/Personal Protection)

1. ขีดจำกัดในการสัมผัสสารเคมี	TWA = 19 mg/m^3
2. มาตรการพื้นฐานในการป้องกันอันตราย	อ้างอิงจากข้อ 7
3. อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ	สวมหน้ากากกรองไอสารเคมี ในกรณีที่ต้องใช้ในพื้นที่อับอากาศ
4. อุปกรณ์ป้องกันมือ	ถุงมือป้องกันสารเคมี
5. อุปกรณ์ป้องกันตา	หน้ากากแบบ Full-facepiece SCBA
6. อุปกรณ์ป้องกันผิวหนังและร่างกาย	รองเท้า และ ชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม
7. ข้อควรปฏิบัติ	ถ้าต้องใช้สารเคมีร่วม กับตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายที่ร้อน ให้ปฏิบัติงานในตู้ควันและเปิดพัดลมดูดอากาศ จับเก็บและทำความสะอาดเสื้อผ้าที่ใส่ปฏิบัติงานแยกต่างหาก และเก็บให้ห่างจากอาหาร เครื่องดื่ม และสัตว์เลี้ยง

10. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reactivity)

1. ความคงตัว	มีความคงตัวที่สภาวะปกติ
2. สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง	ความร้อนสูง การปฏิบัติงานในสภาวะที่มีไฟฟ้าสถิตย์
3. สารที่ต้องหลีกเลี่ยง	สารออกซิไดส์เข้มข้น (เช่น โครเมียม (VI) ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สารประกอบเปอร์ออกซี กรดเปอร์คลอริก กรดโครโมซัลฟิวริก เปอร์คลอเรต กรดไนตริก) กรดแก่
4. สารอันตรายจาการสลายตัว	คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ข้อมูลด้านพิษวิทยา (Toxicological Information)

1. พิษเฉียบพลัน

- LD_{50} โดยทางปาก	300-650 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สัตว์ที่ใช้ทดลอง หนู
- LD_{50} โดยทางผิวหนัง	850-1,400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สัตว์ที่ใช้ทดลอง กระต่าย
- LD_{50} โดยการสูดหายใจ	316 มิลลิกรัม/ลิตร (หรือ มิลลิลิตร/ลูกบาศก์-เมตร) สัตว์ที่ใช้ทดลอง หนู ระยะเวลาที่ได้รับสาร 4 ชั่วโมง

2. พิษเรื้อรัง

- พิษในการก่อมะเร็ง	ไม่เกิดมะเร็ง
- พิษในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน	ไม่มีข้อมูล
- พิษที่ทำให้ตัวอ่อนผิดปกติ หรือมีผลต่อการสืบพันธุ์	ไม่มีข้อมูล
- พิษต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุ์กรรม	ไม่มีข้อมูล
- พิษต่อระบบประสาท	เป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง
- อวัยวะเป้าหมาย	ตับและไต

12. การกำจัด/ทำลาย (Disposal Consideration)

1. การกำจัดเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์	เผาในเตาสารเคมีซึ่งติดตั้งเครื่องเผาทำลายสารคาร์บอน (Afterburner) และเครื่องฟอก (Scrubber) แต่ต้องระมัดระวังเรื่องการจุดไฟติดเป็นพิเศษเพราะสารนี้ไวไฟสูง โดยต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง หรือส่งไปกำจัดกับองค์กรที่รับผิดชอบในแต่ละประเทศ
2. การกำจัดกากของเสีย	ทำการกำจัดเช่นเดียวกับการกำจัดเคมีภัณฑ์/ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

คุณสมบัติคาร์บอนกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์	$\bar{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\bar{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)	หมายเหตุ
งานวิจัยนี้					
-กากเมล็ดกาแฟ	4.07	4	-	0.004	-
-คาร์บอนจากการเผาแบบอับอากาศ	2.41	74	-	0.045	-
-กระตุ้นด้วยไอน้ำ	2.44	178	69	0.109	-
-กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์	2.29	625	171	0.360	-
-กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสเฟอริก	2.25	556	171	0.315	-
งานวิจัยอื่น					
-คาร์บอนจากกากเมล็ดกาแฟ (กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [15]	-	911	-	-	-
คาร์บอนกัมมันต์จากวัสดุมวลเบา					
-ดินพรุ (กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [10]	-	881	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 1,200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์	$\bar{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\bar{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)	หมายเหตุ
-ดินพรุ (กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์) [10]	-	1,178	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 1,300
-PET (กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [15]	-	1,154	-	-	-
-เปลือกมะรุม (กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [22]	-	931	-	-	-
-ยาง (กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [28]	-	708	-	-	-
คาร์บอนกัมมันต์ในการค้า					
-บริษัท CALGON จำกัด BEL 4x10 (จากถ่านหิน ชนิดเม็ด)	-	-	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 1,050
-บริษัท อุทุมพรเคมิ-คอล จำกัด (จากกะลามะพร้าว ชนิดผง กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [10]	-	605	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์	$\bar{D}_p$ (นาโนเมตร)	$\bar{S}_{TOT}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{S}_{Meso}$ (ตารางเมตรต่อกรัม)	$\bar{V}_p$ (ลูกบาศก์-เซนติเมตรต่อกรัม)	หมายเหตุ
-ดินพรุ (กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์) [10]	-	1,178	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 1,300
-บริษัท Takeda จำกัด CW-20 (จากถ่านไม้ กระตุ้นด้วยไอน้ำ) [10]	-	637	-	-	ไอโอดีนนัมเบอร์ 1,046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้