การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี

ไชยเชษฐ ขวดแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
พฤษภาคม 2563

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี

ไชยเชษฐ ขวดแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
พฤษภาคม 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

The Fabrication of coffee grounds activated carbon by using chemical activation

Chaiyachet khuedkaew

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering Program (Engineering Management)
faculty of Industrial Technology Uttaradit Rajabhat University
May 2020

Copyright of Uttaradit Rajabhat University

วิทยานิพนธ์ เรื่อง

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี

ของ

ไชยเชษฐ ขวดแก้ว

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทนงศักดิ์ โนไชยา)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(อาจารย์ ดร.ภคมน ปินตานา)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(อาจารย์ ดร.พลิศภัสร์ คำฟู)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และเลขานุการ

.....	.....
(อาจารย์ ดร.ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์)
ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำหลักสูตร	คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
.....	.....
(อาจารย์ ดร.เชาวฤทธิ์ จั่นจีน)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดช วงศ์หล้า)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง	การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี
ผู้วิจัย	ไชยเชษฐ ขวดแก้ว
ปริญญา	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.พลิศภัสร์ คำฟู
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ภคมน ปินตานา

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษากระบวนการ คุณสมบัติ สภาวะที่เหมาะสม ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เป็นการวิจัยแบบทดลอง โดยวิธีการนำกากกาแฟมาทำการคาร์บอไนเซชั่น ด้วยการเผาแบบอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าร้อยละผลผลิต ค่าการดูดซับโลหะหนัก และพื้นที่ผิว (BET)

ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 1:3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ ซึ่งส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ มีค่าร้อยละความชื้นเพิ่มขึ้น 15.02 ค่าร้อยละของผลผลิตลดลง 85.29 ค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักค่าเพิ่มขึ้น 99.99 ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลง 4.69 และมีค่าพื้นที่ผิว(BET) มีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น 729 m_2/g

ดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยสารเคมี สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900-2547

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์, กากกาแฟ, การกระตุ้นด้วยสารเคมี, สารละลายโซเดียมคลอไรด์

Abstract

Title	The Fabrication of coffee grounds activated carbon by using chemical activation
Author	Chaiyachet khuedkaew
Degree	Master of Engineering Program (Engineering Management)
Advisor	Dr. Phalitphat Khumfu
Co-Advisor	Dr.Pakamon Pintana

The purposes of this research were to study fabrication process, quality, condition and adsorption capacity of activated carbon. This research is an experimental research started with carbonizing coffee grounds by burning in a confined space at 400 °C for 1 hour then using chemical activation by soaking in Sodium Chloride and Zinc Chloride Solution in 1:1, 1:2, 1:3, and 1:4 ratios for 2 hours. Afterwards, the coffee ground activated carbon was analyzed for moisture content, pH value, percentage of yield, heavy metal adsorption, and BET.

The results found that the coffee ground activated carbon soaked in Sodium Chloride Solution in 1:3 ratio is the most effective condition compared to Zinc Chloride Solution. In addition, the moisture content of the coffee ground activated carbon increased by 15.02%; percentage of yield decreased by 85.29%; heavy metal adsorption increased by 99.99%; pH value decreased by 4.69%; and BET increased by 729 m2/g.

Therefore, the fabrication of coffee ground activated carbon by using chemical activation can produce coffee ground activated carbon with the absorption value that has met the standard of TIS 900-2547.

Keyword : Activated Carbon, coffee ground, Chemical Activation, Sodium Chloride Solution

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์เรียบร้อยได้ด้วยความช่วยเหลือ ของ อาจารย์ ดร.พลิศภัสร์ คำฟู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.ภคมน ปินตานา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ชี้แนะ และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนายนพดล บุญยรัตนพันธุ์ เจ้าหน้าที่เทคนิคห้องปฏิบัติการเคมีประยุกต์ ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการแนะนำ และสอนวิธีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง และการใช้สารเคมีต่างๆในห้องปฏิบัติการตลอดเวลาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ไชยเชษฐ ขวดแก้ว

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 2

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

ขอบเขตของงานวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

ถ่านกัมมันต์ 5

ชนิดของถ่านกัมมันต์ 6

วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ 9

ขั้นตอนการกระตุ้น (Activation) 13

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในการกระตุ้น 15

โครงสร้างและคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ 16

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ 19
การดูดซับ 20
กาแฟ 23
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) 26
ขอบข่ายของถ่านกัมมันต์ 27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย 34
แผนการดำเนินงาน 34
ศึกษาค้นคว้าข้อมูล 34
การออกแบบการทดลอง 34
อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 35
การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ 37
การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (BET) 40
การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – เบส หรือ ค่า pH 41
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดหาค่า pH 41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 43
ผลการวิจัย 43
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 63
สรุปผลการวิจัย 63
อภิปรายผล 63
ข้อเสนอแนะ 65
บรรณานุกรม 67
ภาคผนวก 69
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ 70

ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 83
ภาคผนวก ค ภาพการดำเนินงาน.....87
ภาคผนวก ง สัญญาลักษณ์.....91
ประวัติย่อผู้วิจัย.....94

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์แบบผง..... 7

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์แบบเม็ด..... 7

ตารางที่ 3 วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์..... 10

ตารางที่ 4 ตัวแปรในการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี..... 22

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ..... 26

ตารางที่ 6 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง..... 28

ตารางที่ 7 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด..... 29

ตารางที่ 8 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด..... 29

ตารางที่ 9 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง..... 30

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของกากกาแฟ..... 43

ตารางที่ 11 แสดงผลการดูดซับโลหะหนักของถ่านที่เผาในที่อับอากาศ (B1)..... 45

ตารางที่ 12 แสดงอัตราส่วนการกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ในอัตราส่วนต่าง ๆ..... 46

ตารางที่ 13 แสดงอัตราส่วนการกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟกับสารละลายสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในอัตราส่วนต่าง ๆ..... 47

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)..... 48

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักแคดเมี่ยม (Cd) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)..... 49

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Cu) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)..... 50

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักปรอท (Hg) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)..... 51

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักเหล็ก (Fe) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl).....52

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ ($ZnCl_2$)..... 53

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักแคทเมี่ยม (Cd) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$).....54

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Cu) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)..... 55

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Hg) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$).....56

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักเหล็ก (Fe) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$).....57

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า Iodin Number ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ..... 59

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ.....59

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟหลังการกระตุ้นทางเคมี..60

ตารางที่ 27 แสดงค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ..... 61

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกแกรไฟต์ 17

ภาพที่ 2 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 18

ภาพที่ 3 กลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์ 23

ภาพที่ 4 ลักษณะของต้นกาแฟและเมล็ดกาแฟ 24

ภาพที่ 5 ผังขั้นตอนการทำงาน 36

ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าความชื้นของกากกาแฟ 44

ภาพที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl) 58

ภาพที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) 58

ภาพที่ 9 แสดงค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) 61

ภาพที่ 10 แสดงค่าพื้นที่ผิว (BET) ของถ่านจากกากกาแฟ 62

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียเป็นมลพิษอย่างหนึ่งที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โลหะหนักเป็นสารพิษหลักที่ปนเปื้อนอยู่ อันได้แก่ แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว สังกะสี ทองแดงนิกเกิล เป็นต้น อันอาจนำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป ถ้าไม่มีการกำจัดที่ถูกต้อง อาจมีการรั่วไหลไปสู่ดินและแม่น้ำลำคลอง ไปสู่วงจรอาหารและต่อไปยังคน ก่อให้เกิดอันตรายต่อคนและสัตว์น้ำได้ ดังนั้น กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้ประกาควบคุมกำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและสารอันตรายอื่น ๆ ไว้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาตัวดูดซับต่าง ๆ มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ เรซิน เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์ (Activate Carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นโดยผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูง ๆ ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนแลคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ผิวของคาร์บอนเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง เกิดร่างแหรูพรุนภายในและร่างหมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวในแต่ละส่วน ทำให้ถ่านกัมมันต์มีลักษณะพิเศษ คือ มีพื้นที่สัมผัสผิวมากประมาณ 600-2000 ตารางเมตรต่อกรัม จึงมีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบกะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เป็นต้น การเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์มี 2 วิธี คือ การกระตุ้น ทางกายภาพ (Physical Activation) และการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) ซึ่งวิธีการกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีที่มีการนำมาใช้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจากมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นน้อย อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ และถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนสูง สารเคมีที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการกระตุ้นทางเคมี ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โซเดียมครอไรด์ (NaCl) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตถ่านกัมมันต์มีการนำเสนอรูปแบบการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การทำผลิตภัณฑ์ฟอกอากาศจากถ่านกัมมันต์ ในรูปแบบที่สวยงามใช้ในรถยนต์ ในตู้เย็น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เช่น การดูดซับก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ การดูดซับก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ หรือประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ดูดซับของ

เสียมีเทนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่แก๊สมีเทนที่ดูดซับได้จากถ่านกัมมันต์ยังสามารถนำไปพัฒนาหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

กาแฟจัดเป็นเครื่องดื่มที่ประชาชนทุกเพศทุกวัยนิยมดื่มกันอย่างแพร่หลาย สังเกตจากการที่มีร้านกาแฟตามสถานที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นห้างสรรพสินค้า ร้านขายหนังสือ มหาวิทยาลัย ปั๊มน้ำมัน ชุมชน หรือรถเข็นกาแฟโบราณ ผู้จำหน่ายได้สั่งกาแฟคั่วสำเร็จรูปแล้วมาบดและชงเป็นทั้งกาแฟร้อนและกาแฟเย็น ส่วนกากที่เหลือจากการชงก็ต้องทิ้ง เพราะว่าไม่สามารถให้กลิ่นและรสชาติที่ต้องการได้อีก ทำให้กากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟถูกทิ้งเป็นจำนวนมากตามการบริโภคที่เพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับโลหะในการบำบัดน้ำเสีย ดูดกลิ่นและฟอกอากาศ วัสดุที่นำมาผลิตจะพิจารณาถึงองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ได้แก่ส่วนต่างๆของพืช เช่น เนื้อไม้ เปลือก เปลือกเมล็ด เมล็ดและยางรถยนต์ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกากกาแฟแล้วจะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นของแข็ง ที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำร้อนเป็นส่วนมาก ดั้งนั้นกากกาแฟเป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดพืชน่าจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ควรที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นตัวดูดซับที่ดีได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุ และเป็นการเพิ่มทางเลือกในการผลิตถ่านกัมมันต์

จะเห็นได้ว่าจากการบริโภคกาแฟสดของคนส่วนใหญ่ ทำให้กากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟถูกทิ้งเป็นจำนวนมากตามการบริโภค ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและเพิ่มมูลค่าให้กับกากกาแฟที่เหลือทิ้งจากการชงกาแฟสด โดยการประยุกต์ใช้กากกาแฟมาผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาถึงสมบัติและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์และนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์

คำถามการวิจัย

1. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟได้อย่างไร
2. คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เตรียมได้ ควรเป็นอย่างไร
3. ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เตรียมได้ มีประสิทธิภาพอย่างไร

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ขอบเขตของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มุ่งความสนใจในการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ให้ได้ค่าพื้นที่ผิว (BET) ที่เหมาะสม และนำไปทดสอบการดูดซับโลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำเสีย การเตรียมถ่านกัมมันต์จะเริ่มจากวัดค่าความชื้นและน้ำหนักของวัตถุดิบก่อนนำไปเผาหลังจากนั้นนำเอาวัตถุดิบที่ได้ไปเผาให้เป็นถ่านในที่อับอากาศเป็นในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อได้ถ่านแล้วทำการวัดค่าความชื้นและน้ำหนักหลังเผาแล้วทำการศึกษาพื้นที่ผิว (BET) ทำการทดสอบการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในน้ำเสีย เมื่อได้ถ่านแล้วจึงนำถ่านไปเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยนำถ่านที่ได้ไปทำการกระตุ้นโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หลังจากนั้นทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ เช่น และอุณหภูมิในการเผา และวัดค่าความชื้น น้ำหนักของถ่าน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์

นิยามศัพท์เฉพาะ

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous Carbon) ชนิดหนึ่งแต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (Activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (Internal Surface Area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก

ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ หมายถึง ถ่านที่เกิดจากเผากากกาแฟแล้วทำการกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก

การดูดซับ หมายถึง กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

การกระตุ้นทางเคมี หมายถึง การกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี เช่น แคลเซียมคลอไรด์ สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้นจากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 600 - 700 องศาเซลเซียส

กากกาแฟ หมายถึง กากกาแฟที่เหลือทิ้งจากการบดเมล็ดเพื่อนำไปชงเป็นกาแฟสด โดยกากกาแฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดสายพันธ์ที่จะนำมาทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟแบบผง
2. ได้วิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ
3. ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนัก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรต้น

1. ระยะเวลาในการเผาไหม้
2. อุณหภูมิในการเผาไหม้
3. วิธีการกระตุ้น
   - 3.1 การกระตุ้นทางเคมี (แช่สารเคมี)
4. สารเคมีที่ใช้
   - 4.1 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)
   - 4.2 สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

→

ตัวแปรตาม

1. น้ำหนัก ความชื้น และความเป็นกรดด่าง (pH)
2. การดูดซับไอโอดีน และโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมี่ยม และโครเมี่ยม)
3. พื้นที่ผิว (BET)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เตรียมได้ ดังต่อไปนี้

1. ถ่านกัมมันต์
2. การดูดซับ
3. กาแฟ
4. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547)
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า แอคทิฟคาร์บอน (Active Carbon) หรือ แอกทิเวตเทต คาร์บอน (Activated Aarbon) เป็นถ่านที่มีสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น แกลบ กะลา มะพร้าว ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหินเช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นมีไม่มาก เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้เกิดรูพรุน หรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูงและมีความสามารถในการดูดซับสูงด้วยเช่น การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์จะทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูด (Nature of Adsorbate) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (Temperature) และเวลาในการสัมผัส (Contact Time) (ชลธิชา ประจักษ์สูตร์ และลักษมณ คูบุญญอารักษ์,2554)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) (จตุพร วิทยาคุณ, 2547) ถ่านกัมมันต์เป็นของแข็งที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นหลัก มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูงสามารถผลิตจากชีวมวล เช่น กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ มักมีความเป็นขั้วต่ำหรือไม่มีขั้ว ถ่านกัมมันต์เตรียมได้จากการให้ความร้อนวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอน เช่น ถ่านหินลิกไนต์ การเผาไหม้ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อกำจัดน้ำและสารระเหยได้ง่าย นอกจากนี้ยังอาจทำให้โมเลกุลอินทรีย์สลายตัว จึงได้วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ หลังจากนั้นจึงนำมาก่อกัมมันต์ (Activate) ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สารเคมีและการออกซิไดซ์โดยใช้น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ที่เรียกว่า การกัมมันต์ทางกายภาพ

การใช้สารเคมี คือ การใช้สารที่มีสมบัติเป็นตัวดึงน้ำที่ดี (Strong Dehydrating Agent) เช่นกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือซิงค์คลอไรด์ ($ZnC1_2$) ผสมกับวัสดุตั้งต้นแล้วจึงให้ความร้อนในช่วงประมาณ 500-800 $^{\circ}$C

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2532) กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน

สมาคม ASTM (American Society for Testing and Material) ได้ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ว่า เป็นวัสดุจำพวกคาร์บอนที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมาผ่านกระบวนการผลิต เพื่อทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดีขึ้น คือกระบวนการที่โมเลกุลของสารในสภาวะของไหลไปจับบนผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางเคมีหรือกายภาพ หรือแรงทั้งสองชนิดร่วมกัน

ชนิดของถ่านกัมมันต์

1. แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

1.1 ประเภทเป็นผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร (μm) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลวดูดกลิ่นในสารละลายได้หลายชนิด ตาม มอก.900-2532 กำหนดไว้ว่าลักษณะทั่วไปของถ่านกัมมันต์แบบผงต้องเป็นผงละเอียด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใด ๆ โดยคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์แบบผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ไม่น้อยกว่า	600
2	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลบ.ซม)	0.2 ถึง 0.75

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1.2 ประเภทเป็นเม็ด (Pellet) ตาม มอก.900-2532 กำหนดว่าลักษณะทั่วไปของถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด ต้องลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัดเป็นเส้นกลม ๆ แล้วตัดออกเป็น ท่อนเท่า ๆ กันหรืออาจทำเป็นเกล็ดที่ได้จากการย่อยอนุภาคขนาดใหญ่ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย ต้องเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1.2.1 Pellet Activated Carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับการอัดผ่านเครื่องอัด ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือ การทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์และใช้ทำหน้ากากป้องกันแก๊สและไอพิษต่าง ๆ

1.2.2 Granular Activated Carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์แบบเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ไม่น้อยกว่า	600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8
3	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลบ.ซม)ไม่น้อยกว่า 0.36	0.36
4	ความแข็ง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

2.1 สำหรับดูดซับแก๊ส (Gas Adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท Hard Artificial Char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้หรือถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

2.2 สำหรับดูดซับสี (Colour Ddsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท Soft Artificial Char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากถ่านหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

2.3 สำหรับดูดซับโลหะ (Metal Adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยก ทอง เงิน แพลทินัม และแร่

3. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

3.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยา เคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

3.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

4. แบ่งตามขนาดรูพรุน

4.1 รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร (nm) มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

4.2 รูพรุนขนาดกลาง (Transitional Pores or Mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15 -100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Reaction)

4.3 ขนาดใหญ่ (Macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและผลิตยา

5. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

5.1 ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบหรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์เป็นต้น

5.2 ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊สพิษ หรือไอระเหย

6. แบ่งตามค่าความเป็นกรดด่างเมื่อละลายน้ำ

6.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้ว มีสมบัติเป็นกรด โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชัน ที่อยู่บนพื้นผิวเป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl)

6.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้ว มีสมบัติเป็นด่าง โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิว ได้แก่ ควินิน (Quinine) ฟีนอล (Phenol) และ คาร์บอกซิเลท (Carboxylate)

วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นได้มาจากการเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม คือ พีท ลิกไนต์ ไม้ ปาล์มและกะลามะพร้าว เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

1. มีปริมาณสารระเหยต่ำ
2. มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
3. หาง่ายและราคาถูก
4. มีคุณสมบัติคงที่

สำหรับวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านนั้น มักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชั่นอินทรียวัตถุหรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Char) เช่น ถ่านหิน เป็นต้น ถ่านสังเคราะห์สามารถแบ่งตามอินทรียวัตถุที่ใช้ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard Artificial Char) เช่น ถ่านหินน้ำมัน ถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชั่นที่ความดันสูง เป็นต้น

2. ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft Artificial Char) เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน ถ่านกากน้ำตาล เป็นต้น

โดยทั่วไปตามทฤษฎีอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงมักนิยมนำของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากหางายและมีราคาถูก แต่อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากของเสียที่เหลือทิ้งทางการเกษตรนั้นจะเกิดปัญหา คือ วัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนการผลิต แหล่งของวัตถุดิบที่นำมาศึกษาเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

อินทรียวัตถุ		อนินทรีย์วัตถุ	
วัตถุดิบจากจากพืช	ถ่านหิน	สัตว์	
ชานอ้อย (Bagasse)	ถ่านหิน (Coal)	เลือด (Blood)	ฝุ่นจากปลองไฟ (Flue Dust)
กากน้ำตาล (Beet-sugar Suldge)	แกรไฟต์ (Graphite)	กระดูก (Bone)	เขม่า (Lampblack)
สารจำพวกแป้ง (Carbohydrate)	ถ่านลิกไนต์ (Lignite)	ปลา (Fihs)	กากโปรแตสเซียมเฟอ-โรไซยาไนต์ (Potassiumferroc Yanide Residue)
เมล็ดพืช (Cercal)	หินน้ำมัน (Oil Shale)	กากหนัง (Leather waste)	เศษยาง (Rubber waste)
กะลามะพร้าว (Coconut Shell)	ถ่านพีท (Peat)		กากกรดปิโตเลียม (Petroleum Acid Sludge)
เปลือกถั่ว (Nut Shell)	ถ่านหินน้ำมัน (Peroleum Coke)		ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (Pulp-mill Waste)
กากกาแฟ (Coffee Bean)			ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา (Distillery Waste)
ซังข้าวโพด (Comcob and Comstalk)			
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton Seedhull)			
เมล็ดแข็งของผลไม้ (Fruit pit)			
วัชพืชทะเล (Kelp and Seaweed)			
แกลบ (Rice Husk)			
ขี้เลื่อย (Sawdust)			
ไม้ (Wood)			

ที่มา: ลลิดา นิทัศนจารุกุล,2544

การผลิตถ่านกัมมันต์ (Processing of Activated Carbon)

ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอไนซ์เซชัน และขั้นตอนการกระตุ้น

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ขี้เลื่อย กะลา มะพร้าว แกลบเปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ยาง พลาสติก ถ่านหิน กากกาแฟ และพีท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือ เริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบด และคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอไนเซชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็ง และเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอไนเซชันก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้ (บุญชัย ตระกูลมหชัย, 2536)

สำหรับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงอาจนำมาทำให้เป็นเม็ดโดยใช้ตัวประสาร เช่น แป้ง น้ำมันเตาหรือทาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนซ์มาผสมกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงหรือสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย แล้วทำการอัดให้เป็นเม็ดก่อนที่จะนำไปคาร์บอไนเซชันต่อไป

2. การทำให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอไนซ์เซชัน (Carbonization) การคาร์บอไนซ์เซชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการทำให้โครงสร้างมีรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจนไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ และถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันนั้นควรมีลักษณะ มีสีดำตลอด (Uniformly Black) เมื่อทำการหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวเป็นมันเงา (Shiny Surface) ส่วนปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp) และปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

ขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์เนื่องจากในการคาร์บอไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุนโดยในระหว่างการคาร์บอไนเซชันธาตุและองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่นไฮโดรเจน ออกซิเจนไนโตรเจนและน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอนซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างผลึกโดยจะมีสารอนินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้นซึ่งในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย

2.1 ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนเซชัน แบ่งได้ชัดเจนเป็น 3 ขั้นตอน

2.1.1 จะมีการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27- 197 องศาเซลเซียส

2.1.2 เข้าสู่ขั้นตอนการไพโรไลซีสโดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197 - 497 องศาเซลเซียส

2.1.3 เป็นช่วงที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอนโดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส

2.2 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการคาร์บอไนเซชัน

2.2.1 อุณหภูมิ จะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณการเกิดถ่านคาร์บอนจะลดลงส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซที่ได้เพิ่มมากขึ้นและคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วยเพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา สิ่งสำคัญที่สุดของกระบวนการนี้ คือ อุณหภูมิสุดท้ายของการคาร์บอไนซ์เซชัน เพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะเคมีในวัตถุดิบออกมาเป็นสารระเหยที่อุณหภูมิสูง ถ่านชาร์จะมีการจัดระเบียบของโครงสร้างมากกว่า เช่น ถ่านหินเกรดสูงจะหดตัวมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอไนซ์เซชัน เป็นผลทำให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นแรกของของการคาร์บอไนซ์ลดลงและเม็ดถ่านหินมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชัน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะมากขึ้นเมื่อค่าคาร์บอนคงตัวลดลง

2.2.2 อัตราการให้ความร้อน อัตราให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสาระเหยการเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็ว จะมีผลทำให้ปริมาณสาระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

2.2.3 ตัวกลางของปฏิกิริยา (Medium of Reaction) ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้

ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

2.2.4 ธรรมชาติของวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสภาวะในการคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกันโดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนาไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

ขั้นตอนการกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้พื้นผิวมีความว่องไวมากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธีและประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะ และชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

1. วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น

1.1 เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

1.2 เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น

1.3 เป็นการกำจัดอินทรียวัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Centers)

2. การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1 วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemiscal Activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น มีข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก 400-600 ℃ แต่ก็มีข้อเสีย คือ สารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สารเคมีส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$),กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

2.1.1 การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรมโดยแช่วัตถุดิบในสารละลายซิงค์คลอไรด์ประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วนอาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อยแล้วนำไปทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600–800 องศาเซลเซียส จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อกำจัดซิงค์คลอไรค์ที่เหลือและ

สารประกอบของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไปในทางอุตสาหกรรมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกแต่ด้วยปัญหาการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลงมาก

2.1.2 การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นคือประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ได้แก่การใช้ดินพรุหรือขี้เลื่อยโดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วนำไปเผากระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัสและไฮไดร์สารที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.1.3 การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K, Na) เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K หรือ Na) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อนไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียสโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์น้ำและออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการโครงสร้างของวัตถุดิบเมื่อให้ความร้อนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูง แสดงดังนี้

$$2KOH \longrightarrow K_2O + H_2O \quad (1)$$

$$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO \quad (2)$$

สมการที่ 1 และ 2 เป็นการสลายตัวของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) และน้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านหินเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียม ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$K_2O + H_2 \longrightarrow 2K + H_2O \quad (3)$$

$$K_2O + C \longrightarrow 2K + CO \quad (4)$$

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูงทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักศึกษาหลายกลุ่มพบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวะมวลนั้นทำให้

โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดความเสถียรและองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

2.2 วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้นนิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่น ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด (Steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอันเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 ℃ แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในการกระตุ้น

1. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 5

$$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO \qquad \Delta H = 37 \text{ kcal/g. mole} \qquad (5)$$

อัตราการออกซิไดซ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพราะปฏิกิริยาจะกลายเป็น diffusion controlled rate ซึ่งอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ชั้นนอก จำนวนมากจะถูกเผาไหม้ให้มีขนาดและความพรุนของอนุภาคเล็กลง

2. การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเช่นกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 6

$$C + CO_2 \longrightarrow H_2 + 2CO \qquad \Delta H = 91. \text{ kcal/g. mole} \qquad (6)$$

จากค่า ΔH จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยด้วยไอน้ำ ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิกระตุ้นสูงกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นประมาณ 850 -1,100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ ใช้ด้วย แต่ในทางปฏิบัติ แล้วจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งจะให้ทั้งไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีแก๊สออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเติมไอน้ำเข้าไปด้วยเพื่อเป็นการกระตุ้นโดยใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

3. การกระตุ้นด้วยอากาศ โดยการใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนนอกไซด์ จัดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ 7 และ 8

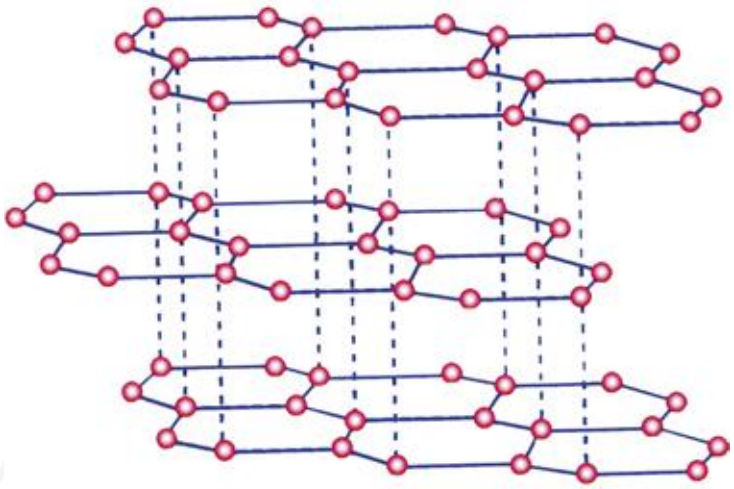
$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \quad \Delta H = 37 \text{ kcal/g. mole} \qquad (7)$$

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO \quad \Delta H = 37 \text{ kcal/g. mole} \qquad (8)$$

การใช้อากาศเพื่อทำการกระตุ้นมีการใช้กันน้อยมาก ทั้งนี้เพราะว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่า อีกทั้งแก๊สออกซิเจนอาจจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ผิวของถ่านทำให้เกิดความเสียหายได้ด้วย

โครงสร้างและคุณสมบัติถ่านกัมมันต์

1. ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์นั้น มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ผลึกแกรไฟต์ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซิน (Benzene Ring) หรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือ แต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดี่ยวกับอีก 3 อะตอมในแผ่นราบ (Plane) ในลักษณะสมมาตรกันอิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะนี้เป็นซิกมาอิเล็กตรอน ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 1.442 อังสตรอมอิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปทั่วทั้งโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (Resonance) เพื่อทำให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลล์ (Van der Waals) แต่ละแผ่นราบห่างกัน 3.354 อังสตรอม การสลับตำแหน่ง (Displacement) ในทิศทางขนานกับแผ่น (Layer) จะเกิดง่ายเพราะแรงแวนเดอร์วาลล์อ่อน ดังนั้นจะเกิดข้อ บกพร่อง (Defect) ในโครงสร้าง ณ จุดนี้ได้ง่าย โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับสภาวะในการผลิตได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน



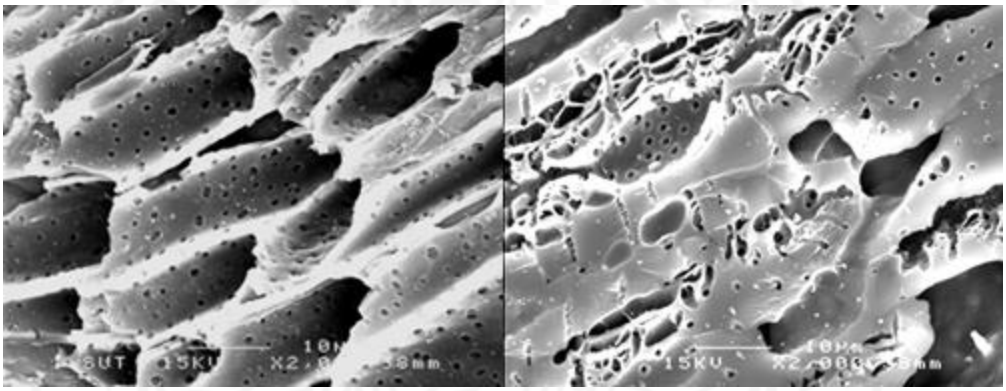
ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกแกรไฟต์
ที่มา: K-me, 2016

2. โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบระหว่างช่องของผลึกคาร์บอนรูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนมากขึ้น ไม่ใช่ขนาดของรูใหญ่ขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะพบว่า มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววีสามารถจำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีของรูพรุนออกได้เป็น

2.1 แมคโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000–2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2–0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

2.2 มีโซพอร์ (Mesopores) หรือทรานซิชันนันพอร์ (Transitionalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15–2,000 อังสตรอม ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1–0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20–100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นมีโซพอร์ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels) อะมิโนซิลิเกตคะตะลิสท์ (Aminosilicate Catalyst)

2.3 ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูน้อยกว่า 15–16 อังสตรอม ปริมาตร 0.2–0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะมาก โดยมีค่าหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจาก พื้นที่การดูดซับ และพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำ ๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือที่เรียกกันว่า การกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size Distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอไลต์ (Zeolite)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา: สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์, 2553

3. โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์ จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชัน อะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม (Aromatic Ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาสลายช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาสลาย ออกจากช่องว่างหรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันนัลขึ้นมาแทน

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ

วาเลนซีไม่อิ่มตัว (Unsaturated Valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุล อื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่าง ๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ที่ขอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบทางเคมี (Chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400–500 องศาเซลเซียส และกลายสภาพเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกลุแอมโมเนีย และซัลเฟอร์ออกจากโมเลกลุไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (Halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลต่าง ๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์แต่ที่สำคัญ คือ ผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจนหรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

1. ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอ

1.1 ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้ในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

1.2 ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ

1.3 ใช้แยกเบนซีน (Benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม

1.4 ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้น ที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่าง ๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมักอุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น

1.5 กำจัดสิ่งเจือปนออกจากแก๊ส เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนียคาร์บอนไดออกไซด์คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นต้น

1.6 กำจัดสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (Organic Sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสิ่งเจือปนอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม

1.7 กำจัดกลิ่นในอากาศ ในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง

1.8 ใช้ดูดกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

การดูดซับ

1. ทฤษฎีการดูดซับ (Sorption) คือปรากฏการณ์ที่เกิดความสมดุลในการแยกสารประกอบประเภทไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ไปยังพื้นผิวของระบบสองสถานะ (Two–Phase System) อันประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ และส่วนที่เป็นของแข็ง เช่น ดิน ฮิวมัส หรือผงกัมมันต์ กระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนแยกไปยังของแข็งมักจะเกี่ยวกับพันธะที่ไม่แข็งแรง สามารถย้อนกลับได้ (สิริจิตติ์ แสงอุ่นอุรัย, 2544)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นทีผิวสัมผัสระหว่างเฟส 2 เฟส เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่เกิดการดูดซับเรียกว่า “ตัวดูดซับ” (Adsorbent) และสารทีถูกดูดซับเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ”(Adsorbate) การดูดซับจะเกิดขึ้นเมือมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับระหว่างเฟสของเหลว-ของแข็งนั้น ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอย สารจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กบผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นทีเกาะอยู่ทีผิวภายนอก (ศรัณย์ จิตตวนิชประภา, 2554)

การดูดซับ เป็นการแยกสารองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือแก๊สโดยให้สารละลายหรือแก๊สผสมสัมผัสกับตัวดูดซึม องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน การดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ และขนาดรูพรุนในตัวดูดซับดังนั้นในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการต้องเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้นโดยทั่วไปกระบวนการดูดซับของโมเลกุลต่างๆบนผิวถ่านกัมมันต์ สามารถเขียนอยู่ในรูปปฏิกิริยาของการดูดซับ ได้ดังนี้

$$A + S \longleftrightarrow A^*S \qquad (9)$$

โดยที่ A คือตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) และ S คือตัวดูดซับ (Adsorbate) และ A*S คือสารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbate compound) ในปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับด้วยกลไกการดูดซับ (สมร หิรัญประดิษฐกุล,2555) โดยการดูดซับสามารถแบ่งตามความแตกต่างของแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นในการดูดซับได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อน ทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย สมมุติฐานของการดูดซับทางกายภาพ มีดังนี้

1.1 การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

1.2 การดูดซับเกิดจากแรงวันเดอร์วาลส์

1.3 การดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption)

1.4 พลังงานกระตุ้นต่ำ

1.5 การดูดซับเป็นแบบผันกลับได้ (Reversible adsorption)

2. การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง ประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่าการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

ตารางที่ 4 ตัวแปรในการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊สของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดวับ		

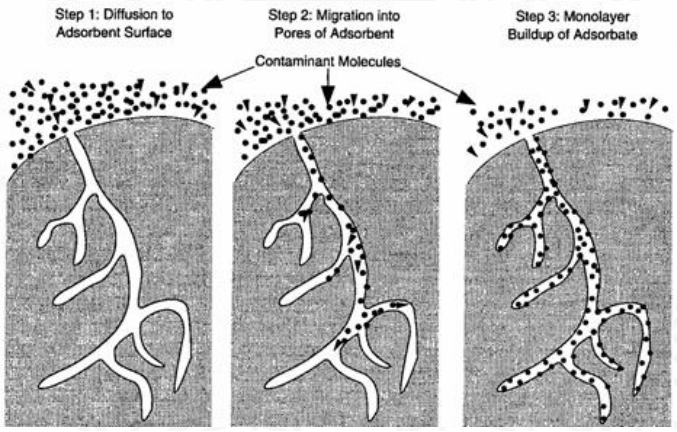
ที่มา: pradthana Weblog, 2551

3. กลไกการดูดซับในกระบวนการดูดซับโดยทั่ว ไปจะประกอบไปด้วยขั้นตอนของการดูดซับและขั้นตอนการคืนสภาพของตัวดุดซับหรือที่เรียกว่าการคายซับ (Desorption) ในขั้นตอนการดูดซับนี้สารละลายจะถูกส่งผ่านไปบนตัวดูดซับอย่างต่อเนื่องกระทั่งเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานของตัวดูดซับจึงได้มีการคืนสภาพให้กับ ตัวดูดซับนั้น ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดันของระบบ ขั้นตอนของการดูดซับบนถ่านกัมมันตส์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้โดยแสดงกลไกการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ ดังภาพที่ 3

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ โดยจะเป็นการเคลื่อนที่ของสารถูกดูดซับให้เข้ามาติดกับผิวนอกของตัวดูดซับ โดยสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1ไมครอน จะเคลื่อนที่ตามธรรมชาติเข้าหาตัวดูดซับหรือเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Browniandiffusion) ซึ่งการแพร่กระจายจะทำ ให้สารที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่า และมีโอกาสวิ่งเข้าหาถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า แต่สำหรับสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนนั้น สารจะเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ ตามทิศทางการไหลของของไหลการแพร่กระจายในระดับโมเลกุลจะเกิดขึ้นน้อยมากโดยที่ขนาดและน้ำ หนักของสารถูกดูดซับจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ ในการสร้างกลไกแบบตะกอนและติดค้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกตะกอนในทิศทางที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ได้ ดังนั้นขนาดและการกระจายขนาด (Size Distribution) จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อกลไกการเคลื่อนย้ายของสารถูกดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน Pre-diffusion เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับ เข้าสู่รูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์นี้จะมีฟิล์มของของไหลห่อหุ้มอยู่คล้ายเยื่อบางๆ โดยรอบ เมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับ เคลื่อนที่เข้ามายังถ่านกัมมันต์โมเลกุลของสารต้องทำการแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำให้ได้จึงจะสามารถเข้าไปในผิวถ่านกัมมันต์ได้จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์นี้จะมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ภายในโพรงที่เรียกว่า รูพรุน โดยภายในรูพรุนนี้จะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการเกาะติดโดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะต้องเกาะติดบนผิวภายในของถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่หลุดออกไป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนับถือว่า เกิดการดูดซับที่ผิวภายในรูพรุนอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 3 กลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547

กาแฟ

เชื่อกันว่ากาแฟถูกค้นพบครั้งแรกโดยเด็กเลี้ยงแพะชาวอาบิสซีเนีย (ประเทศเอธิโอเปียในปัจจุบัน) ชื่อคาลดี จากการสังเกตพบว่า แพะดูกระปรี้กระเปร่าขึ้นเมื่อกินผลไม้สีแดงของต้นไม้ต้นหนึ่ง ซึ่งก็คือต้นกาแฟนั่นเอง ในช่วงก่อนศตวรรษที่ 16 กาแฟถูกปลูกโดยชาวอาหรับเท่านั้น คำว่ากาแฟ เป็นคำที่มาจากคำว่า "เกาะหฺวะหฺ" ในภาษาอาหรับ แล้วเพี้ยนเป็น กาห์เวห์ ในภาษาตุรกี ก่อนที่จะกลายเป็น คอฟฟี ในภาษาอังกฤษ และกาแฟ ในภาษาไทย ชาวอาหรับหวงแหนพันธุ์กาแฟมาก จึงส่งออกเฉพาะเมล็ดกาแฟที่คั่วสุกแล้วเท่านั้น แต่ในที่สุดเมล็ดกาแฟก็ออกมาสู่โลกกว้าง โดย

การลักลอบนำออกมาโดยชาวอินเดียที่ไปแสวงบุญที่เมกกะ และก็ได้แพร่ขยายไปยังชวา เนเธอร์แลนด์ และทั่วยุโรปในที่สุด สำหรับทวีปอเมริกานั้น ต้นกาแฟถูกนำไปอย่างยากลำบาก โดยทหารเรือฝรั่งเศสในต้นศตวรรษที่ 18 ในครั้งแรกนั้น มีต้นกาแฟที่เหลือรอดชีวิตบนเรือมาขึ้นฝั่งอเมริกาได้เพียง 1 ต้น และก็ได้แพร่ขยายเพิ่มขึ้น จนปัจจุบันดินแดนแห่งนี้ ได้กลายเป็นดินแดนที่ปลูกกาแฟมากที่สุดในโลก (จารุพัชร์ พิชัยอุตกฤษฎ์ และคณะ, 2556)

กาแฟจัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลางสูงประมาณ 3-5 เมตร ลำต้นของกาแฟมีลักษณะตั้งตรง กิ่งจะขนานไปกับระดับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดินซึ่งเป็นที่เกิดของดอกและผลต่อ ไป ดอกของกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์กลิ่นหอมคล้ายมะลิอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่ดอกของกาแฟจะออกจากข้อของก้านกาแฟแม้ว่ากาแฟจะออกดอกเป็นจำนวนมาก แต่จะมีการติดผลเพียง 16-26 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ลักษณะของผลกาแฟจะคล้ายลูกหว้า ภายในผลจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด เมล็ดกาแฟเป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ อีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่หุ้มกะลาเมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยาง

ภาพที่ 4 ลักษณะของต้นกาแฟและเมล็ดกาแฟ

ที่มา: วีพีพี โปรเกรสซิฟ, 2558

เมล็ดกาแฟ สายพันธุ์ต่าง ๆ พันธุ์กาแฟ ในโลกนี้มีกาแฟมากมายหลากพันธุ์หลายชนิด แต่ที่รู้จักกันโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 พันธุ์ คือ

1. กาแฟอราบิก้า (Arabica)
2. กาแฟโรบัสต้า (Robusta)
3. กาแฟเอ็กซ์เซลซ่า (Excelsa)
4. กาแฟลิเบอริก้า (Liberica)

แต่กาแฟพันธุ์ ลิเบอริก้าและเอ็กซ์เซลซ่า ไม่นิยมปลูกเพื่อการค้าเนื่องจากรสชาติไม่ค่อยดีนัก ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการค้าและมีขายกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 พันธุ์คือ อราบิก้า และโรบัสต้า

กาแฟอราบิก้า (Arabica) เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากที่สุดในโลกมีปริมาณการผลิตถึง 80 เปอร์เซ็นต์ในตลาดกาแฟโลก แต่จะมีจำนวนเพียง 1ใน 8 เท่านั้นที่เป็นกาแฟที่มีคุณภาพได้มาตรฐานและเป็นที่นิยม กาแฟชนิดนี้ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสารกาแฟชั้นดี มีกลิ่นและรสชาติดีที่สุด เมล็ดกาแฟพันธุ์อราบิก้านี้จะมีรูปทรงค่อนข้างเรียวผอม รอยผ่าไส้กลางมีลักษณะคล้ายตัว S เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้ว กาแฟพันธุ์นี้จะมีกลิ่นหอมหวานอบอวล ซับซ้อน คล้ายกลิ่นช็อกโกแลตและดอกไม้ รสชาตินุ่มละมุน มีปริมาณคาเฟอีน ประมาณ 1.1-1.7 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของพันธุ์โรบัสต้าในสัดส่วนเท่ากัน กาแฟอราบิก้าชอบความเย็น เจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 800-2,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล สำหรับในประเทศไทยนิยมปลูกในเขตพื้นที่ทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย ตาก น่าน แม่ฮ่องสอน ลำปาง สายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากคือ สายพันธุ์ คาร์ติมอร์ อราบิก้าในประเทศไทยสามารถให้ผลผลิตได้ประมาณ 10,000 ตันต่อปี

กาแฟโรบัสต้า (Robusta) เป็นกาแฟพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง ปลูกง่ายให้ปริมาณผลผลิตมาก นิยมปลูกกันมากในทวีปอัฟริกาและเอเชีย สามารถปลูกในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 500-600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล สำหรับประเทศไทยนิยมปลูกกันทางภาคใต้ เช่นที่จังหวัดชุมพร, สุราษฎร์ธานี,นครศรีธรรมราช เมล็ดพันธุ์ของโรบัสต้าจะอวบอ้วน ด้านหลังมีลักษณะนูนเป็นหลังเต่า รอยผ่าไส้กลางเมล็ดจะเป็นเส้นค่อนข้างตรง กาแฟสายพันธุ์นี้ กลิ่นไม่หอมหวานอบอวล ไม่ซับซ้อน รสชาติฝาดกว่าพันธุ์อราบิก้า และมีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่า 1-2 เท่าตัวหรือประมาณ 2-4.5 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะให้รสชาติด้อยกว่า มีรสฝาดมากกว่า แต่ Body (ความเข้มข้น) ของกาแฟพันธุ์นี้จะมีมากกว่า สามารถรับรู้ได้เวลาดื่ม ส่วนใหญ่จะนำมาผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูป หรือนำมาผสมกับกาแฟพันธุ์ อราบิก้า เพื่อให้ได้รสชาติที่แตกต่างออกไป กาแฟ Robusta ในประเทศไทยสามารถให้ผลผลิตได้ประมาณปีละ70,000 ตันต่อปี (มาสเตอร์พีซ คอฟฟี่ โรสติ้ง เฮ้าส์)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ

สาร	%Wt	
	Arabica	Robasta
Carbohydrates	55-65.5	40-55.5
Acid and Phenoh(Volatile, Chlmginic, Lignin)	8-1 1	9-17
Lipids (Wax and Oil)	15-18	8-12
Nitrogen compounds (Amino, Trigonelline)	1 -2	1 -2
Minerals (K, Mg, Mn)	3-5.4	3-5.4
Proteins	8.5-12	8.5-12
Caffeine	0.8-1.4	1.5-3.0

ที่มา: ทิศา บุญเถื่อน, 2548

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ได้ประกาศใช้เป็นครั้งแรกตามมาตรฐานเลขที่ มอก.900-2532 ในราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษเล่ม 106 ตอนที่ 226 วันที่ 22 ธันวาคม พุทธศักราช 2532 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการพัฒนาของผลิตภัณฑ์นี้ จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

American Water WorksPowdered Activated Carbon

Association(AWWA)

B600-96

AWWA B604-96Granular Activated Carbon

ASTM D 4607-94Determination of Iodine Number of Activated Carbon

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511โดยมีเนื้อความดังนี้

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ 900–2532 อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีวาการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1550 (พ.ศ. 2532) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนด มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ ลงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2532 และออกประกาศกำหนดมาตรฐาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.900-2547 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียด ต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2547

ขอบข่ายของถ่านกัมมันต์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียม แอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงานและใช้ในการกรองน้ำ

บทนิยามของถ่านกัมมันต์

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2. ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ชนิด และชั้นคุณภาพของถ่านกัมมันต์

1. ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ
   - 1.1 ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)
   - 1.2 ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ
     - 1.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (Premium Grade)
     - 1.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (First Grade)

1.3 ชนิดอัดเม็ด (Pelletised Activated Carbon)

1.4 ชนิดแท่ง (Block Activated Carbon)

ขนาดของถ่านกัมมันต์

1. ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2. ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ดให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านตะแกรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3. ชนิดแท่งให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

คุณลักษณะที่ต้องการของถ่านกัมมันต์ ลักษณะทั่วไป

1. ชนิดผง ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

2. ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

3. ชนิดแท่งต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์

1. ชนิดผง

ตารางที่ 6 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 -0.75	AWWA B600

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532

2. ชนิดเม็ด

ตารางที่ 7 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	1000	600	
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน			AWWA B 604
	ความหนาแน่นปรากฏ	8		
3	กรัมต่อลูกบาศก์			AWWA B 604
	เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		
	ความแข็ง (abrasion			AWWA B 604
4	resistance) ร้อยละไม่	0.7		Ro-Tap
	น้อยกว่า			abrasion test

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532

3. ชนิดอัดเม็ด

ตารางที่ 8 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8	AWWA B 604
3	ความหนาแน่นปรากฏ		
	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรไม่น้อยกว่า	0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ		AWWA B 604
	ไม่น้อยกว่า	0.7	Ro-Tap abrasion test

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532

4. ชนิดแท่ง

ตารางที่ 9 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	8	

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532

การบรรจุถ่านกัมมันต์

1. ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท
2. น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

เครื่องหมายและฉลากของถ่านกัมมันต์

ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

1. ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน
2. ชนิด และชั้นคุณภาพ
3. น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
4. เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
5. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยทีกำหนดไว้ข้างต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีระพงษ์ เนียมเสวก (2532,น.67) ได้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ จากถ่านหินลิกไนต์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิสูง และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแล้วจากถ่านลิกไนต์ โดยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยให้ไอน้ำที่มีความร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ผ่านบนถ่านที่ต้องการบนอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวง พบว่า

ถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดที่เตรียมได้คือ ถ่านหินลิกไนต์ที่ผ่านการล้างโดยกรดโฮโดรคลอลิกเข้มข้นที่มีเลขไอโอดีน 740 เวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมคือ 3 ชั่วโมง ฟอกสีเมธิลีนบลูเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร เหลืออยู่ 0.0003 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตร พบว่าแหล่งถ่านหินลิกไนต์ที่นำมาเตรียมถ่านกัมมันต์แหล่งของบ้านแม่ตื่น จังหวัดตาก มีการดูดซับที่ดีกว่าแหล่งแม่ตีบ จังหวัดลำปาง

ทิศา บุญเถื่อน (2548, น.50) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงคลอไรด์ 60 % W/V เพื่อทดสอบหาการดูดซับของแข็งแขวนลอย การฟอกสีเมธิลลีนบลู การดูดซับไอโอดีน การหาพื้นที่ผิวจำเพาะและการดูดซับปริมาณเหล็กทั้งหมด ตลอดจนหาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของถ่านกัมมันต์ที่ผลิต จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผากระตุ้นกากกาแฟให้เป็นถ่านกัมมันต์ ที่มีประสิทธิภาพคือ ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งมีเปอร์เซนผลผลิตเท่ากับ 33.69 % การทอสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์พบว่า ถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับของแข็งแขวนลอยได้ แต่สามารถฟอกสีเมธิลลินบลูได้ถึง 98 % ดูดวับไอโอดีนได้ 654.80 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่าน ดูดซับปริมาณเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 57.12 มิลลิกรัมต่อลิตรของเหล็กในปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม และมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือ หมู่คาร์บอนิล เป็นตัวบ่งชี้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นเป็นชนิด L-type activated carbon

สิงหเดช แตงจวง (2550,น.57) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยการใช้เทคนิคการกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH และทางกายภาพด้วยก๊าซ CO_2 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนเป็นแบบ Mesoporus ด้วยปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 20-28 % และ 27-45 % สำหรับถ่านที่เตรียมด้วยอัตราส่วนของ KOH/char = 1 และ 4 ตามลำดับ ค่าพื้นผิว (BET) ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน KOH/char = 1 และใช้เวลาการกระตุ้นโดย CO_2 เป็นเวลา 20 ถึง 150 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 222 ถึง 627 m^2/g และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน KOH/char = 4 ใช้เวลากระตุ้นเหมือนกันมีค่า BET เพิ่มขึ้นจาก 682 ถึง 1120 m^2/g ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นี้มีค่าพื้นที่ผิวที่สูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงที่มีขายในเชิงพานิชย์

เทียมชัย บัวลอย (2552, น.35) การศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์มูลโคทำการคาร์บอไนซ์ (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มูลโคที่สังเคราะห์ได้มาดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาสภาวะที่ใช้ในการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับและพีเอช พบว่าเวลาที่สมดุลในการดูดซับคือ 60 นาที และพีเอชที่เหมาะสมคือ 4, 5 และ 6 และจากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 75-100% ยกเว้นที่ pH 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์

ในการกำจัดต่ำกว่า 50% และจากการศึกษาไอโซเทอมพบว่าการดูดซับของแลงเมียร์ให้ค่าการดูดซับสูงสุด 4.280 มิลลิกรัมต่อกรัม

มัลลิกา ถาบุตร (2553,น.25) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโลหะหนักและสีจากน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งตัวดูดซับที่ ใช้ในที่นี้ คือถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านหินแอนทราไซต์ขี้เถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพและถ่านกัมมันต์เชิงการค้า ในขั้นแรกได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหินแอนทราไซต์ที่ให้ค่าเลขไอโอดีนมากที่สุดด้วยการกระตุ้นทางกายภาพ ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิของการไพโรไลซิส ตัวกระตุ้น เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นขั้นตอนต่อมาจึงทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักจำพวกทองแดงและนิกเกิลรวมถึงการทดสอบการดูดซับสีชนิด BENEFIX RED 5B จากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งตัวแปรที่ได้ในการศึกษาได้แก่ ขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ (140-200 เมช และ 200-270 เมช) ปริมาณของตัวดูดซับ (40 และ 100 กรัมต่อลิตร) ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น (40 และ 80มิลลิกรัมต่อลิตร) และความเข้มข้นของสีย้อมผ้าชนิด BENEFIX RED 5B (125 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชลธิชา ประจักษ์สูตร์ และลักษมณ คูบุญญอารักษ์ (2554, น.34) ได้วิจัยโดยการนำกากกาแฟที่เหลือจากการชงเป็นกาแฟสดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในเชิงอุตสาหกรรม และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียเหล่านี้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่ใช้ในการกระตุ้นที่ช่วงความเข้มข้น 5,10 และ 15 % wt , เวลาในการกระตุ้น 8,12 และ 24 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชั่น 400, 450 และ 500 $^{\circ}C$ จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 15 % wt เวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชั่น 500 $^{\circ}C$ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดสอบโดยการดูดซับด้วยก๊าซไนโตรเจนและคำนวณจากสมการของ BET พบว่าได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมสูงสุด เท่ากับ 831 m^2/g และ 0.61 cm^3/g ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมโดยในการศึกษานี้ใช้ Cu(II) ที่ช่วงความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm พบว่าที่ความเข้มข้นของ Cu(II) 100 ppm ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้สูงสุด เท่ากับ 18.36%

รุจิรา คุ้มทรัพย์ (2556,น.92) ได้ศึกษาการผลิต และการเตรียม ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นด้วย สารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของสารละลาย ตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการ กระตุ้นถ่านกัมมันต์ พบว่าสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับไอโอดีน คือ 0.5 M $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}C$ เวลา 60 นาที สำหรับสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับ

เมทิลลีนบลู คือ 50% H_3PO_4 ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูสูงสุดในการศึกษาการ ดูดซับฟีนอล พบว่าการกระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิห้องเวลา 120 นาทีมีค่าการดูดซับสูง การวิเคราะห์การดูดซับมีเทน ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้นพบว่าเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ60 นาทีและสภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุดคือสภาวะการกระตุ้นด่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดและปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

ปัญญา มณีจักร (2556,น.128) งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง สำหรับใช้เป็นสารดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยถ่านคาร์บอไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกหูกวางที่อุณหภูมิต่าง ๆ (300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) จากนั้นกระตุ้นถ่านคาร์บอไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอไนซ์ คือเผาที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือใช้ถ่านคาร์บอไนซ์ ต่อ KOH อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้ค่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) สูงที่สุดจากนั้นศึกษากลไกการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิช พบว่า ทั้งถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R2) เข้าใกล้ 1 เมื่อใช้แบบจำลองฟรุนดลิชแสดงว่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ของถ่านทั้งสองชนิดเป็นหลายชั้น และจากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมี่ยม (III) ไอออน พบว่าสอดคล้องกับ Pseudo-Second Order การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD พบว่า ถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง สามารถกำจัดโครเมียม (III) ไอออนต่อ ปริมาณถ่าน เท่ากับ 4.64 มิลลิกรัมต่อกรัมซึ่งสูงกว่ากัมมันต์การค้า (Fluka50120) ซึ่งกำจัดได้เพียง 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม

บทที่ 3
ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย ครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

แผนการดำเนินงาน

ในการศึกษาและดำเนินงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการทางเคมี นำถ่านที่ได้จากการเผากากกาแฟในที่อับอากาศ ทำการกระตุ้นโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หลังจากนั้นทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้และอุณหภูมิในการเผา และวัดค่าความชื้น น้ำหนักของถ่าน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์

ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

1. ศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ
2. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

การออกแบบการทดลอง

1. โดยการเตรียมวัตถุดิบกากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟที่ไม่ได้กำหนดสายพันธ์มาทำการเผาในที่อับอากาศ
2. นำวัตถุดิบกากกาแฟที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ มาทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นทางทางเคมี

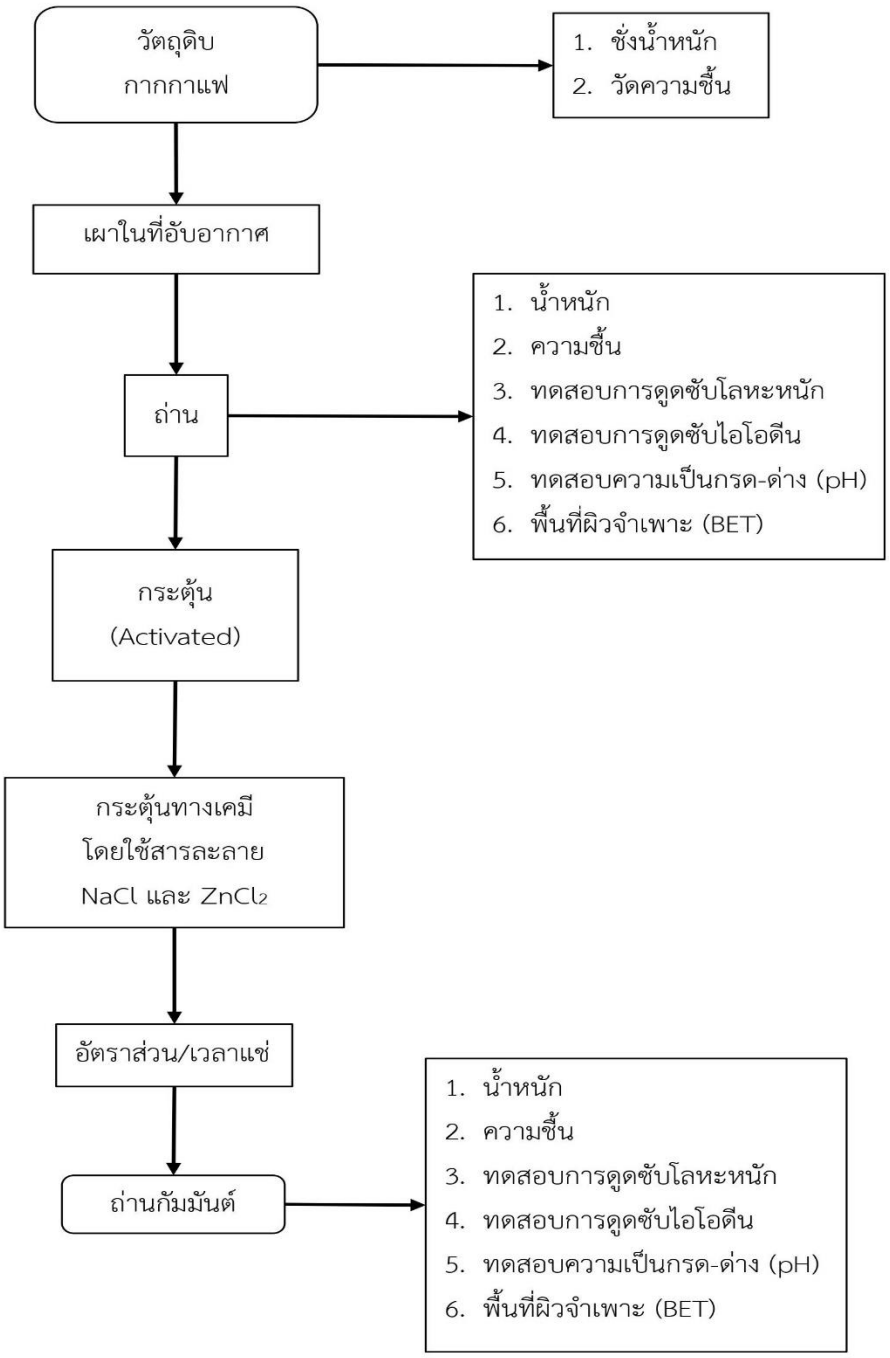
2.1 การกระตุ้นทางเคมี

2.1.1 โดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

3. ทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ และอุณหภูมิในการเผา และวัดค่าความชื้น น้ำหนักของถ่าน ตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอโอดีน และโลหะหนักในสารละลายสังเคราะห์

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. กากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่ได้กำหนดสายพันธ์ที่จะนำมาทำการทดลอง
2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
3. สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
4. สารละลายโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมี่ยม และโครเมี่ยม
5. เตาเผา (Hot Oven)
6. เตาอบ Electric Oven รุ่น EL78-1310/01 ขนาด 136 ลิตร
7. อุปกรณ์เครื่องแก้ว หลอดแก้ว บีกเกอร์
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. กระดาษกรอง เบอร์ 1
10. เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม ยี่ห้อ ZEPPER รุ่น ES-100



ภาพที่ 5 ผังขั้นตอนการทำงาน

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

1. วิเคราะห์หาความชื้น(Moisture) ตามมาตรฐาน AOAC,1990

เพื่อต้องการคำนวณหาความชื้นของกากกาแฟก่อนเผาและหลังเผา หาความชื้นหลังจากทำการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี

การคำนวณ

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก) = ผลต่างของน้ำหนักกากกาแฟก่อนเผาและหลังเผา(g) x 100 / น้ำหนักกากกาแฟเริ่มต้น(g)

2. การตรวจสอบการดูดซับโลหะ

การดูดซับแบบแบตช์(Njoku et al., 2011) เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิผลของปัจจัยที่นำมาศึกษาต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนัก มาคำนวณปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักของวัสดุจากสมการดังนี้

$$Qe = \frac{(Ci - Ce)V}{M}$$

เมื่อ

Qe คือ ปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากกาแฟ (mg g-1)

Ci คือ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายเริ่มต้น (mg L-1)

Ce คือ ความเข้มข้นสุดท้ายที่วัดได้ในสารละลาย (mg L-1)

V คือ ปริมาณของสารละลายที่ใช้ (mL)

M คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุดูดซับ (g)

3. การตรวจสอบการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

เลขไอโอดีน เป็นตัวเลขที่บอกถึงความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไอโอดีนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยการหาปริมาณของไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ 1 กรัม โดยไอโอดีนสามารถจับกับพื้นผิวของรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 1 นาโนเมตร

ปัจจุบัน ASTM ได้กำหนดวิธีการมาตรฐานเพื่อหาเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ไว้ใน Destination: D4607-94 ซึ่งใช้ค่าสมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ของไอโอดีนบนถ่านกัมมันต์จำนวน 3 จุด ในการวิเคราะห์ โดยใช้การดูดซับของสารละลายไอโอดีนมาตรฐานบนถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างกัน 3 ค่า น้ำหนัก ภายใต้สภาวะเดียวกัน เมื่อการดูดซับถึงจุดสมดุล กรองเอาถ่านกัมมันต์

ออกแล้วทำการไตรเตรต หาปริมาณไอโอดีนที่เหลือในสารละลาย จากนั้นหาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับ ด้วยถ่านกัมมันต์ ปริมาณต่างกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟไอโซเทอมของการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์กับปริมาณไอโอดีนที่เหลือในสารละลายในหน่วยความเข้มข้นเป็น นอร์มัลลิตี (N) เลขไอโอดีน คือ ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับลงบนถ่านกัมมันต์ 1 กรัม แล้วเหลือความเข้มข้นของไอโอดีนในสารละลาย 0.02 N ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไดดีน มาตรฐานสำหรับการทดสอบต้องอยู่ในช่วง 0.1 ± 0.001 N (ชลธิชา ประจักษ์สูตร์ และคณะ, 2554,น.17-18)

1. การตวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

1.1 ปิเปตต์ โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) จำนวน 25 ml ในขวดชมพู่

1.2 ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จำนวน 2 กรัม ลงในขวดรูปชมพูโดยน้ำกลั่นเขย่าจนละลาย

1.3 ทำการไทเตรท Hu เข้มข้น 5 ml ลงในขวดชมพู่

1.4 ทำการไทรเตรททันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 ml จนสีของไอโอดีนจางลงเป็นสีเหลืองอ่อน

1.5 ทำการหยดน้ำแป้ง 5-10 หยด จนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

1.6 ทำการไตรเตรทต่อจนสารไอโอดีนไม่มีสี

1.7 บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ทำซ้ำกัน 3 ครั้ง

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

$$N_1 = (P.R)/S$$

โดย

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (ml)

R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (ml)

S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (ml)

2. การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

2.1 ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน (I_2) จำนวน 25 ml. ลงในขวดชมพู่

2.2 ไทเตรททันทีด้วนสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์แมล จนสีของไอโอดีนจางลงจนเป็นสีเหลืองอ่อน

2.3 หยดน้ำแป้งลงไปประมาณ 5-10 หยด จนสารไอโอดีนกลายเป็นสีน้ำเงิน

2.4 ไทเตรทสารไอโอดีนต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป

2.5 บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

$$N_2 = \frac{(S.N1)}{I}$$

โดย

N2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (M)

S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (ml)

N1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

I = ปริมาณสารละลายไอโอดีน (ml)

3. การเตรียมน้ำแป้ง

ละลายน้ำแป้งมัน 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร ค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นที่ต้มในน้ำเดือด 800 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากัน เติมน้ำอีกจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น

4. วิธีการวิเคราะห์

4.1 นำถ่านกัมมันต์ที่บดแล้วมาร่อนในตะแกรงเบอร์ 80 นำถ่านกัมมันต์ที่ร่อนแล้วมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2 หาค่าน้ำหนักของถ่านที่ใช้ในการทดลอง 3 ค่าน้ำหนัก โดยใช้สูตร

$$M = \left[\frac{A-(DF)C(12693.0).(50)}{E}\right]$$

โดย

M = น้ำหนักของถ่าน (g)

A = $(N_2)(12693.0)$

DF = dilution factor = (100+10)/50=2.2

C = reside iodin

E = ค่า iodin number โดยประมาณ

หมายเหตุ: ค่า Carbon dosages 3 ค่า จะคำนวณโดยใช้ค่า C ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ 0.01 , 0.02 และ 0.03

4.3 ชั่งถ่าน 1.00 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่

4.4 ปิเปตต์ 5% Hu จำนวน 10 ml. ลงไปในถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ ปิดจุกเขย่าเบาๆ เพื่อให้ถ่านกัมมันต์เปียกให้ทั่ว

4.5 นำถ่านกัมมันต์ที่เติมสาร Hc 5% ลงไปแล้ว นำไปตั้งบน hat plate ในตู้ดูดควันต้มจนเดือดประมาณ 30 วินาที เพื่อไล่ซันเฟอร์ไดออกไซค์ในถ่านกัมมันต์

4.6 นำขวดรูปชมพู่ออกจาก Hot Plate ทิ้งไว้จนเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

4.7 ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน (I_2) 0.1 นอร์แมล จำนวน 100 ml. ลงในขวดชมพู่ที่ผ่านการต้มแล้วปิดจุกเขย่าอย่างแรง เป็นเวลา 30 วินาที

4.8 นำถ่านที่ผ่านการปิเปตต์มากรองด้วยกระดาษกรองWhatman. No 42

4.9 นำตัวอย่างน้ำสารละลายที่ผ่านการกรองมาแล้ว จำนวน 50 ml. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์แมล จนสีของน้ำตัวอย่างจางลงจนเป็นสีเหลืองอ่อน

4.10 หยดน้ำแป้งลงไปประมาณ 5-10 หยด จนเป็นสีน้ำเงิน ทำการไทเตรทต่อจนไม่มีสี

4.11 ทำการบันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

การคำนวณหาค่า Iodine Number (IN)

$$IN = \frac{[(B-S).N.12690]}{\text{Weight of sample}}$$

โดย

B = สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแบงค์ (ml)

S = สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต 1 ตัวอย่าง (ml)

N =ความเข้มข้นเป็นนอร์แมลของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (BET)

ในการวิเคราะห์สมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ทำ ได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิว จำเพาะและขนาดรูพรุนจากนั้นนำข้อมูลไอโซเทิร์มการดูดซับที่ได้มาคำนวณสมบัติความพรุน โดยใช้ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ปริมารตรูพรุนขนาดกลางจากการพิจารณาการกระจายขนาดรูพรุน (Pore Size Distribution) โดยใช้ทฤษฎี Density functional theory (DFT) (Olivier, 1995)

ขนาดรูพรุนเฉลี่ยคำนวณด้วยสมการ

$$\text{ขนาดรูพรุน} = 4V/A$$

เมื่อ

V = ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลูกบาศกเมตรต่อกรัม)

A = เท่ากับพื้นที่ผิวจำเพาะ (S_{BET}, ตารางเมตรต่อกรัม)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – เบส หรือ ค่า pH

ในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เป็นเบสของถ่านกัมมันต์หลังจากการกระตุ้นแล้ว ทำได้โดยการทดสอบด้วยเครื่อง ความเป็นกรด-เบส หรือค่าพีเอช (pH) เป็นค่าที่บอกปริมาณของกรดที่ปนอยู่ในน้ำ ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในน้ำ น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อน (และต้องไม่สัมผัสกับอากาศด้วย) จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 น้ำซึ่งมีสิ่งเจือปนอยู่ด้วยอาจจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ได้ ถ้าน้ำนั้นมีกรดและเบสอยู่ในปริมาณที่เท่ากันและสมดุลกัน ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่า น้ำนั้นมีปริมาณกรดอยู่มากเกินจุดที่สมดุล แต่ถ้ามีค่าพีเอชมากกว่า 7 แสดงว่าในน้ำนั้นมีเบสมากเกินจุดที่สมดุล

สำหรับค่าความเป็นกรด – เบส หรือที่รู้จักกันคือค่า pH ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$pH = -\log[H^+]$$

เมื่อ H^+ คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในหน่วย mol/l

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดหาค่า pH

1. เครื่องวัดค่าพีเอช EUTECH รุ่น PC700
2. บีกเกอร์ ขนาด 25 ml.
3. บีกเกอร์ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 ml.
4. สารละลาย Buffer solution pH 4 (phthalate)
5. สารละลาย Buffer solution pH 7 (phosphate)
6. สารละลาย Buffer solution pH 10 (borate)

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำการ Calibrate เครื่องก่อนโดยการนำแท่งอิเล็กโทรด จุ่มลงไปในสารละลาย Buffer solution pH 4 , 7, 10 จนได้ค่าตามมาตรฐาน (การ Calibrate เครื่องหลังจากจุ่มแท่งอิเล็กโทรดลงไปในสารตัวแรกแล้ว ควรล้างแท่งอิเล็คโทรดด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะไปจุ่มในสารตัวถัดไป)

2. ทำการชั่งถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการ Activated แล้ว และผ่านการกระตุ้นทั้งทางกายภาพและทางเคมี มาทำการชั่งถ่านใส่ในขวดบีกเกอร์รูปชมพู่ ขนาด 25 ml. จำนวน 0.2 กรัม

3. เติมน้ำกลั่นลงไปในขวดที่ใส่ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟไว้แล้วจำนวน 20 ml.

4. นำบีกเกอร์ขวดรูปชมพู่ที่ใส่ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและเติมน้ำกลั่นแล้วไปทำการเขย่าโดยเครื่องเขย่าแนวราบ ทำการเขย่า 100 รอบ 30 นาที

5. นำบีกเกอร์ขวดรูปชมพู่ที่ใส่ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ที่ทำการเขย่าแล้ว มาวัดค่า pH แล้วทำการบันทึกผล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัย ครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี เพื่อศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์หาความชื้นของกากกาแฟ

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของกากกาแฟ นำกากกาแฟไปทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของกากกาแฟลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วทำการชั่งน้ำหนัก โดยทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง มีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของกากกาแฟ

	ครั้งที่	น้ำหนักของกากกาแฟก่อนอบ (g)	น้ำหนักของกากกาแฟหลังอบ (g)	ร้อยละความชื้น (%)	เฉลี่ย
B	1	100.08	88.99	11.09	10.71
	2	100.17	89.26	10.91	
	3	100.51	90.38	10.13	
B1	1	100.14	94.23	5.91	5.90
	2	100.31	94.27	6.04	
	3	100.25	94.50	5.75	
Bn	1	100.42	85.35	15.07	15.02
	2	100.22	85.32	14.90	
	3	100.39	85.29	15.10	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

	ครั้งที่	น้ำหนักของกากกาแฟก่อนอบ (g)	น้ำหนักของกากกาแฟหลังอบ(g)	ร้อยละความชื้น (%)	เฉลี่ย
	1	100.94	88.78	12.16	
Bz	2	100.15	88.69	11.46	11.66
	3	100.07	88.70	11.37	

จากการการวิเคราะห์หาความชื้นของกากกาแฟ พบว่า ค่าความชื้นของกากกาแฟที่ยังไม่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ (B) มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 10.71 % เมื่อกากกาแฟผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศ (B1) มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 5.90 % เมื่อทำการกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟด้วยสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 15.02 % และถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์ครอไรด์ ($ZnCl_2$) มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 11.66 %

ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าความชื้นของกากกาแฟ

2. การวิเคราะห์การดูดซับสารละลายโลหะ

2.1 การวิเคราะห์การดูดซับสารละลายโลหะหนัก ของกากกาแฟที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ และใช้ตัวอย่างโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb), เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) เพื่อหาค่าการดูดซับ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงผลการดูดซับโลหะหนักของถ่านที่เผาในที่อับอากาศ (B1)

สารละลายโลหะหนัก	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย		% Ads	ค่าเฉลี่ย
				ค่าเริ่มต้น (ppm)	ค่าที่อ่านได้ (ppm)		
					99.0	1	
Pd	1.098	50	150/30	100	98.9	1.1	1.00
					99.1	0.9	
					100	0	
Cd	1.142	50	150/30	100	99.5	0.5	0.33
					99.5	0.5	
					99.5	0.5	
Cu	1.110	50	150/30	100	99.6	0.4	0.46
					99.5	0.5	
					98.9	1.1	
Hg	1.033	50	150/30	100	99.9	0.1	0.60
					99.4	0.6	
					96.0	4	
Fe	1.072	50	150/30	100	95.5	4.5	4.10
					96.2	3.8	

จากการหาการดูดซับโลหะหนักของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ ทำการชั่งน้ำหนักของถ่าน จำนวน 1 กรัม เติมสารละลายจำนวน 50 ml. ทำการเขย่าจำนวน 150รอบ เป็นเวลา 30 นาที พบว่า การดูดซับสารละลายโลหะหนักเหล็ก (Fe) มีค่าร้อยละของการดูดซับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่

4.1 % รองลงมาเป็นสารละลายตะกั่ว(Pb) มีค่าร้อยละการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 1 % สารละลายปรอท (Hg) มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 0.6 % สารละลายทองแดง(Cu) มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 0.46 % สารละลายแคดเมียม(Cd) มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 % ตามลำดับ

2.2 การกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟทางเคมี

เมื่อนำกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศแล้ว นำถ่านจากกากกาแฟที่ได้มาทำการกระตุ้น โดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ตามอัตราส่วนที่แสดงในตาราง

ตารางที่ 12 แสดงอัตราส่วนการกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ในอัตราส่วนต่าง ๆ

กากกาแฟ	อัตราส่วนในการแช่	น้ำหนักของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (g)	น้ำหนักของกากกาแฟ (g)	ปริมาณของสารละลาย (ml)	เวลาในการแช่สารละลาย (ชม.)
B1	1:1	0.6	5.084	50	2
	1:2	0.6	10.097	50	2
	1:3	0.6	15.054	50	2
	1:4	0.6	20.019	50	2

จากตารางแสดงอัตราส่วนในการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาแบบอับอากาศ โดยการเพิ่มปริมาณของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาแบบอับอากาศในอัตราส่วนละ 5, 10, 15, 20 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักของสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) มีน้ำหนัก0.6 กรัม ปริมาณของสารละลาย 50 ml. เวลาในการแช่สารละลาย 2 ชั่วโมง เท่ากันทุกอัตราส่วน

ตารางที่ 13 แสดงอัตราส่วนการกระตุ้นถ่านจากกากกาแฟกับสารละลายสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในอัตราส่วนต่าง ๆ

กากกาแฟ	อัตราส่วนในการแช่	น้ำหนักของสารละลายซิงค์คลอไรด์ (g)	น้ำหนักของกากกาแฟ (g)	ปริมาณของสารละลาย (ml)	เวลาในการแช่สารละลาย (ชม.)
B1	1:1	7	5.057	50	2
	1:2	7	10.095	50	2
	1:3	7	15.001	50	2
	1:4	7	20.080	50	2

จากตารางแสดงอัตราส่วนในการแช่สารละลายซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาแบบอับอากาศ โดยการเพิ่มปริมาณของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาแบบอับอากาศในอัตราส่วนละ 5, 10, 15, 20 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักของสารละลายซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) มีน้ำหนัก 7 กรัม ปริมาณของสารละลาย 50 ml. เวลาในการแช่สารละลาย 2 ชั่วโมง เท่ากันทุกอัตราส่วน

2.3 การวิเคราะห์การดูดซับสารละลายโลหะ ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี โดยแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และใช้ตัวอย่างโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb), เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) เพื่อหาค่าการดูดซับ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
	1:1	1.045				0.001	99.999	
	1:1	1.032	50	150/30	100	0.002	99.998	66.665
	1:1	1.028				0	0	
	1:2	1.008				0.002	99.998	
	1:2	1.030	50	150/30	100	0.002	99.998	99.998
Bn	1:2	1.002				0.001	99.999	
	1:3	1.042				0.001	99.999	
	1:3	1.053	50	150/30	100	0.001	99.999	66.665
	1:3	1.034				0	0	
	1:4	1.065				0.004	99.996	
	1:4	1.079	50	150/30	100	0.002	99.998	99.996
	1:4	1.055				0.004	99.996	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.998 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.996 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน1:1 และ 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 66.665 % ตามลำดับ

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักแคดเมี่ยม (Cd) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่ารอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
	1:1	1.030				0	0	
	1:1	1.043	50	150/30	100	0.001	99.999	66.666
	1:1	1.032				0.001	99.999	
	1:2	1.068				0	0	
	1:2	1.054	50	150/30	100	0.001	99.999	66.665
Bn	1:2	1.055				0.002	99.998	
	1:3	1.040				0.004	99.996	
	1:3	1.050	50	150/30	100	0.004	99.996	99.996
	1:3	1.033				0.003	99.997	
	1:4	1.025				0.004	99.996	
	1:4	1.018	50	150/30	100	0.003	99.997	99.996
	1:4	1.016				0.004	99.996	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักแคดเมี่ยม (Cd) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.996 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 66.666 % และ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 66.665 % ตามลำดับ

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Cu) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
	1:1	1.032				0.010	99.990	
	1:1	1.035	50	150/30	100	0.008	99.992	99.991
	1:1	1.030				0.009	99.991	
	1:2	1.017				0.012	99.988	
	1:2	1.020	50	150/30	100	0.011	99.989	99.988
Bn	1:2	1.010				0.013	99.987	
	1:3	1.005				0.004	99.996	
	1:3	1.008	50	150/30	100	0.005	99.995	99.995
	1:3	1.019				0.004	99.996	
	1:4	1.028				0.011	99.989	
	1:4	1.018	50	150/30	100	0.011	99.989	99.988
	1:4	1.020				0.013	99.987	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักทองแดง (Cu) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 และ 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.988% ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.995 % และ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.991 % ตามลำดับ

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักปรอท (Hg) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่ารอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
Bn	1:1	1.030	50	150/30	100	0.001	99.999	66.666
	1:1	1.045				0	0	
	1:1	1.029				0.001	99.999	
	1:2	1.016	50	150/30	100	0.003	99.997	99.997
	1:2	1.025				0.002	99.998	
	1:2	1.008				0.003	99.997	
	1:3	1.021	50	150/30	100	0.002	99.998	99.998
	1:3	1.018				0.001	99.999	
	1:3	1.022				0.002	99.998	
	1:4	1.033	50	150/30	100	0.001	99.999	99.999
	1:4	1.029				0.001	99.999	
	1:4	1.017				0.001	99.999	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักปรอท (Hg) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.999 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.998 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.997 % และร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 66.666 % ตามลำดับ

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักเหล็ก (Fe) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
Bn	1:1	1.002				0.075	99.925	
	1:1	1.009	50	150/30	100	0.075	99.925	99.925
	1:1	1.013				0.074	99.926	
	1:2	1.070				0.055	99.945	
	1:2	1.028	50	150/30	100	0.056	99.946	99.945
	1:2	1.047				0.055	99.945	
	1:3	1.002				0.063	99.937	
	1:3	1.011	50	150/30	100	0.061	99.939	99.938
	1:3	1.018				0.061	99.939	
	1:4	1.044				0.065	99.935	
	1:4	1.032	50	150/30	100	0.063	99.937	99.936
	1:4	1.029				0.063	99.937	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักเหล็ก (Fe) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.945 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.938 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.936 % และร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.925 % ตามลำดับ

2.3 การวิเคราะห์การดูดซับสารละลายโลหะ ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี โดยแช่สารละลายซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) และใช้ตัวอย่างโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb), เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) เพื่อหาค่าการดูดซับ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ ($ZnCl_2$)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	%Ads	เฉลี่ย (%)
Bz	1:1	1.000				0.008	99.992	
	1:1	1.003	50	150/30	100	0.006	99.994	99.992
	1:1	1.005				0.008	99.992	
	1:2	1.030				0.006	99.994	
	1:2	1.028	50	150/30	100	0.007	99.993	99.993
	1:2	1.033				0.006	99.994	
	1:3	1.038				0.002	99.998	
	1:3	1.033	50	150/30	100	0.003	99.997	99.997
	1:3	1.037				0.003	99.997	
	1:4	1.069				0.004	99.996	
	1:4	1.055	50	150/30	100	0.004	99.996	99.996
	1:4	1.047				0.004	99.996	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักตะกั่ว (Pb) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.997 %

รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.996 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.993 % และร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.992 % ตามลำดับ

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักแคทเมี่ยม (Cd) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน: สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
	1:1	1.045				0.003	99.997	
	1:1	1.033	50	150/30	100	0.002	99.998	99.997
	1:1	1.055				0.003	99.997	
	1:2	1.030				0.004	99.996	
	1:2	1.022	50	150/30	100	0.004	99.996	99.996
Bz	1:2	1.009				0.004	99.996	
	1:3	1.059				0.004	99.996	
	1:3	1.035	50	150/30	100	0.003	99.997	99.996
	1:3	1.044				0.004	99.996	
	1:4	1.001				0.005	99.995	
	1:4	1.029	50	150/30	100	0.005	99.995	99.995
	1:4	1.022				0.005	99.995	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักแคทเมี่ยม(Cd) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.997 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 และ1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่

99.996 % และร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.995 % ตามลำดับ

ตารางที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Cu) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน: สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่ารอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
Bz	1:1	1.032				0	100	
	1:1	1.027	50	150/30	100	0	100	100
	1:1	1.022				0	100	
	1:2	1.017				0.001	99.999	
	1:2	1.019	50	150/30	100	0.003	99.997	99.997
	1:2	1.011				0.003	99.997	
	1:3	1.005				0.001	99.999	
	1:3	1.002	50	150/30	100	0.001	99.999	99.998
	1:3	1.019				0.002	99.998	
	1:4	1.028				0	0	
	1:4	1.019	50	150/30	100	0.001	99.999	33.333
	1:4	1.011				0	0	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักทองแดง (Cu) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 100 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.998 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.997 % และร้อยละ

ของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 33.333 % ตามลำดับ

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักทองแดง (Hg) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน: สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าที่อ่านได้ (ppm)	% Ads	เฉลี่ย (%)
	1:1	1.030				0.003	99.997	
	1:1	1.029	50	150/30	100	0.003	99.997	99.997
	1:1	1.019				0.002	99.998	
	1:2	1.002				0.004	99.996	
	1:2	1.017	50	150/30	100	0.003	99.997	99.996
Bz	1:2	1.010				0.003	99.997	
	1:3	1.019				0.007	99.993	
	1:3	1.008	50	150/30	100	0.007	99.993	99.993
	1:3	1.006				0.007	99.993	
	1:4	1.079				0.009	99.991	
	1:4	1.055	50	150/30	100	0.010	99.990	99.990
	1:4	1.038				0.009	99.991	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักปรอท (Hg) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.997 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.996 % ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.993 % และร้อย

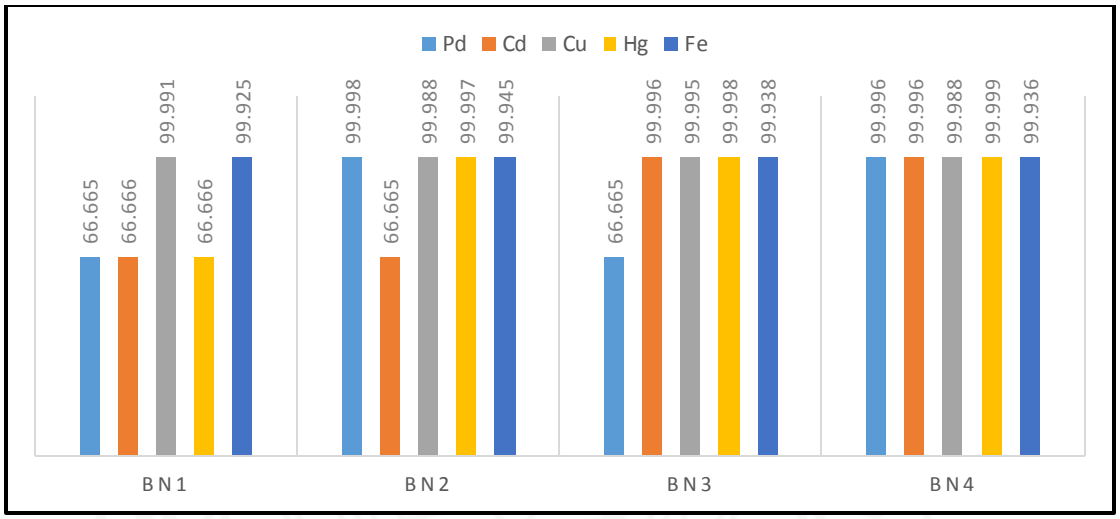
ละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.990 % ตามลำดับ

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนักเหล็ก (Fe) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

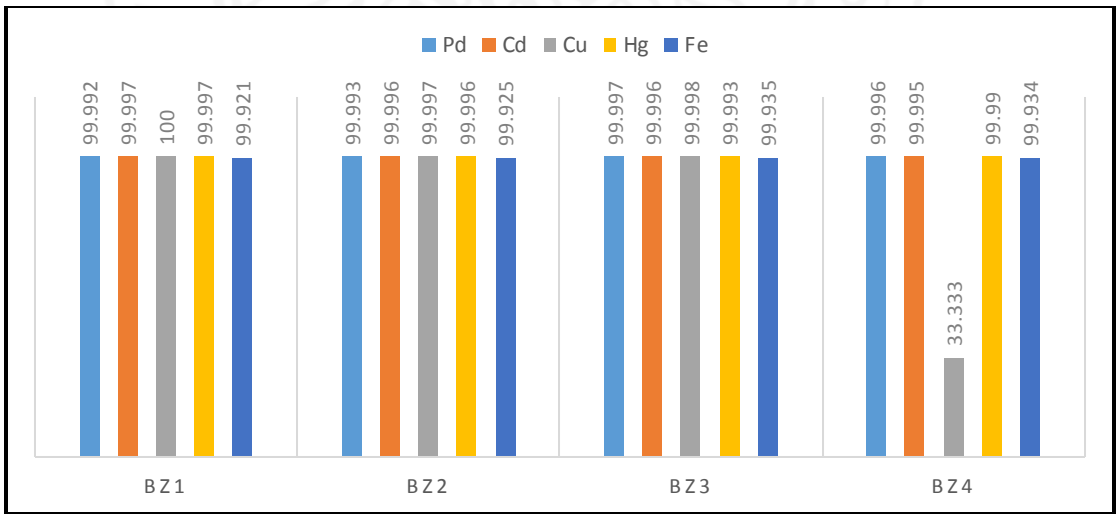
สารละลาย	อัตราส่วน (ถ่าน:สารละลาย)	น้ำหนักของถ่าน (g)	เติมสารละลาย (ml)	เขย่า รอบ/นาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าเริ่มต้น (ppm)	ค่าที่อ่านได้ (ppm)	%Ads	เฉลี่ย (%)
Bz	1:1	1.015				0.079	99.921	
	1:1	1.033	50	150/30	100	0.078	99.922	99.921
	1:1	1.028				0.079	99.921	
	1:2	1.031				0.076	99.924	
	1:2	1.009	50	150/30	100	0.075	99.925	99.925
	1:2	1.021				0.076	99.925	
	1:3	1.036				0.065	99.935	
	1:3	1.018	50	150/30	100	0.066	99.934	99.935
	1:3	1.009				0.065	99.935	
	1:4	1.014				0.067	99.933	
	1:4	1.022	50	150/30	100	0.064	99.936	99.934
	1:4	1.031				0.066	99.934	

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านกระตุ้นทางเคมี ของสารละลายโลหะหนักเหล็ก (Fe) ในอัตราส่วน 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 ทำการชั่งน้ำหนักของถ่านจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายลงไป 50 ml. แล้วเขย่า 150 รอบเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 99.935 % รองลงมา คือ ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:4 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.934

% ร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.925 % และร้อยละของการดูดซับในอัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละของการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 99.921 % ตามลำดับ



ภาพที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารโซเดียมครอไรด์ (NaCl)



ภาพที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่าการดูดซับโลหะหนัก ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

1.4 การวิเคราะห์หาค่า Iodin Number

การวิเคราะห์หาค่า Iodin Number โดยการนำกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ (B1) มาทำการวิเคราะห์หาค่า Iodin Number ทั้งหมดจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า Iodin Number ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ

กากกาแฟ	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่าน (g)	กรดไฮโดรคอนิก (HCl) 5%	ต้ม (วินาที)	I2 (ml)	ไตรเตรท (ml)	ปริมาณโซเดียม (ค่า S)	ค่าเฉลี่ย
B1	1	1.021	5	30	100	50	31	31.10
	2						31.5	
	3						30.8	

จากการวิเคราะห์หาค่า Iodin Number ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ พบว่า ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์หาค่า Iodin Number ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.1%

1.5 การวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ

การวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟโดยการนำกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ (B1) มาทำการวิเคราะห์หาค่า pH ทั้งหมดจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ

	ครั้งที่	น้ำหนักของถ่าน (g)	เขย่า (รอบ/นาที)	ค่า pH	เฉลี่ย
B1	1	0.204	100	7.52	7.30
	2	0.208	100	7.20	
	3	0.207	100	7.18	

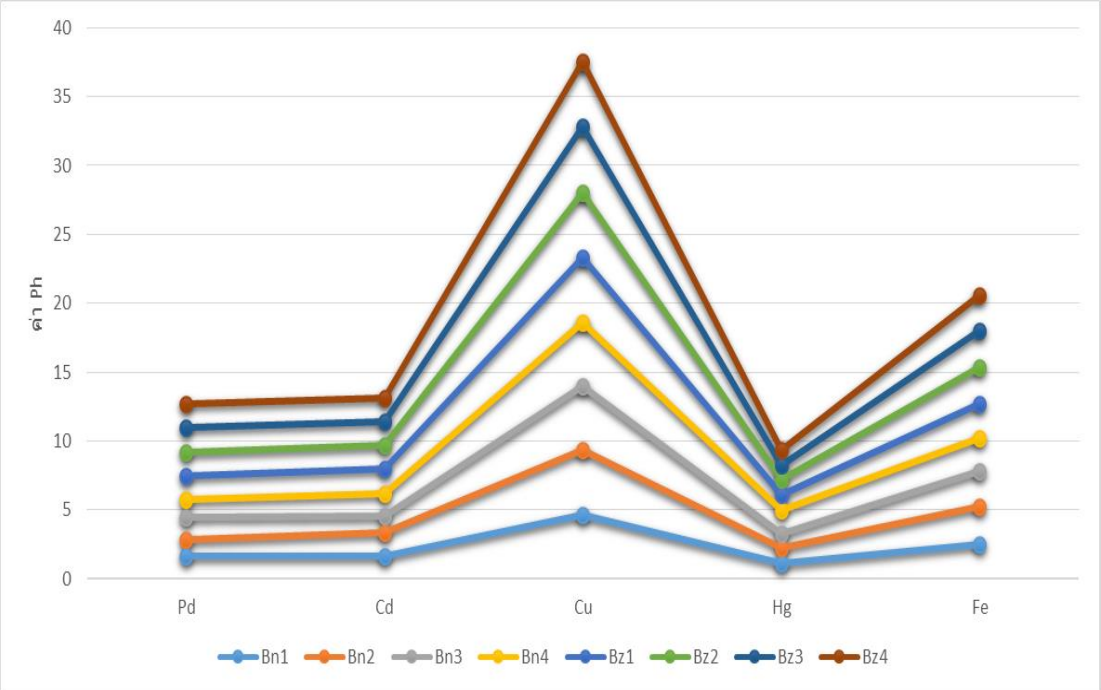
จากการวิเคราะห์หาค่า pH ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศ พบว่า ค่า pH ของกากกาแฟที่เผาในที่อับอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.30 %

การหาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โดยการกำหนดให้อัตราส่วนของถ่านกับสารละลายมีค่าเท่ากับ 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 โดยการใช้สัญญลักษณ์แทนค่าดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์การหาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟหลังการกระตุ้นทางเคมี

สารละลาย	ค่า pH ของกากกาแฟหลังการกระตุ้นทางเคมี							
	Bn1	Bn2	Bn3	Bn4	Bz1	Bz2	Bz3	Bz4
Pd	1.69	1.14	1.68	1.24	1.74	1.73	1.73	1.73
Cd	1.65	1.71	1.16	1.70	1.73	1.71	1.73	1.72
Cu	4.69	4.66	4.62	4.61	4.75	4.74	4.75	4.68
Hg	1.12	1.09	1.09	1.68	1.10	1.10	1.10	1.08
Fe	2.53	2.73	2.56	2.39	2.49	2.65	2.64	2.56

จากการวิเคราะห์หาค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี โดยการกำหนดให้อัตราส่วนของถ่านต่อสารละลายมีค่าเท่ากับ 1:1,1:2,1:3 และ 1:4 โดยการใช้สัญลักษณ์แทนค่าในตาราง จะเห็นได้ว่า ถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่ทำการดูดซับสารละลายโลหะหนักแคดเมียม (Cu) มีค่า pH มากที่สุดในทุกอัตราส่วน และรองลงมาจะเป็นสารละลายโลหะหนักเหล็ก (Fe) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงค่า pH ของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

1.6 การวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว (BET)

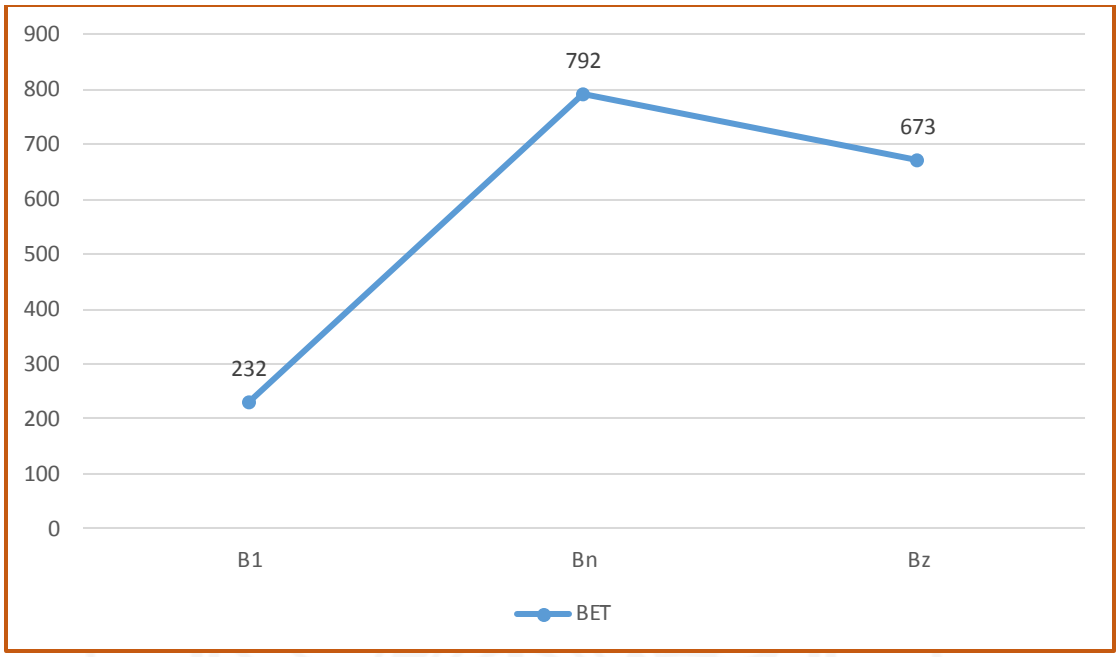
เป็นการวิเคราะห์สมบัติความพรุนของถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศและผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 27 แสดงค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

กากกาแฟ	ค่าพื้นที่ผิวเฉลี่ย (BET)
B1	232 m^2/g
Bn	729 m^2/g
Bz	673 m^2/g

จากตารางการแสดงค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นโดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าพื้นที่ผิว 232 m^2/g ถ่านจากกากกาแฟ

ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีค่าพื้นที่ผิว 729 m^2/g และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มีค่าพื้นที่ผิว 673 m^2/g



ภาพที่ 10 แสดงค่าพื้นที่ผิว (BET) ของถ่านจากกากกาแฟ

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย ครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี เพื่อศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบค่าร้อยละความชื้น ค่าร้อยละผลผลิต ค่าการดูดซับโลหะหนัก พบว่ากระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี โดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายซิงค์คลอไรด์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 900-2547 กล่าวคือ การแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายซิงค์คลอไรด์ส่งผลให้เกิดการหลุดของคาร์บอนซึ่งส่งผลให้เกิดรูพรุน หรือพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นภายในผงถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับโลหะหนักที่มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังจากการกระตุ้นทางเคมี

อภิปรายผล

1. การศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ที่ถูกคาร์บอไนเซชั่นด้วยการเผาแบบอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละความชื้น 5.90 มีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 94.23-94.50 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 0.33-4.10 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) เท่ากับ 232 m^2/g นำผงถ่านที่ได้มาทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 15.02 และ 11.66 ตามลำดับ ค่าร้อยละของผลผลิตมีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 85.29-85.35 และ 88.69-88.78 ตามลำดับ ค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักของผงถ่านมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการตุ้นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีค่าเฉลี่ยร้อยละอยู่ในช่วง 66.67-99.99 และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 33.33–100 ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 7.30 อยู่ในช่วง 1.09-4.69 และ 1.08-

4.75 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) เมื่อกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น 729 m2/g และ 673 m2/g

ดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วย สารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 900-2547

2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ เพื่อหาค่าความชื้นของกากกาแฟ ค่าความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถการดูดซับ ถ้ามีค่าความชื้นสูงจะส่งผลให้การดูดซับสารละลายหรือก๊าซลดลง จากผลการทดลองหาค่าความชื้นของกากกาแฟก่อนการเผาคาร์บอไนเซชั่น พบว่า มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ย 10.71 เมื่อทำการเปลี่ยนกากกาแฟด้วยวิธีการคาร์บอไนเซชั่น ด้วยการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการกระตุ้นสารเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) พบว่าค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ในช่วง 15.02 และ 11.66 ค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 94.23–94.50 และมีค่าลดลงเมื่อนำกระตุ้นสารเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โดยค่าร้อยละของผลผลิตมีค่าเท่ากับ 85.29–85.35 และ 88.69-88.78 ตามลำดับ การลดลงของค่าร้อยละของผลผลิต เป็นผลมาจากการไม่เสถียรของคาร์บอนภายในถ่าน เมื่อ**ถูกกระตุ้น**โดยสารเคมีทำให้คาร์บอนนั้นเกิดการหลุดออก ทำให้น้ำหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟลดลง ค่าร้อยละของการดูดซับโลหะหนักค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการดูดซับโลหะหนักอยู่ในช่วงค่าร้อยละ 0.33–4.10 ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีค่า pH เท่ากับ 7.3 และค่าพื้นที่ผิว (BET) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ มีค่าเท่ากับ 232 m^2/g

เมื่อนำผงถ่านกัมมันต์มาบดและคัดขนาดด้วยตะแกรง และทำการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ (ZaCl2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากกว่า ร้อยละ 99.3 และมีค่า pH ลดลง และค่าพื้นที่ผิว (BET) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟมีค่า 729 m^2/g โดยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เตรียมได้นี้มีค่าพื้นผิวสูงขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น ซึ่งถ่านที่ผลิตได้ มีสี ความแข็ง ค่า pH ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 900-2547

ข้อเสนอแนะ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี นอกจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ ยังสามารถนำสารตัวอื่น เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อเป็นการพัฒนาการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟให้ดีขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.). *การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm

จตุพร วิทยาคุณ. (2547). *การเร่งปฏิกิริยา* : พื้นฐานและการประยุกต์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จารุพัชร์ พิชัยอุตกฤษฎ์ และคณะ. (2556). *กาแฟ Cafe.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก https://sites.google.com/site/kafaeswu/laksna-thang-phvkssastr

ชลธิชา ประจักษ์สูตร์ และลักษมณ คูบุญญอารักษ์. (2554). *การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคั่วบด.* ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทิศา บุญเถื่อน. (2548). *โครงการวิจัยทางเคมีการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

บุญชัย ตระกูลมหชัย. (2536). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปัญญา มณีจักร. (2556). การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางเพื่อดูดซับโครเมียม (*III*) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า *COD.* ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต* ประจำปี 2556 (น.119-129). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต.

พีระพงษ์ เนียมเสวก. (2532). *การเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยใช้ไอน้ำ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มัลลิกา ถาบุตร. (2553). การพัฒนาตัวดูดซับโลหะหนักและสีย้อมผ้าแทนถ่านกัมมันต์เชิงการค้า. *วารสารมหาวิทยาลัยณเรศวร,* 18(2).

มาสเตอร์พีซ คอฟฟี่ โรสติ้ง เฮ้าส์. (2556). *เมล็ดกาแฟ สายพันธุ์ต่างๆ.* https://www.coffeemasterpiece.com/Article_Detail&noPage=3

รุจิรา คุ้มทรัพย์. (2556). *การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด เพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน.* เพชรบูรณ์: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. (2544). *การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/9810

วีพีพี โปรเกรสซิฟ. (2558). *การเดินทางของกาแฟจากอดีตจนถึงวันนี้.* สืบค้น 29 ธันวาคม 2558, จาก http://www.vppcoffee.com/knowledge/coffee-history/

ศรัณย์ จิตตวนิชประภา. (2554). *การดูดซับยาปฏิชีวนะ* Ciprofloxacin *ด้วยถ่านที่เตรียมจากกาก กาแฟ.* นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์. (ม.ป.ป.). *ความเชื่อมั่นด้านคุณภาพ.* สืบค้น 19 พศจิกายน 2558, จาก http://www.bkcarbonplus.com/product2.php

สมร หิรัญประดิษฐกุล. (2555). *ถ่านกัมมันต์จากชีวมวล.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2532). *ถ่านกัมมันต์.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก http://appdb.tisi.go.th/tis_dev/p3_tis/p3tis.php

สิงหเดช แตงจวง. (2550). *การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=MRG5080235

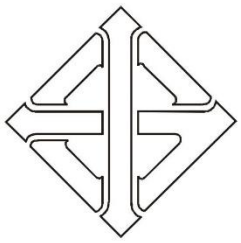
สิริจิตติ์ แสงอุ่นอุรัย. (2544). *การศึกษาจลศาสตร์การดูดติดผิวและการคายอลูมิเนียมของดิน.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

K-me, D. (2559). *เพชร vs แกรไฟต์ ความเหมือนที่แตกต่าง.* สืบค้น 31 มกราคม 2559, จาก https://www.facebook.com/1691678271075821/posts/1735193130057668/

pradthana Weblog. (2551). *กระบวนการดูดซับ.* สืบค้น 19 พฤศจิกายน 2558, จาก https://pradthana.wordpress.com/

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถ่านกัมมันต์



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 900 – 2547

ถ่านกัมมันต์

ACTIVATED CARBON

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ICS 71.100.80 IBN 974-687-219-2

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 581
มาตรฐานคาร์บอนกัมมันต์

ประธานกรรมการ

นายประสม สถาปิตานนท์	ผู้แทนสมาคมมาตรฐานไทย

กรรมการ

นางสาวนงลักษณ์ บรรยงวิจัย	ผู้แทนกรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายจ่ายฮก แซ่เฮียบ	ผู้แทนคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวรุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์	ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นายพร เดชคณากร	ผู้แทนบริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด
นายวัฒนา โสตรแก้ว	ผู้แทนบริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด
นางสาวคัชชริยา บูรณวัฒน์	ผู้แทนบริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
นายประกิจ อิศวรพันธ์	ผู้แทนบริษัท ปราณีภัณฑ์ จำกัด
นายธนัญชัย กาญจนบัตร	ผู้แทนบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด
นายเบญจะ กาญจนบัตร	
นายสุนธนะ ธวัชวิบูลย์	ผู้แทนบริษัท เอ็มซี อินดัสเทรียลเคมิคอล จำกัด
นางบุษบา นันทสุขเกษม	ผู้แทนบริษัท ไว้ท์กรุ๊ป จำกัด (มหาชน)
นายไพรัช วิวัฒนกุลกิจ	ผู้แทนบริษัท อิ๊สต์เอเชียติ๊ก (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

กรรมการและเลขานุการ

นายกิตติศักดิ์ ณีศะนันท์	ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นางอารัมภ์รัตน์ รัชตานุรักษ์	

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ได้ประกาศใช้เป็นครั้งแรกตามมาตรฐานเลขที่ มอก.900-2532 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่ม 106 ตอนที่ 226 วันที่ 22 ธันวาคม พุทธศักราช 2532

ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ เพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการพัฒนาของผลิตภัณฑ์นี้ จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

American Water Works Association(AWWA) B600-96	Powdered Activated Carbon
AWWA B604-96	Granular Activated Carbon
ASTM D 4607-94	Determination of Iodine Number of Activated Carbon

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3274 (พ.ศ. 2547)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถ่านกัมมันต์

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ 900–2532

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1550 (พ.ศ. 2532) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนด มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ลงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2532 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.900–2547 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2547

พินิจ จารุสมบัติ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มอก. 900–2547

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถ่านกัมมันต์

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียม แอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงาน และใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิด และชั้นคุณภาพ

3.1 ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.1.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.1.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.1.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.1.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2 ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผง

ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด

ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่ง

ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

(ข้อ 5.2.1)

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

5.2.2 ชนิดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด

(ข้อ 5.2.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1 000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70		AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

5.2.3 ชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด

(ข้อ 5.2.3)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

5.2.4 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง

(ข้อ 5.2.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน

(2) ชนิด และชั้นคุณภาพ

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

9.2 การทดสอบขนาด

9.2.1 ถ่านกัมมันต์ผง

9.2.1.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) กูชครูซิเบิล

9.2.1.2 วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำแร่งให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแร่ง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแร่งแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแร่งอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

9.2.1.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left[1 - \frac{m_1}{m_0} \right] \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

เมื่อ m_1 คือ มวงของตัวอย่าง หลักจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2 ถ่านกัมมันต์เม็ดและถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

9.2.2.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

9.2.2.2 วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแร่ง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร่งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนแร่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

9.3 น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทตัวอย่างออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 8.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดและชั้นคุณภาพเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

(ข้อ ก.2.1.1)

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

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.2

ก.2.2.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.2 จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.2)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 280	2	0
281 ถึง 500	8	1
เกิน 500	13	2

ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.3.1 ให้ชักตัวอย่าง จากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายและฉลากแล้วมาภาชนะบรรจุละเท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่าง รวมกันไม่น้อยกว่า 1 500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์ อีก 2 ส่วนที่เหลือให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

ก.2.3.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

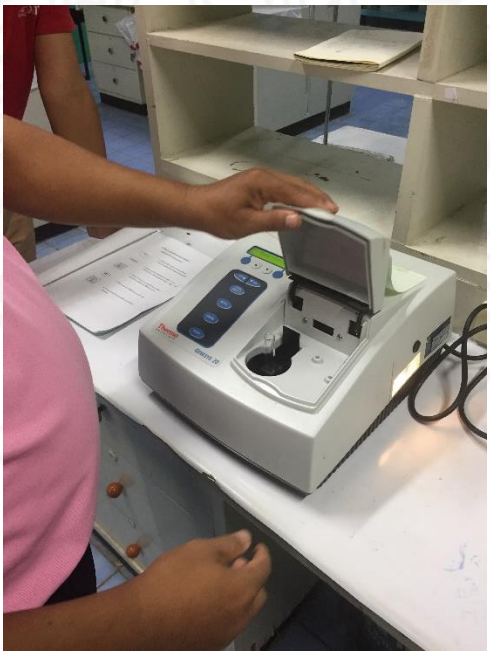
ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

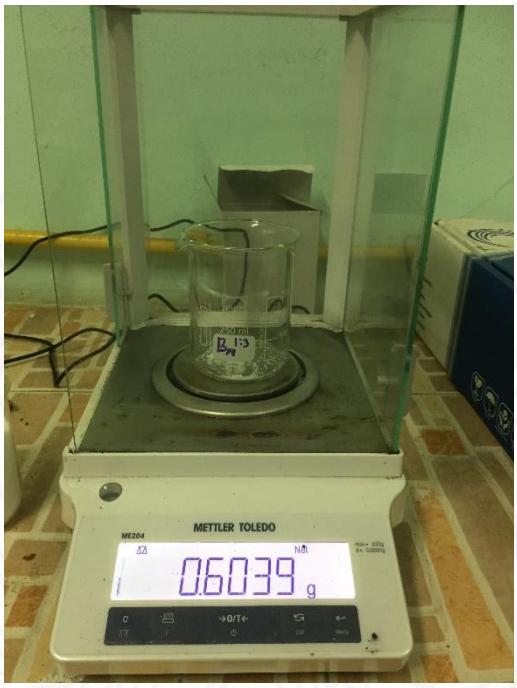
ภาพที่ 6 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH)แบบตั้งโต๊ะ

ภาพที่ 7 เครื่องเขย่าสาร

ภาพที่ 8 ตู้อบอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 9 เครื่อง Spectronic รุ่น G-20



ภาพที่ 10 เครื่องชั่งดิจิตอล

ภาพที่ 11 ตะแกรงร่อน เบอร์ 80

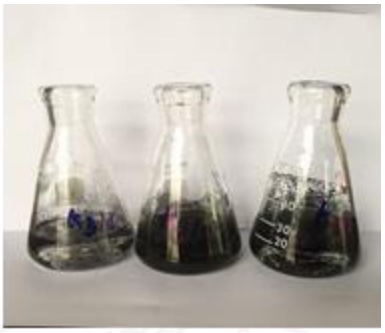
ภาคผนวก ค
ภาพการดำเนินงาน

ภาพที่ 12 การบดถ่านที่ได้จากกากกาแฟ

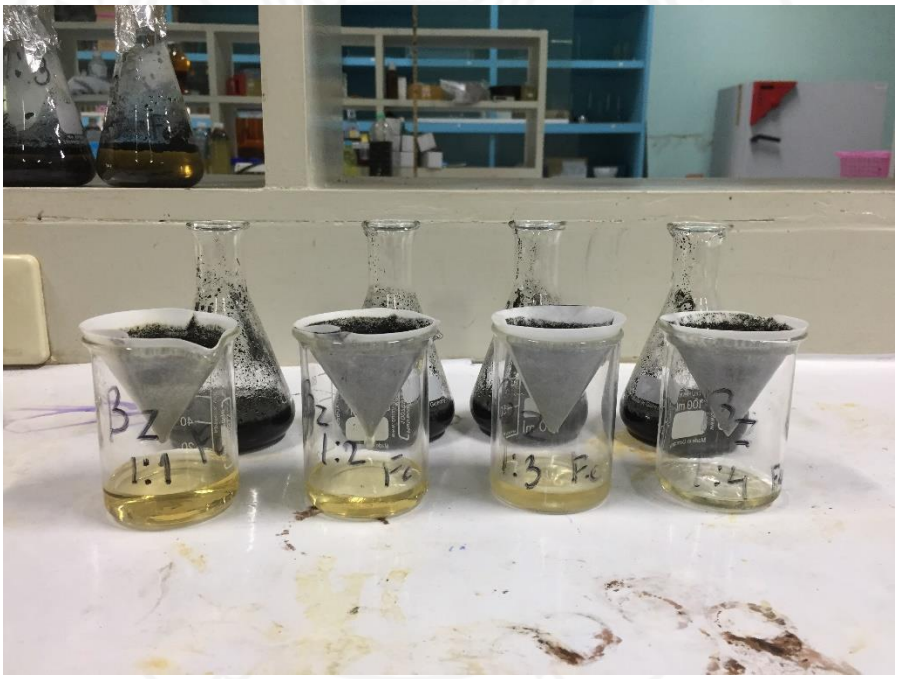
ภาพที่ 13 การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ภาพที่ 14 อบถ่านจากกากกาแฟเพื่อหาค่าความชื้น

ภาพที่ 15 การกรองถ่านจากกากกาแฟเพื่อนำไปตรวจสอบการดูดซับ



ภาพที่ 16 ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี



ภาพที่ 17 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก

ภาคผนวก ง
สัญญาลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
B	กากกาแฟ
B1	ถ่านจากกากกาแฟที่ผ่านการเผาในที่อับอากาศ
Bn	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โซเดียมครอไรด์ NaCl
Bz	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี ซิงค์ครอไรด์ $ZaCl_2$
Bn1	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โซเดียมครอไรด์ NaCl ในอัตรส่วน 1:1
Bn2	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โซเดียมครอไรด์ NaCl ในอัตรส่วน 1:2
Bn3	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โซเดียมครอไรด์ NaCl ในอัตรส่วน 1:3
Bn4	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี โซเดียมครอไรด์ NaCl ในอัตรส่วน 1:4
Bz1	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี ซิงค์ครอไรด์ $ZaCl_2$ ในอัตรส่วน 1:1
Bz2	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี ซิงค์ครอไรด์ $ZaCl_2$ ในอัตรส่วน 1:2
Bz3	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี ซิงค์ครอไรด์ $ZaCl_2$ ในอัตรส่วน 1:3
Bz4	กากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี ซิงค์ครอไรด์ $ZaCl_2$ ในอัตรส่วน 1:4

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ไชยเชษฐ ขวดแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด 29 ธันวาคม 2528
สถานที่เกิด อุตรดิตถ์
วุฒิการศึกษา
ที่อยู่ปัจจุบัน 111/1 ม.9 ต.ท่าเสา อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์