เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน เดือน ปี.....

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่หน้าที่และประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ

Influence of Activating Agent on Functional Groups and Adsorption Efficiency of Activated Carbon derived from Coffee Residue

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยยันต์ ไชยยะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง

RMUTK- CARIT

3 2000 00107834 6

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2550

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

กากกาแฟจากบริษัท ซาร่า ลี คอฟฟี่แอนด์ที (มอคโคน่า ประเทศไทย) ถูกนำมาแปรรูปเป็นถ่านกากกาแฟด้วยกระบวนการคาร์บอไนเซชัน โดยการแปรผันอุณหภูมิ 400-600°C และเวลา 1-3 ชั่วโมง ผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 143 m^2/g ที่สภาวะ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตัวอย่างนี้ถูกนำมากระตุ้นต่อโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารกระตุ้น 3 ชนิดได้แก่ $ZnCl_2$ NaCl และ NaOH โดยการแปรผันอุณหภูมิกระตุ้นที่ 500-700°C และสัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านกากกาแฟต่อสารกระตุ้นเป็น 1:0.5, 1:1 และ 1:1.5 ผลจากเครื่อง SEM แสดงให้เห็นว่า $ZnCl_2$ และ NaOH สามารถทำให้ถ่านกัมมันต์มีขนาดรูพรุนที่สม่ำเสมอ ในขณะที่ผลจากการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ด้วยเครื่อง Gas sorption analyzer แสดงให้เห็นพื้นที่ผิวที่สูงสุดคือ 914 m^2/g โดยการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่สภาวะ 600°C และสัดส่วนโดยน้ำหนักเป็น 1:1 ในขณะที่ NaCl และ NaOH ให้ค่าพื้นที่ผิวที่ใกล้เคียงกันที่ 300-330 m^2/g โดยประมาณ นอกจากนี้ขนาดรูพรุนเฉลี่ยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก $ZnCl_2$ จะมีขนาดกว้างที่สุดคือ 2.90-3.4 nm ซึ่งอยู่ในช่วงของ Mesopore รองลงมาเป็น NaOH และ NaCl ซึ่งมีขนาด 2.32 nm และ 1.40 nm ตามลำดับ ในส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีโดยใช้ FTIR พบหมู่ทำหน้าที่บนผิวของถ่านที่เตรียมจากสารกระตุ้นทั้ง 3 ชนิดว่า มีหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) และหมู่คาร์บอนิล (C=O) เป็นหลัก อย่างไรก็ดีถ่านที่กระตุ้นด้วย NaOH ยังถูกพบโลหะตกค้างอยู่อันเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำเกินไป

ABSTRACT

The coffee residue from Sara Lee Coffee and Tea Company (Moccona, Thailand) was derived to charcoal by carbonization process under various conditions of temperature 400-600°C and 1-3 hours. The results showed the highest surface area was 143 m^2/g at temperature 600°C for 1 h. This sample was processed by chemical activation using three types of activating agent as $ZnCl_2$ NaCl and NaOH under various conditions of activating temperature 500-700°C and weight ratio between charcoals and activating agent as 1:0.5, 1:1 and 1:1.5. The SEM results showed $ZnCl_2$ and NaOH effect to the uniform of pore structure. The adsorption of N_2 at 77K of gas sorption analyzer demonstrated that the highest surface was 914 m^2/g by using $ZnCl_2$ under condition 600°C and 1:1 weight ratio. While, the NaCl and NaOH effect to the same amount of surface area as 300-330 m^2/g, approximately. Additional, the average pore diameter of activated carbon prepared from $ZnCl_2$ was the largest size as 2.90-3.40 nm and was in range of mesopore. The average pore diameter of activated carbon prepared from NaOH and NaCl were as 2.32 and 1.40 nm, respectively. The result of FTIR showed the poses of stretching of hydroxyl (O-H) and Carbonyl (C=O) groups on each samples. However, the trace metal (COO-M) was found on the surface of activated carbon prepared from NaOH since the activating temperature is too low.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2550

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
ABSTRACT	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ซ
รายการรูป	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 กาแฟ	3
2.2 ถ่านกัมมันต์	6
3. วิธีการวิจัย	20
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	20
3.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์	22
3.3 วิธีการทดสอบสมบัติถ่านกัมมันต์	23
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล	24
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิคาร์โบไนซ์ที่มีต่อผลได้ และพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟ	24
4.2 ผลจากเครื่อง SEM	28
4.3 ผลจากเครื่อง Gas Sorption Analyzer	37
4.4 ผลจากเครื่อง Fourier transforms infrared	39
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการวิจัย	42

บทที่	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	47
ประวัติคณะนักวิจัย	54

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อแตกต่างของกาแฟพันธุ์โรบัสตาและพันธุ์อาราบิกา	4
2.2 สมบัติทางกายภาพของซิงค์คลอไรด์	12
2.3 สมบัติของหมู่ทำหน้าที่	16
4.1 ผลได้ พื้นที่ผิว ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏ ของถ่านจากกากกาแฟจากการคาร์โบไนเซชัน	26
4.2 สัญลักษณ์แทนถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะ	27
4.3 ข้อมูลทางกายภาพของถ่านกัมมันต์แต่ละสภาวะการผลิต	38

รายการรูป

รูป หน้า

2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดกาแฟ 3
2.2 กระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป 5
2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 7
2.4 ตัวอย่างหมู่หน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์ 15
3.1 ลักษณะของกากกาแฟ 21
3.2 Tube Furnace 21
3.3 Chamber Furnace 22
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อผลได้ของถ่านกากกาแฟที่เวลาต่างๆ 24
4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟที่เวลาต่างๆ 25
4.3 SEM ของ 0.5Zn500 28
4.4 SEM ของ 1Zn500 28
4.5 SEM ของ 1.5Zn500 29
4.6 SEM ของ 0.5Zn600 29
4.7 SEM ของ 1Zn600 29
4.8 SEM ของ 1.5Zn600 30
4.9 SEM ของ 0.5Zn700 30
4.10 SEM ของ 1Zn700 30
4.11 SEM ของ 1.5Zn700 31
4.12 SEM ของ 0.5NaCl500 31
4.13 SEM ของ 1NaCl500 31
4.14 SEM ของ 1.5NaCl500 32
4.15 SEM ของ 0.5NaCl600 32
4.16 SEM ของ 1NaCl600 32
4.17 SEM ของ 1.5NaCl600 33
4.18 SEM ของ 0.5NaCl700 33
4.19 SEM ของ 1NaCl700 33

รายการรูป

รูป หน้า

4.20 SEM ของ 1.5NaCl700 34
4.21 SEM ของ 0.5NaOH500 34
4.22 SEM ของ 1NaOH500 34
4.23 SEM ของ 1.5NaOH500 35
4.24 SEM ของ 0.5NaOH600 35
4.25 SEM ของ 1NaOH600 35
4.26 SEM ของ 1.5NaOH600 36
4.27 SEM ของ 0.5NaOH700 36
4.28 SEM ของ 1NaOH700 36
4.29 SEM ของ 1.5NaOH700 37
4.30 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ 39
4.31 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย NaCl 40
4.32 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย NaOH 41
A1 แบบจำลองการดูดซับโมเลกุลหลายชั้น 47
A2 The BET model for adsorption 47

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการดูดซับ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุหนึ่งที่มักจะถูกใช้ในกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ เช่น การบำบัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Water treatment) ทั้งในรูปของเหลว และแก๊ส ซึ่งมักจะปรากฏอยู่ในหน่วยการแยก (Separation) และการกรอง (Filtration) เป็นต้น ซึ่งประสิทธิภาพในการ ดูดซับของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิในการดูดซับ อัตราการป้อนสารถูกดูดซับ โครงสร้างทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ และประเภทของหมู่หน้าที่บนผิวของถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ซึ่งโดยปกติแล้วโครงสร้างทางกายภาพของถ่านกัมมันต์มักจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ ในขณะที่ ประเภทของหมู่หน้าที่มักจะขึ้นอยู่กับ สารเคมีที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการกระตุ้น ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้ามีการนำสารเคมีหลายชนิดมาใช้เป็นสารกระตุ้น ทั้งสารประเภทกรด (HCl, H_3PO_4) ประเภทเบส (NaOH, KOH) ซึ่งสารกระตุ้นที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความหลากหลายของหมู่หน้าที่ อันจะนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับได้หลากหลายมากขึ้น ประกอบกับในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะใช้กากกาแฟเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งนอกจาก จะเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากๆ ต่อปีแล้ว กากกาแฟยังมีความหลากหลายของหมู่หน้าที่ซึ่งปรากฏให้เห็นจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ถึง 5 ชนิด ประกอบไปด้วย Hydroxyl Group, Amide Group, Carboxyl Group, Ether Group และ Amine Group จากพื้นฐานดังกล่าวนี้ส่งผลให้กากกาแฟเป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจในการนำมาทดสอบ ด้วยการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งคณะวิจัยคาดหวังสิ่งที่จะได้รับคือถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้แต่ละสภาวะ น่าจะมีความสามารถในการดูดซับสารที่แตกต่างกันไป เช่น สารมีขั้ว สารไม่มีขั้ว สี หรือไอออนชนิดต่างๆ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีทางเคมี โดยแปรผันตัวแปรต่างๆ ที่น่าจะมีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ สารเคมีที่ใช้กระตุ้น ปริมาณของสารกระตุ้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งน่าจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติแตกต่างกันออกไป ในเชิงหมู่ทำหน้าที่ที่ปรากฏ บนผิวถ่าน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารกระตุ้นกรดและเบส ที่มีต่อหมู่หน้าที่และความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ เช่น ค่าพื้นที่ผิว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย หมู่หน้าที่ และความสามารถในการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

กากกาแฟจากโรงงานผลิตกาแฟสำเร็จรูปจะถูกนำมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้การกระตุ้นทางเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้จะเป็นสารประเภทกรด เช่น HCl และ H_3PO_4 และประเภทเบส NaOH และ KOH ซึ่งหลังจากการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวโดยการดูดซับไนโตรเจนที่ 77 K และวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดหมู่หน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์ ในกรณีที่สารกระตุ้นเปลี่ยนไป ในส่วนขั้นตอนสุดท้ายถ่านกัมมันต์จะถูกนำไปทดสอบการดูดซับสารประกอบต่างๆ เช่น สารละลายโลหะหนัก สารมีขั้ว สารไม่มีขั้ว และสี เป็นต้น เพื่อตรวจสอบ Affinity ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ต่อสารชนิดต่างๆ เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟให้มีลักษณะโครงสร้าง และหมู่ทำหน้าที่ที่หลากหลายเพื่อการประยุกต์ใช้ที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

1.4.2 สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟให้มีคุณภาพเทียบเท่าหรือดีกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม

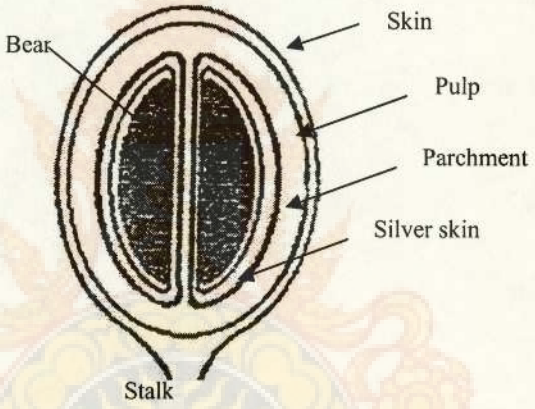
1.4.3 สามารถลดปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ และลดปริมาณขยะจากกระบวนการอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กาแฟ [1, 2]

กาแฟเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Rubiaceae สายพันธุ์ Coffea มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea Arabica* L. กาแฟจัดเป็นไม้พุ่ม ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของทวีปแอฟริกา ซึ่งเป็นที่รู้จักกันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1820 ผลของกาแฟแต่ละผลจะให้สองเมล็ด ลักษณะผลเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีขาว เมื่อแก่จัดแล้วสีจะเข้มขึ้น แล้วเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม แสดงลักษณะของเมล็ดกาแฟได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดกาแฟ [2]

กาแฟจะติดเป็นผลมีลักษณะคล้ายลูกหว้า ซึ่งภายในผลกาแฟแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ดใดลีบ เพราะการผสมพันธุ์ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่จะมีรูปกลม ส่วนยาวจะมีรูปโค้งเป็นรูปกระบอกติดเมล็ดที่สุกจะมีสีน้ำตาลปนแดง เมื่อผลสุกแล้วกะเทาะเปลือกออก จะได้เมล็ดกาแฟที่มีเปลือกสีขาว (Parchment) หุ้มอยู่ ซึ่งเมื่อขัดออกแล้วจะเหลือเยื่อบางๆ สีขาวที่เรียกว่า Silver skin หุ้มอยู่ภายในอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งถ้าผ่านกระบวนการขัดอีกชั้นหนึ่งจะได้เม็ดกาแฟที่ใช้บริโภคที่เรียกว่า กาแฟเขียว (Green coffee) หรือ Clean coffee ในปัจจุบันนี้มีกาแฟที่นิยมปลูกกันมาก 2 พันธุ์ใหญ่ๆ คือ พันธุ์อาราบิกา (Coffea arabica) และ พันธุ์โรบัสตา (Coffea canephora var robusta)

2.1.1 กาแฟพันธุ์อาราบิกา เป็นพันธุ์ที่มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น บราซิลเลียน อะบิสสิเนียน และอาราบิกา กาแฟพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมแถบบริเวณ

ประเทศเอธิโอเปียตามลาดเขาของอะบิสซิเนีย และเยเมน ให้ผลผลิตสูง มีปริมาณคาเฟอีนต่ำและรสชาติหอมอร่อย โดยมากนิยมนำมาผลิตเป็นกาแฟคั่วบดผล (Roast coffee) กาแฟพันธุ์อาราบิกาแบ่งได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ปลูก เช่น มอคค่าปลูกมากบริเวณคาบสมุทรอาราเบีย นอกจากนี้ยังปลูกได้บริเวณโคลัมเบียและอเมริกากลาง

2.1.2 กาแฟพันธุ์โรบัสตา เป็นพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกากลาง มีสมบัติทนทานต่อสภาพดิน ฟ้า อากาศ โรคพืช และแมลงได้ดี มีปริมาณคาเฟอีนค่อนข้างสูง และสามารถคงกลิ่นไว้ได้นานกว่าพันธุ์อาราบิกา ให้ผลผลิตสูงกว่า แต่รสชาติและกลิ่นของพันธุ์โรบัสตาไม่เป็นที่นิยมเท่ากับพันธุ์อาราบิกา จึงนิยมนำไปผลิตเป็นกาแฟผงสำเร็จรูป พันธุ์โรบัสตานี้พบมากในแถบหมู่เกาะชวาและอินโดนีเซีย

ตารางที่ 2.1 ข้อแตกต่างของกาแฟพันธุ์โรบัสตาและพันธุ์อาราบิกา [3]

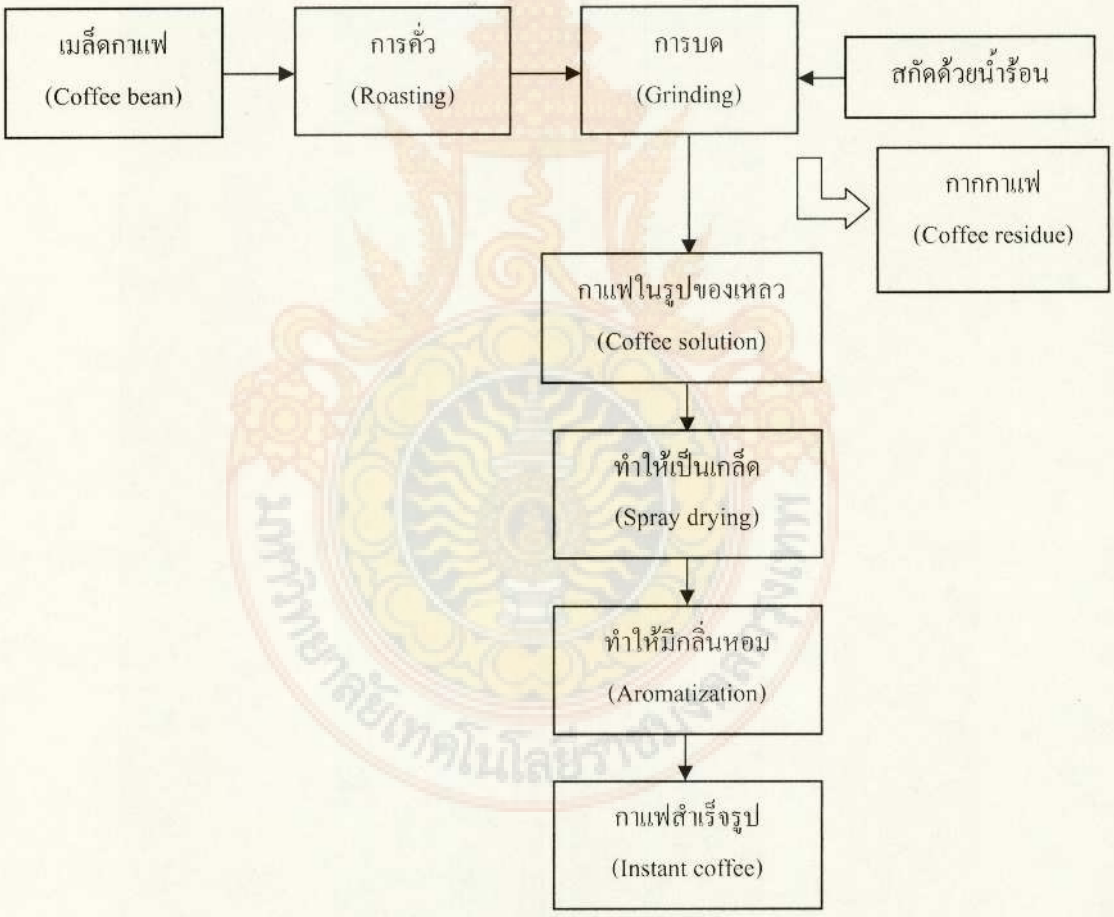
ลักษณะ	พันธุ์อาราบิกา	พันธุ์โรบัสตา
1. โครโมโซม	44	22
2. ระยะเวลาออกดอกถึงผลสุก	6-9 เดือน	8-11 เดือน
3. เวลาออกดอก	หลังฤดูฝน	ไม่แน่นอน
4. ผลสุก	ฤดูหนาว	ตลอดปี
5. ผลผลิต	240-480 kg/ไร่	360-480 kg/ไร่
6. ราก	ลึก	แผ่เป็นบริเวณกว้าง
7. อุณหภูมิการเพาะปลูก	15-25°C	24-34°C
8. ปริมาณน้ำฝนต่อปี	2,000 mm	2,000-3,000 mm
9. พื้นที่เพาะปลูก (จากระดับน้ำทะเล)	1,000-2,000 m	0-700 m
10. ความต้านทานโรค	ปานกลาง	สูง
11. ปริมาณคาเฟอีนในผลผลิต	0.8-1.4%	1.7-4.0%
12. ลักษณะผลกาแฟ	แบน	รูปไข่
13. รสชาติ	มีความเป็นกรด	ขมเข้ม

ในประเทศไทยก็เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกกาแฟค่อนข้างมาก โดยร้อยละ 97 ของการปลูกทั้งหมดในประเทศเป็นพันธุ์โรบัสตาซึ่งปลูกบริเวณแถบภาคใต้ คือ จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช กระบี่ ยะลา ระนอง และตรัง ส่วนพันธุ์อาราบิกาปลูกเป็นร้อยละ 3 ของการปลูกทั้งหมดในประเทศ

ซึ่งปลูกบริเวณทางภาคเหนือตอนล่าง โดยองค์ประกอบทางเคมีของกาแฟทั้งสองพันธุ์นี้จำแนกได้ดังนี้

ส่วนเปลือก คือ ส่วนที่เป็นเปลือกสีขาวและส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มซึ่งในส่วนนี้กาแฟทั้งสองพันธุ์มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน คือ ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แพคติน และลิกนิน ซึ่งคล้ายๆ กับส่วนเปลือกของพืชทั่วๆ ไป

ส่วนเมล็ด คือ ส่วนที่นำไปบริโภคหรือเรียกว่า Bean ประกอบด้วยสารระเหย (Volatile matter) คือ สารพวกอะโรมาติก และเฮทเทอร์โรไซคลิก โดยเฉพาะคาเฟอีน และประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิดแต่ที่เป็นหลักๆ คือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส ในงานวิจัยนี้ใช้กาแฟที่ผ่านจากขั้นตอนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปแล้ว ซึ่งเรียกว่ากากกาแฟ (Coffee residue) ขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป [2]

กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการนำเมล็ดกาแฟที่กะเทาะเปลือกออกแล้วมาผ่านการคั่ว (Roasting) แล้วจึงบดย่อยขนาด (Grinding) จากนั้นผ่านขั้นการสกัด (Extraction) ด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 180°C ภายใต้ความดันสูงโดยเครื่องปฏิกรณ์ที่มี 6 คอลัมน์ เพื่อให้ได้ผลผลิตของเนื้อกาแฟมากที่สุด แล้วจึงกรองแยกออก ซึ่งของแข็งที่เหลืออยู่ คือ กากกาแฟ ส่วนของเหลวที่ได้ เรียกว่า น้ำกาแฟ นำไปพักไว้ที่ ถังพัก แล้วนำไปผ่านขั้นตอนการอบแห้งแบบฉีดพ่นโดยการฉีดน้ำกาแฟออกมาเป็นสาย โดยใช้วาล์วที่หมุนได้ ซึ่งอุณหภูมิถูกควบคุมไว้ที่ 250°C จะทำให้เกิดการระเหยจนกลายเป็นของแข็ง แล้วจึงผ่านการระเหิด (Evaporation) อีกครั้ง เพื่อนำน้ำส่วนเกินออกอีกในขั้นตอนการอบแห้งแบบแช่แข็ง จนท้ายสุดจะได้กาแฟผงซึ่งสามารถชงดื่มได้ทันที แต่ในระหว่างขั้นตอนการสกัดจนถึงการอบแห้งแบบแช่แข็งจะมีการสูญเสียสารระเหยที่มีกลิ่น ซึ่งทำให้มีกลิ่นหอมหายไปบางส่วน จึงต้องผ่านกระบวนการเติมกลิ่นเพื่อเติมสารเหล่านี้อีกครั้ง ก่อนที่จะมีการบรรจุลงถุงพร้อมกับเติมแก๊สเฉื่อย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดความเสี่ยงต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction)

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้โดยนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการการทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) จนถ่านมีลักษณะเป็นสีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี [4] การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรจะมีปริมาณคาร์บอนสูงและขี้เถ้าต่ำ วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชหรือต้นไม้โดยตรง เช่น ไม้ชนิดต่างๆ หรืออยู่ในรูปของเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรืออุตสาหกรรมต่างๆ เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย กะลาปาล์ม ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง ซังข้าวโพด และกากน้ำตาล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท หรือบิทูมินัส และสิ่งที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นยังมีไม่มากนัก เช่น กระดูกหรือเขาสัตว์ เป็นต้น [1] สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในรูปของถ่านนั้น พบว่าส่วนมากมักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรียวัตถุ ซึ่งเราเรียกกันว่า "ถ่านสังเคราะห์" เป็นส่วนใหญ่ อาจใช้ถ่านที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น กราไฟต์ และแอน ทราไซต์ [5]

2.2.1 กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ [5]

ในปัจจุบันวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีอยู่มากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไร และต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติอย่างไร กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การอบแห้ง การบดแห้ง การทำเป็นเม็ด การเผาที่อุณหภูมิต่ำหรือขั้นตอนทำให้

เป็นถ่าน จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมี หรือสารออกซิไดส์ต่างๆ เพื่อทำเป็นถ่านกัมมันต์ กระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วๆ ไปแบ่งขั้นตอนการผลิตเป็น 2 ขั้นตอน คือ

2.2.1.1 การทำให้เป็นถ่าน [6]

วัตถุประสงค์ของการทำให้เป็นถ่านคือเพื่อกำจัดธาตุต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนในอินทรียวัตถุออกไป ถ่านที่ได้จะมีปริมาณร้อยละของคาร์บอนสูงขึ้น โดยใช้หลักการของกระบวนการไพโรไลซีส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยความร้อน โดยวิธีการเผาอินทรียวัตถุหรือวัตถุดิบในที่อับอากาศ การย่อยสลายนี้จะทำ

ให้ธาตุส่วนใหญ่ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน และออกซิเจน เกิดการสลายตัวออกเป็นแก๊ส และบางส่วนของคาร์บอนจะกลายเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน และเมทานอล เป็นต้น หลุดออกไปทำให้ได้ถ่าน ในระยะแรกวัตถุดิบจะถูกทำให้แห้งโดยการไล่ความชื้นหรือน้ำออกไปจนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 170°C อินทรียวัตถุบางส่วนจะเริ่มสลายตัวออกเกิดเป็นกรดน้ำส้ม แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 270-280°C จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์พร้อมทั้งให้ความร้อนออกมา ระหว่างนี้จะเกิดน้ำมันดิน เมทานอลและสารอื่นๆ ออกมาเป็นจำนวนมาก จากนั้นที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 350°C สีของไม้จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำโดยปฏิกิริยาคาร์โบไนเซชันของเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ พบว่าจะมีการสูญเสียเซลลูโลสอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 300-400°C ในขณะที่เกิดนั้นการสลายตัวของลิกนินจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400°C การสูญเสียมวลส่วนใหญ่ยังไม่สามารถกำจัดไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากวัสดุได้หมด ทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพไม่ดีหรือที่เรียกว่าหัวถ่าน ถ้าทำถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600°C พบว่าปริมาณร้อยละของคาร์บอนของถ่านที่ได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าทำถ่านที่อุณหภูมิสูงกว่า 600°C จะทำให้ได้ถ่านต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 600°C มาก ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่าน เพื่อให้ได้ผลผลิตและประสิทธิภาพในการแปรสภาพวัตถุดิบหรืออินทรียวัตถุให้เป็นถ่านสูงสุดคือ ช่วงอุณหภูมิ 400-600°C และควรเผาถ่านให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนที่สิ้นสุดโดยเร็ว เพื่อลดการสูญเสียของสารที่สลายตัวเนื่องจากความร้อน และควรควบคุมความสม่ำเสมอของความร้อนและอุณหภูมิของการทำให้เป็นถ่านให้คงที่ จึงจะได้ถ่านที่มีคุณภาพดี ซึ่งมีลักษณะดังนี้คือ

- มีสีดำสม่ำเสมอ
- มีลักษณะแข็งแกร่ง ไม่แตกหักง่าย
- เมื่อหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา
- ปลายที่หักจะแหลมคม
- เมื่อเคาะหรือตกกระทบพื้น ต้องมีเสียงดังกังวานคล้ายโลหะ
- ปราศจากผงฝุ่นและไม่มีขี้เถ้าหรือส่วนที่ยังไม่เป็นถ่านติดอยู่
- มีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่มาก มีความชื้นต่ำ (5-10%)

อย่างไรก็ตามถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำมาก เพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะหรือรูพรุนน้อย และยังมีน้ำมันดินบางส่วนติดค้างอยู่ภายในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิวของถ่าน จึงจำเป็นต้องนำถ่านจากขั้นตอนนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นการกระตุ้นจึงเป็นเพียงการพัฒนาโครงสร้างให้เป็นไปทางเดียวกับการทำให้เป็นถ่านเท่านั้น

2.2.1.2 การกระตุ้น [6, 7]

การกระตุ้นเป็นการนำถ่านที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นถ่านมากระตุ้นด้วยสารที่เหมาะสมซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก๊สหรือไอ เพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำมันดิน และอะตอมของคาร์บอนบางส่วนในผลึกของถ่านให้หลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจในการดูดซับขึ้นมาแทน ทำให้ถ่านมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวที่มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น รูพรุนที่ได้จากกระบวนการกระตุ้นนี้จะมีขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะสำหรับการดูดกลิ่น ไอ และแก๊สพิษ แก๊สออกซิไดส์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนจากอากาศ

การกระตุ้นมี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการกระตุ้นทางฟิสิกส์และกระบวนการกระตุ้นทางเคมี

2.2.1.2.1 กระบวนการกระตุ้นทางฟิสิกส์ [7]

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวของคาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ซึ่งจะทำให้ถ่านเพิ่มความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น แก๊สที่นิยมใช้ในการออกซิไดส์ ได้แก่ ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจน โดยใช้ร่วมกับความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,200°C แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้โดยกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดส์ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดส์ คือ

- สมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของแก๊สออกซิไดส์ที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของปฏิกิริยา
- ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้

อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน แต่มักไม่เกิน 1,000°C เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000°C จะทำให้อำนาจการดูดซับของถ่านลดน้อยลง อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปอยู่ในช่วง 800-900°C แต่ก็มีบ้างที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 600°C

ข้อดีของการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดส์ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง

ข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี

กระบวนการนี้แก๊สที่เป็นตัวออกซิไดส์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ จะไปทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำมันดินและอะตอมของคาร์บอนบางส่วนในผลึกเพิ่มรูพรุนให้กว้างขึ้นและเพิ่มพื้นที่ผิวมากขึ้น

ก. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ [6]

การใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดส์ในที่นี้ หมายถึง ไอน้ำยิ่งยวด (Super heated steam) ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นแบบดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อนขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะสมมติให้เป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ของถ่าน ดังสมการ

$$C + H_2O \quad \Leftrightarrow \quad H_2 + CO \quad ; \Delta H = -31 \text{ kcal}$$

กลไกของปฏิกิริยา คือ

$$C + H_2O \quad \Leftrightarrow \quad C(H_2O)$$

$$(H_2O) \quad \Leftrightarrow \quad H_2 + C(O)$$

$$C(O) \quad \Leftrightarrow \quad CO$$

H_2 และ CO ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไป ทำให้เกิดรูพรุน แต่ CO ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาให้ CO_2 และ C ดังสมการข้างล่างนี้

$$CO + C(O) \Leftrightarrow \quad CO_2 + C$$

การกระตุ้นด้วยไอน้ำมีข้อดี คือ ราคาถูกและไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่ต้องมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้อัตราการออกซิไดส์เกิดอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000°C การดูดซับของถ่านที่ได้จะลดลง

ข. การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การกระตุ้นนี้คล้ายกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800-900°C โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับถ่านซึ่งเกิดปฏิกิริยาแบบคายความร้อนขึ้น ดังสมการ

$$C_x + CO_2 \quad \Leftrightarrow \quad 2CO + C_{x-1} \quad ; \Delta H = 38.2 \text{ kcal/gmol}$$

ค. การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ [6]

ปฏิกิริยานี้อาศัยออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดส์คาร์บอน ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เกิดปฏิกิริยาแบบคายความร้อนที่ง่าย และเร็วกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำกับการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาแสดงดังสมการ

$$C + O_2 \quad \Leftrightarrow \quad CO_2$$

$$2C + O_2 \quad \Leftrightarrow \quad 2CO$$

การกระตุ้นด้วยอากาศใช้กันน้อยมาก เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการทำได้ยากกว่ากรณีเกิดปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน นอกจากนี้ออกซิเจนอาจจะทำให้ผิวของถ่านไหม้เป็นผลให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

ข้อดีของการกระตุ้นทางฟิสิกส์นี้ คือ หลังจากผ่านกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ทันที โดยไม่มีปัญหาในการกำจัดสารเคมีที่ตกค้างอยู่ ข้อเสียของการกระตุ้นทางฟิสิกส์ คือ ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้ค่อนข้างสูงมากกว่าการกระตุ้นทางเคมีจึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สำหรับรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางฟิสิกส์จะมีรูพรุนขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ดูดกลิ่นและไอหรือแก๊สพิษได้ดี

ง. การกระตุ้นด้วยแก๊สไอเสีย

แก๊สไอเสียจะประกอบด้วยแก๊สชนิดต่างๆ จำนวนมากมายที่มีสมบัติในการกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และไอน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นการนำเอาแก๊สที่ปล่อยทิ้งไปกลับมาใช้ประโยชน์ทำให้ประหยัดในแง่เศรษฐศาสตร์

2.2.1.2.2 กระบวนการกระตุ้นทางเคมี

เป็นวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยสารกระตุ้นจะทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ในการกระตุ้นมากที่สุด คือ ซิงค์คลอไรด์ หรือโพแทสเซียมซัลโฟไซยาไนด์ ส่วนสารเคมีชนิดอื่นที่เป็นกรด คือ กรดฟอสฟอริก หรือกรดซัลฟิวริก ที่เป็นด่างจะเป็นไฮดรอกไซด์ของพวกโลหะอัลคาไล นอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมคลอไรด์

ก. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ [8]

สารประกอบซิงค์คลอไรด์นี้เป็นสารดูดความชื้นที่นิยมใช้เพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีความหนาแน่น 2.91 g/cm^3 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 136.28 มักอยู่ในรูปไฮเดรต ลักษณะสมบัติอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 2.2

ซิงค์คลอไรด์ที่นิยมใช้ส่วนมากอยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ใช้ คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบที่แห้ง 1 ส่วน อาจมีการเติมกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600-700°C แต่ก็เคยมีผู้ใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 400°C และอาจถึง 900°C ถ่านที่ได้ต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง เพื่อเอาซิงค์คลอไรด์ที่เหลือและสาร Basic zinc chloride ที่เกิดในปฏิกิริยาออกไป

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของซิงค์คลอไรด์

สมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น (g/cm^3)	2.91
จุดเดือด ณ ความดันบรรยากาศ (°C)	756
จุดหลอมเหลว ณ ความดันบรรยากาศ (°C)	275
ความร้อนในการหลอมเหลว (cal/mol)	5,540
ความร้อนในการระเหย (cal/mol)	28,700
ความจุความร้อน ณ อุณหภูมิ 25°C (cal/mol·°C)	18.3
ความสามารถในการละลาย ณ อุณหภูมิ 25°C (g/100 g H_2O)	432
ความสามารถในการละลาย ณ อุณหภูมิ 100°C (g/100 g H_2O)	614

ข. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริก

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์นี้อาจใช้กรดซัลฟิวริกแทนได้ แต่คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะน้อยกว่า ตัวอย่างการผลิตด้วยวิธีนี้ เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุหรือขี้เลื่อย กระบวนการกระตุ้นนี้เกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ควรนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800-900°C อีกประมาณ 2-8 ชั่วโมง ซึ่งจะเกิดการออกซิไดส์คาร์บอน กรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกและยังใช้เป็นสารช่วยในการกระตุ้นได้ เช่น หลังจากที่ผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะนำถ่านที่ได้ไปแช่ในกรดฟอสฟอริกเข้มข้น เพื่อช่วยให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดีขึ้น

ค. การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีที่มีสภาพเป็นด่าง การกระตุ้นต้องใช้กรดไฮโดรคลอริกช่วยในการทำให้มีสภาพเป็นกลาง การกระตุ้นคล้ายกับการใช้ซิงค์คลอไรด์โดยการกระตุ้นเพื่อช่วยให้ถ่านกัมมันต์มีการดูดซับที่ดี โดยระหว่างกรดกับเบสนั้นเบสจะให้พื้นที่ผิวดีกว่า ข้อดีของกระบวนการกระตุ้นทางเคมี คือ เกิดการแทรกซึมอย่างทั่วถึง ได้รูพรุนค่อนข้างใหญ่ และใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงมาก ข้อเสียของกระบวนการกระตุ้นทางเคมีคือจะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นซึ่งติดออกมาให้หมด ไม่ให้เหลือค้างอยู่เลย เพื่อความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน จึงนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงาน นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดที่ใช้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของภาชนะเหล่านั้นสั้น ใช้ได้ไม่นานเท่าที่ควร ดังนั้นการผลิตด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ภาชนะที่ผลิตด้วยวัสดุพิเศษที่ทนกรดหรือด่าง

ง. กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีผสม (เคมี-ฟิสิกส์) [6]

เป็นการแปรสภาพสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักให้เป็นถ่าน โดยวิธีคาร์โบไนเซชันอินทรียวัตถุกับเกลือของกรดอนินทรีย์ แล้วนำถ่านที่ได้นี้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ โพแทสเซียมคาร์บอเนต กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมซัลเฟต เป็นต้น สารอนินทรีย์ที่ผสมลงไปจะกระจายอยู่ทั่วไปในถ่าน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ตัวของมันเอง หรือเกิดการสลายตัวให้กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้นี้จะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนต่อไปอีก วิธีนี้มีข้อดีกว่าการกระตุ้นด้วยวิธีทางฟิสิกส์ คือ ตัวออกซิไดส์จะกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอทั้งภายในและภายนอกถ่าน สารเคมีที่นิยมใช้ คือ ไฮโดรเจนฟอสเฟต เป็นสารที่สามารถทำให้เซลลูโลสมีการพองตัวได้ดีกว่าซิงค์คลอไรด์ และยังเป็นตัวออกซิไดส์ด้วย ในขณะที่ซิงค์คลอไรด์ไม่มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ ดังนั้นซิงค์คลอไรด์จึงต้องผสมกับวัตถุดิบหรืออินทรีย์ก่อนการทำให้เป็นถ่าน ส่วนไฮโดรเจนฟอสเฟตอาจเติมก่อนหรือหลังการทำให้เป็นถ่านก็ได้

2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ [6, 7, 9]

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกได้โดยใช้หลักต่างๆ ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้งาน ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ได้แก่

2.2.2.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

ก. กระตุ้นทางเคมี เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวของคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ สารกระตุ้นที่ใช้ เช่น ซิงค์คลอไรด์

ข. กระตุ้นทางฟิสิกส์ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็กนิยมใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย

2.2.2.2 แบ่งตามขนาดของรูพรุน

ก. รูพรุนขนาดเล็ก เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1 nm มักนำไปใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

ข. รูพรุนขนาดกลาง เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1-100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์สำหรับดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. รูพรุนขนาดใหญ่ เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 nm โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่จะเป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับนั้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น

2.2.2.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

ก. ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ในภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำยางดิบหรือทำน้ำให้บริสุทธิ์

ข. ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2.2.2.4 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ ได้แก่

ก. สารที่ถูกดูดซับเป็นแก๊ส เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดแก๊สพิษ กลิ่นและไอของสารอินทรีย์

ข. สารที่ถูกดูดซับเป็นสี เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสี

ค. สารที่ถูกดูดซับเป็นโลหะ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการแยกพวกโลหะชนิดต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง เงิน และแพลทินัมออกจากแร่

2.2.2.5 แบ่งตามสภาวะที่ใช้

ก. ประเภทที่ดูดซับแก๊ส โดยมากมักถูกใช้ในการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ เช่น การนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ การแยกแก๊ส หรือการนำไปใส่ในก้นกรอง

ข. ประเภทที่ดูดซับของเหลว ถูกนำมาใช้กับงานฟอกสีและสารที่มีลักษณะเหลว

2.2.2.6 แบ่งตามรูปร่างและขนาดอนุภาค

ก. ประเภทเป็นผง มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดมาก ขนาดเล็กกว่า 100 μm โดยเฉลี่ยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-20 μm ด้วยเหตุนี้จึงมีพื้นที่ผิวภายนอกมาก ระยะทางการแพร่กระจายน้อย อัตราการดูดซับจึงมีมาก ซึ่งเตรียมได้จากขี้เลื่อย

ข. ประเภทเป็นเม็ด มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กแต่มีขนาดใหญ่กว่าประเภทเป็นผง ทำให้มีผิวภายนอกน้อยกว่า การแพร่ของตัวถูกดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ ส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น บิทูเมนและถ่านหินลิกไนต์

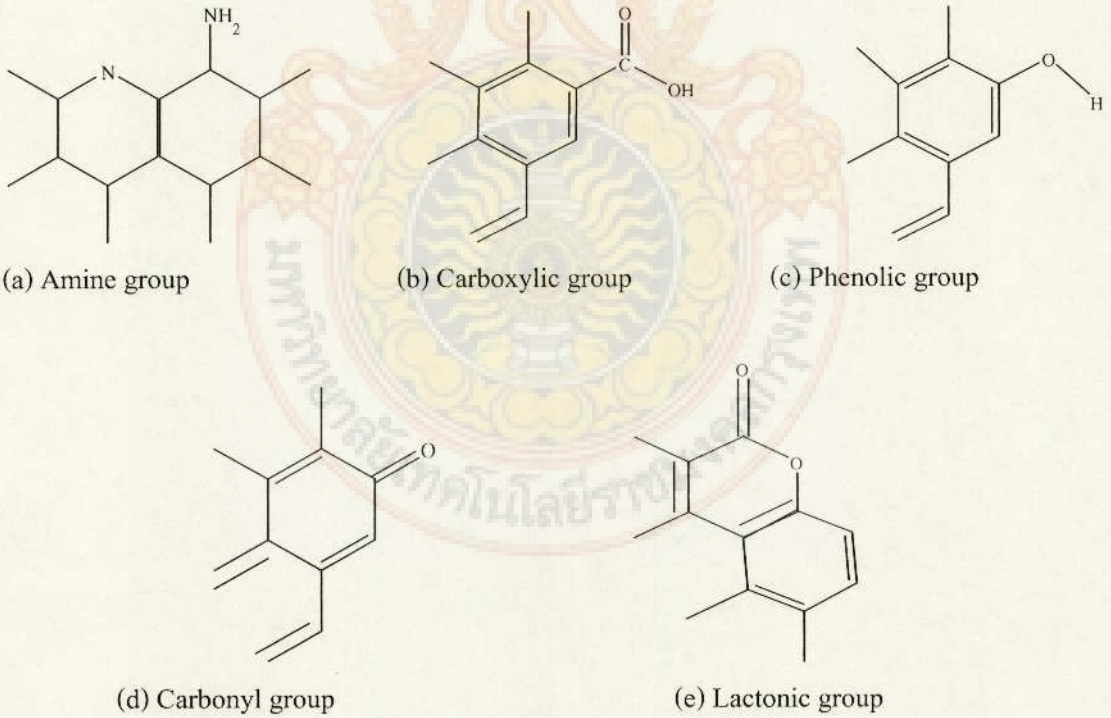
2.2.3 โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์ [9]

ลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์คล้ายกับแกรไฟต์ คือ แบบ Microcrystalline โดยที่แต่ละอะตอมของคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ แต่จะมีความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวต่ำกว่า และลักษณะโครงสร้างจะมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิต และสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากอะตอมคาร์บอนแล้วยังพบว่ามีอะตอมของธาตุอื่น เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และอาจมีคลอรีน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ที่สร้างพันธะเคมีกับคาร์บอนและมีความสำคัญกับสมบัติเฉพาะตัวของถ่านกัมมันต์ เช่น ลักษณะความเป็น

กรด-เบส ความมีขั้ว-ไม่มีขั้วซึ่งมีผลต่อสมบัติการดูดซับด้วย อะตอมของธาตุอื่นๆ เหล่านี้จะเรียกว่า หมู่หน้าที่ บนผิวถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะมีหลายๆ หมู่หน้าที่ที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปผิวของถ่านกัมมันต์เกิดเป็นหมู่หน้าที่ชนิดต่างๆ จะเกิดระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับออกซิเจนที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ มีอยู่ 2 ชนิด คือ

ก. ชนิดที่เป็นกรด มักจะเกิดในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอุณหภูมิไม่สูงมากนักประมาณ 400-500°C หมู่หน้าที่ที่เกาะอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์นี้จะมีสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาร์บอนิล ฟีนอลิก แลคโตนิก และคีโตน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์แบบนี้ค่อนข้างเสถียรแม้จะอยู่ในสุญญากาศ โดยทั่วไปจะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 200°C เล็กน้อย จะมีการสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำหลุดออกไป และถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้มากๆ จะเกิดการสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน

ข. ชนิดที่เป็นด่าง มักจะเกิดในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 800-900°C หมู่หน้าที่ที่อยู่บนผิวถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนต เป็นต้น



(a) Amine group (b) Carboxylic group (c) Phenolic group

(d) Carbonyl group (e) Lactonic group

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างหมู่หน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 2.3 สมบัติของหมู่หน้าที่

หมู่หน้าที่	สมบัติ	ลักษณะ
Carboxylic group	สภาพขั้ว	มีขั้ว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์
	ความเป็นกรด-เบส	มีความเป็นกรด
	จุดเดือด	จุดเดือดสูง
Phenolic group	สภาพขั้ว	มีขั้ว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์
	ความเป็นกรด-เบส	มีความเป็นกรด
	จุดเดือด	จุดเดือดสูง
Lactonic group	สภาพขั้ว	มีขั้ว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์
	ความเป็นกรด-เบส	มีความเป็นกรด
	จุดเดือด	จุดเดือดต่ำ
Carbonyl group	สภาพขั้ว	มีขั้ว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์
	ความเป็นกรด-เบส	มีความเป็นกรด
	จุดเดือด	จุดเดือดสูง
Amine group	สภาพขั้ว	มีขั้ว
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	พันธะไฮโดรเจนแรงแวนเดอร์วาลส์
	ความเป็นกรด-เบส	มีความเป็นกรด
	จุดเดือด	จุดเดือดสูง

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ พบว่ามีผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการทดลองไว้ก่อนหน้านี้ ได้แก่

เกศรา นุตาลัย และคณะ [11] ได้ทำการทดลองนำพืชที่ผ่านเร่งขนาด 60 เมซ มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังสุก (แป้ง 15 g ในน้ำ 390 mL) โดยใช้น้ำหนักแป้งร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินพรุแห้งอัดให้เป็นเม็ด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C นำไปคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 500°C จากนั้นนำไปกระตุ้นในเตาเผาแบบหมุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด 10 cm. และยาว 35 cm. ที่อุณหภูมิ 800

และ 900°C แปรเวลาที่ 1, 2, 3, และ 4 ชั่วโมง ผ่านความดันไอน้ำ 20 lb/in^2 พบว่าที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าไอโอดีน 1,200 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู296 mg/g พื้นที่ผิว 881 m^2/g และผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็นร้อยละ 8

นเรศ จันทร์เทียน และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกะลาตาลโตนดมาผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด และใช้ซิงค์คลอไรด์ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด ทดลองโดยทำการคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขนาดอนุภาค 2-5 mm. กระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยวดยิ่งในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลส เบอร์ 316 หนา 4 mm. เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm. สูง 50 cm. ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 0.2 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 mg/g ส่วนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทดลองโดยคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเครื่องคาร์โบไนเซอร์ ที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาคัดขนาด 2-5 mm. แล้วแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 50 โดยใช้ถ่าน 3 g ต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ 9 mL นำไปกระตุ้นในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 362-376 mg/g ค่าการดูดซับไอโอดีน 1088-1117 mg/g

นิชชรี นิลนนท์ [7] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์โบไนซ์ คือ อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 60 นาที ขนาดอนุภาค 0.6-1.2 mm โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราไหล 5 L/min ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 675 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 254 mg/g ค่าความหนาแน่น 0.32 g/cm^3 และพื้นที่ผิว 640 m^2/g

บุญชัย ตระกูลมหชัย [13] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดด้วยวิธีทางฟิสิกส์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้ถ่านกะลาตาลโตนดคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ขนาดอนุภาค 1.19-1.68 mm กระตุ้นด้วยแก๊สผสมที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลกับไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ที่มีความเร็ว 6.44 m/s ในฟลูอิไดซ์เบด พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ พื้นที่ผิว 1,800-1,900 m^2/g ค่าไอโอดีน 1,000-1,300 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 250-350 mg/g ค่าเถ้าร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ 30-40

ภัทรา ปัญญาวัฒนกิจ [14] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ คือ อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกะลาปาล์มที่ได้มี

สมบัติดังนี้ คือ ผลได้ร้อยละ 32 ปริมาณเถ้าร้อยละ 6 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 28 และปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 64 ส่วนสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้น คือ อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ถ่านขนาด 0.36-0.85 mm ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ผลได้ร้อยละ 19 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.53 g/cm^3 ค่าการดูดซับไอโอดีน 779 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 137 mg/g พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด 670 m^2/g มีประสิทธิภาพในการดูดซับอยู่ในช่วง 147±0 และ117±6 mg/g ของการดูดซับไดโครเมตไอออน ณ สารละลาย pH = 1 และ pH = 2

วราวุฒิ ประชาศิริกุล [15] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์โบไนซ์ คือ อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 60 นาที อัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.2 L/min ขนาดอนุภาคของถ่าน 1.2-2.4 mm ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 411 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 175 mg/g ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.52 g/cm^3 และพื้นที่ผิว BET 476 m^2/g

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม [16] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ คือ อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ พื้นที่ผิว 421 m^2/g ปริมาณการดูดซับของเหลวโทลูอีนและไอระเหยโทลูอีนร้อยละ 12 และ 8 โดยน้ำหนัก ส่วนสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ พื้นที่ผิว 347 m^2/g ปริมาณการดูดซับของเหลวโทลูอีนร้อยละ 26 และ 52 โดยน้ำหนัก จากการทดลอง พบว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณการดูดซับไอระเหยโทลูอีนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ

อรนุช ขาวเมืองน้อย และศุภสิทธิ กิตชัย [17] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการคาร์โบไนซ์ และกระตุ้นด้วยไอน้ำยิ่งยวดในเบดนิ่ง โดยทำการคาร์โบไนซ์ในช่วงอุณหภูมิ 400-500°C เป็นเวลา 5-11 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์โบไนซ์ คือ อุณหภูมิเบด 400°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านกะลาร้อยละ 47 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 68 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 25 และ ปริมาณเถ้าร้อยละ 7

อุไรวรรณ ธรรมรัตนพคุณ [18] ได้ทำการทดลองคาร์บอไนซ์กะลามะพร้าวในถังน้ำมันขนาด 200 L แล้วนำมากระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเตาเผาแบบหมุน ที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ปลายแต่ละด้านปิดด้วยตะแกรงเพื่อป้องกันไม่ให้ถ่านหลุดออกไป ท่อหมุนในแนวนอนด้วยอัตรา 4 รอบต่อนาที สภาวะที่ใช้คือ ถ่านขนาด 4-10 เมช (2.00-4.76 mm) ครั้งละ 500 อุณหภูมิ 700-1,500°C แปรเวลาตั้งแต่ 30, 40, 45, 50, 55, 60, 90, 105, 110 และ 130

นาที จากผลการทดลอง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1,540 mg/g ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 5-371 mg/g ค่าความแข็ง 30-42 และความหนาแน่นปรากฏ 0.31-0.59 g/cm^3

Guzel, F [19] ได้ทำการศึกษาผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เป็นกรด โดยทำการดูดซับเมทธิลีนบลู และเมลามีน พบว่าที่อุณหภูมิ 298 K ผิวของถ่านกัมมันต์มีปริมาณของเมทธิลีนบลูมากกว่าเมลามีน ทั้งนี้เพราะว่าเมลามีนถูกผลักออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ ส่วนเมทธิลีนบลูถูกดึงเข้าสู่ผิวของถ่านกัมมันต์

Mohd Zobir Hussein และคณะ [20] ได้ทำการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกต้นปาล์ม โดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกระตุ้นเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีสมบัติเป็นเบส (pH=10) ส่วนการใช้ ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวร่วมในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติเป็นกรด (pH ประมาณ 6.6) จากการศึกษาพบว่าการใช้ความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ในช่วงร้อยละ 0-10 จะทำให้ได้รูพรุนขนาดเล็ก และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิงค์คลอไรด์ขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนขนาดเล็กไปเป็นรูพรุนขนาดกลาง จากการทดลองพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกต้นปาล์ม เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากกว่า 2,000 m^2/g

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. กรวยกรอง (Glass funnel)
2. กระดาษกรอง (Whatman filter paper) เบอร์ 2
3. กระดาษลิตมัส
4. ขวดปรับปริมาตร (Volumetic flask) ขนาด 1,000 mL
5. ขวดน้ำกลั่น (Inject bottle)
6. ขวดรูปชมพู่ (Conical flask) ขนาด 250 mL
7. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
8. เครื่องชั่ง (Balance)
9. ช้อนตักสาร (Spoon)
10. เดซิกเคเตอร์ (Desiccators)
11. เตาอบ (Oven)
12. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
13. เตาเผา (Furnace)
14. ถ้วยทนความร้อน (Crucible) ขนาด 50 mL
15. แท่งแก้ว (Stirrer)
16. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100, 400, 600 และ1000 mL
17. หลอดหยด (Dropper)
18. อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

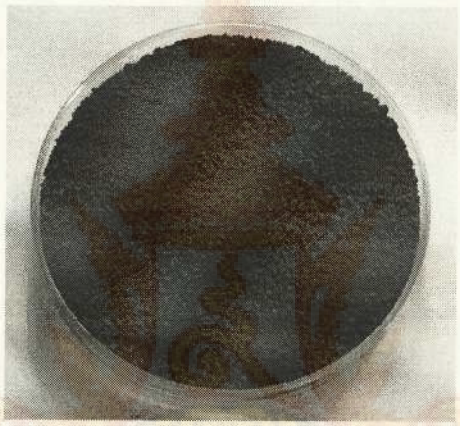
3.1.2 วัสดุและสารเคมี ประกอบด้วย

1. กากกาแฟจากบริษัทชาร่าลี คอฟฟี แอนด์ ที (รูปที่ 3.1) — ขนาด
2. ซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride, $ZnCl_2$) Fluka
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) UNIVAR

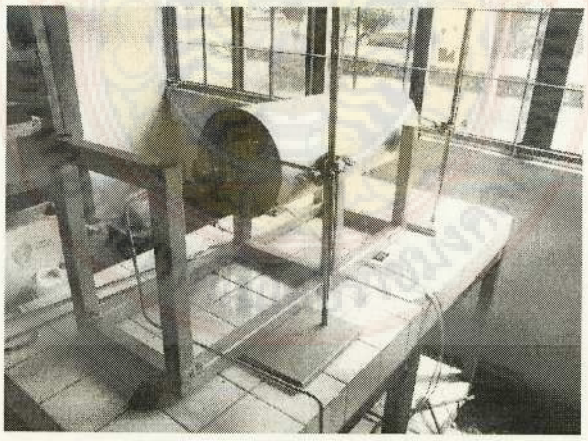
4. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl) UNIVAR

3.1.3 เครื่องมือทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์

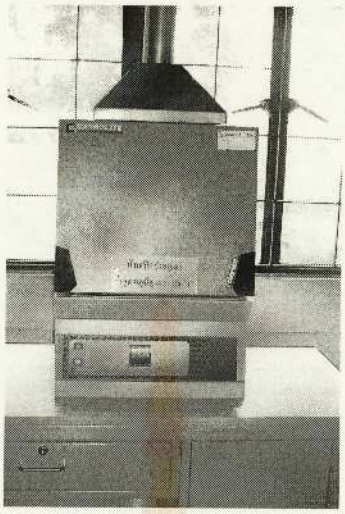
1. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. แผ่นให้ความร้อนพร้อมที่กวนด้วยแม่เหล็ก
3. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph)
4. ปั๊มสุญญากาศ
5. Chamber Furnace (Cabolite)
6. Tube Furnace (SL)



รูปที่ 3.1 ลักษณะของกากกาแฟ



รูปที่ 3.2 Tube Furnace



รูปที่ 3.3 Chamber Furnace

3.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

3.2.1 นำกากกาแฟไปคัดขนาดโดยผ่านตะแกรงคัดขนาด เบอร์ 8

3.2.2 นำกากกาแฟที่คัดขนาดแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

3.2.3 ชั่งกากกาแฟที่ผ่านการอบและคัดขนาดแล้วปริมาณ 50-70 กรัม ใส่ในถ้วยทนความร้อน และปิดฝา

3.2.4 เผากากกาแฟที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

3.2.5 ชั่งน้ำหนักถ่านหลังการเผาและเก็บในภาชนะที่ป้องกันความชื้นได้

3.2.6 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3.2.4 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 500 และ 600°C ตามลำดับ

3.2.7 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกากกาแฟที่ได้จากการคาร์โบไนซ์ทั้งหมด 9 ตัวอย่างโดยเครื่อง Gas sorption analyzer เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนต่อไป

3.2.8 เตรียมวัตถุดิบสำหรับการกระตุ้น หลังจากทราบภาวะที่เหมาะสมในการคาร์โบไนซ์แล้ว โดยคาร์โบไนซ์กากกาแฟที่ภาวะดังกล่าวให้เพียงพอสำหรับการกระตุ้น แล้วเก็บตัวอย่างที่ได้ในเดซิกเคเตอร์

3.2.9 นำถ่านกากกาแฟที่อบแห้งแล้วผสมกับ $ZnCl_2$ ในบีกเกอร์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักกากกาแฟและ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:0.5, 1:1 และ 1:1.5 กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที แล้วปิดให้สนิทด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นแช่ทิ้งไว้ 1 คืน

3.2.10 นำถ่านกากกาแฟที่ผ่านการแช่สารกระตุ้นแล้วแล้วใส่ลงใน Combustion boat ขนาด 11 cm. และใช้Tube furnace เป็นอุปกรณ์กระตุ้น โดยสร้างสภาวะ inert โดยใช้แก๊ส N_2 ควบคุมอุณหภูมิที่ 500°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นอย่างอิสระ

3.2.11 ล้างถ่านที่ได้ด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งน้ำที่ล้างถ่านมีสภาพเป็นกลาง (pH = 7) ทดสอบความเป็นกลางด้วยกระดาษลิตมัส

3.2.12 นำถ่านไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เวลา 8 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

3.2.13 ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.3.9 ถึงข้อ 3.3.12 และเปลี่ยนอุณหภูมิการกระตุ้นเป็น 600°C และ 700°C ตามลำดับ หลังจากขั้นตอนนี้จะได้ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จำนวน 9 ตัวอย่าง

3.2.14 ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3.3.9 ถึงข้อ 3.3.12 แต่เปลี่ยนสารกระตุ้นเป็น NaOH และ NaCl

3.3 วิธีการทดสอบสมบัติถ่านกัมมันต์

3.3.1 <u>วิเคราะห์ข้อมูลเชิงกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้</u>

โดยเครื่อง Gas sorption analyzer ยี่ห้อ Quantachrom รุ่น Autosorb-1C ที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 <u>วิเคราะห์โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้</u>

โดยกล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOLรุ่น JSM-6400 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 <u>วิเคราะห์หมู่หน้าที่ (Functional groups) ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้</u>

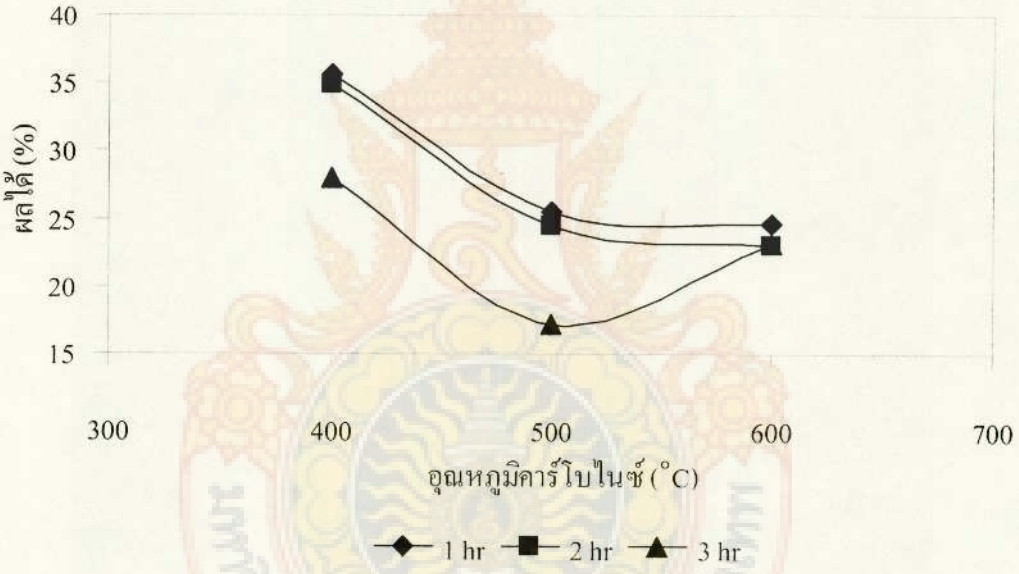
โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared, FT-IR) รุ่น 1670x ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

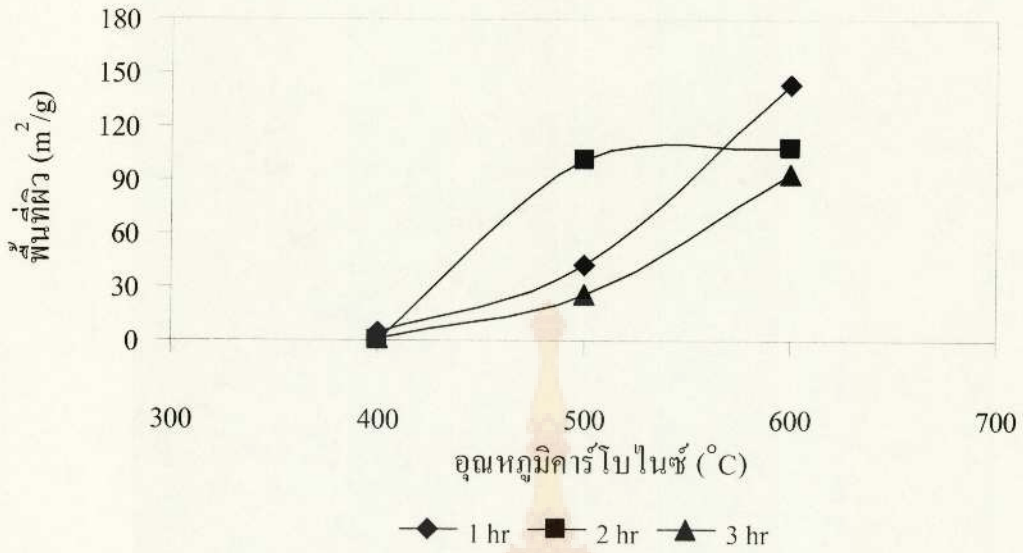
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิคาร์โบไนซ์ที่มีต่อผลได้ และพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟ

จากการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยมีขั้นตอนแรก คือ การคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำถ่านกากกาแฟที่ผ่านการคาร์โบไนซ์มาทดสอบสมบัติของถ่านเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น สามารถแสดงผลได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อผลได้ของถ่านกากกาแฟที่เวลาต่างๆ

จากการทดลองคาร์โบไนซ์กากกาแฟที่อุณหภูมิ 400 , 500 และ 600°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นผลได้ของถ่านกากกาแฟที่ผ่านการคาร์โบไนซ์แล้วมีแนวโน้มลดลง เช่น การคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600°C เป็นเวลา 1ชั่วโมง ผลได้ของถ่าน คือ 35.67, 25.51 และ 24.65% ตามลำดับ สำหรับที่อุณหภูมิและเวลาอื่นๆ ก็เป็นเดียวกันนี้ ยกเว้นที่การคาร์โบไนซ์ 600°C เวลา 3 ชั่วโมง เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของปริมาณถ่านกากกาแฟ



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟที่เวลาต่างๆ

จากการทดลองคาร์โบไนซ์จะได้ถ่านกากกาแฟที่สภาวะต่างๆ ซึ่งถ่านกากกาแฟที่ได้ทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น อุณหภูมิคาร์โบไนซ์ 400, 500 และ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟเท่ากับ 5, 43 และ 143 m^2/g ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ และเวลาการกระตุ้นอื่นก็เป็นเช่นเดียวกันนี้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวถ่านกากกาแฟ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองในขั้นตอน Carbonization นี้ถูกรวบรวมไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลได้ พื้นที่ผิว ความหนาแน่นจริง และความหนาแน่นปรากฏ ของถ่านจากกากกาแฟจากการคาร์โบไนเซชัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาคาร์โบไนซ์ (hr)	น้ำหนักกากกาแฟ (g)	น้ำหนักถ่าน (g)	ผลได้ (%)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ความหนาแน่นจริง (g/mL)	ความหนาแน่นปรากฏ (g/mL)
1	400	1	89.91	32.07	35.67	4.80	0.75	0.45
2		2	84.32	29.38	34.84	0.36	0.76	0.46
3		3	82.93	21.27	28.06	1.31	0.74	0.38
4	500	1	82.81	21.13	25.51	42.74	0.70	0.39
5		2	80.25	19.66	24.50	100.89	0.72	0.37
6		3	80.52	13.80	17.14	25.07	0.69	0.38
7	600	1	80.50	19.84	24.65	143.16	0.67	0.31
8		2	84.09	19.92	22.98	107.46	0.65	0.29
9		3	87.57	17.71	20.22	93.35	0.64	0.30

ดังนั้นในขั้นตอนการเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะเป็นถ่านกากกาแฟที่ได้จากกระบวนการ คาร์โบไนซ์ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งมีผลได้เท่ากับ 24.65% เนื่องจากพื้นที่ผิวของถ่านกากกาแฟที่ได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 143 m^2/g

เพื่อให้การจัดเรียงข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นไปอย่างมีระบบ สัญลักษณ์ต่างๆจึงถูกนำมาใช้เพื่อใช้เรียกแทนตัวอย่างถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

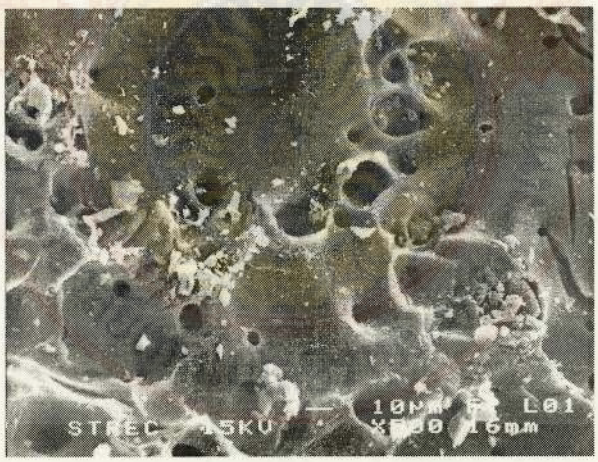
ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์แทนถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะ

ตัวอย่างที่	สารกระตุ้น	อุณหภูมิกระตุ้น (°C)	สัดส่วนโดยน้ำหนัก ถ่านกากกาแฟ:สารกระตุ้น	สัญลักษณ์
1	$ZnCl_2$	500	1:0.5	**0.5Zn500**
2	$ZnCl_2$	500	1:1	**1Zn500**
3	$ZnCl_2$	500	1:1.5	**1.5Zn500**
4	$ZnCl_2$	600	1:0.5	**0.5Zn600**
5	$ZnCl_2$	600	1:1	**1Zn600**
6	$ZnCl_2$	600	1:1.5	**1.5Zn600**
7	$ZnCl_2$	700	1:0.5	**0.5Zn700**
8	$ZnCl_2$	700	1:1	**1Zn700**
9	$ZnCl_2$	700	1:1.5	**1.5Zn700**
10	NaCl	500	1:0.5	**0.5NaCl500**
11	NaCl	500	1:1	**1NaCl500**
12	NaCl	500	1:1.5	**1.5NaCl500**
13	NaCl	600	1:0.5	**0.5NaCl600**
14	NaCl	600	1:1	**1NaCl600**
15	NaCl	600	1:1.5	**1.5NaCl600**
16	NaCl	700	1:0.5	**0.5NaCl700**
17	NaCl	700	1:1	**1NaCl700**
18	NaCl	700	1:1.5	**1.5NaCl700**
19	NaOH	500	1:0.5	**0.5NaOH500**
20	NaOH	500	1:1	**1NaOH500**
21	NaOH	500	1:1.5	**1.5NaOH500**
22	NaOH	600	1:0.5	**0.5NaOH600**
23	NaOH	600	1:1	**1NaOH600**
24	NaOH	600	1:1.5	**1.5NaOH600**
25	NaOH	700	1:0.5	**0.5NaOH700**
26	NaOH	700	1:1	**1NaOH700**
27	NaOH	700	1:1.5	**1.5NaOH700**

4.2 ผลจากเครื่อง SEM

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 ถูกนำวิเคราะห์ด้วยเครื่อง กล้องจุลทรรศน์อีเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ซึ่งจะสามารถแสดงโครงสร้างพื้นผิวของถ่านที่เกิดขึ้น รวมทั้งยังสามารถใช้ในการอธิบายความรุนแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างถ่านกากกาแฟและสารกระตุ้นได้ ซึ่งผลจากขยายภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า สามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้

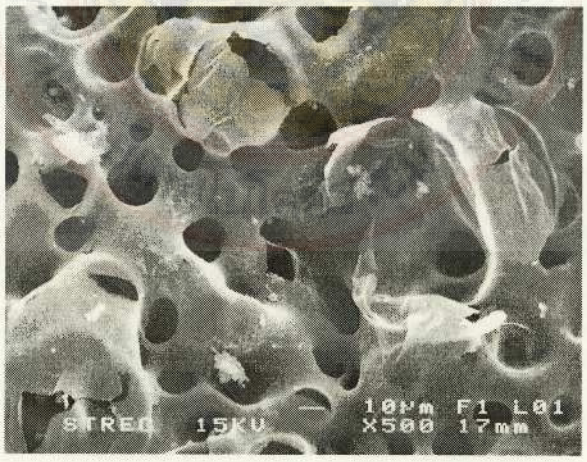
รูปที่ 4.3 SEM ของ **0.5Zn500**



รูปที่ 4.4 SEM ของ **1Zn500**

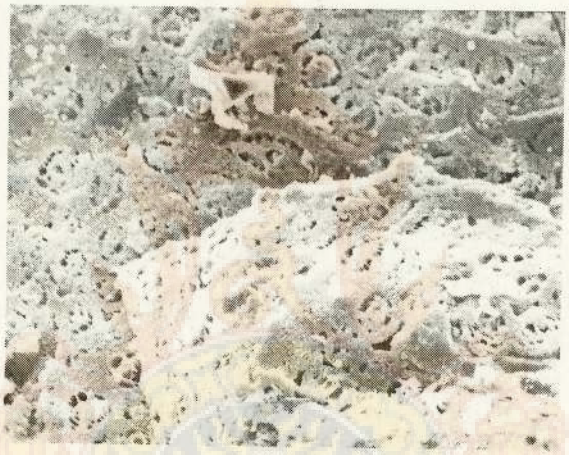
รูปที่ 4.5 SEM ของ **1.5Zn500**

รูปที่ 4.6 SEM ของ **0.5Zn600**



รูปที่ 4.7 SEM ของ **1Zn600**

รูปที่ 4.8 SEM ของ **1.5Zn600**



รูปที่ 4.9 SEM ของ **0.5Zn700**

รูปที่ 4.10 SEM ของ **1Zn700**

รูปที่ 4.11 SEM ของ **1.5Zn700**

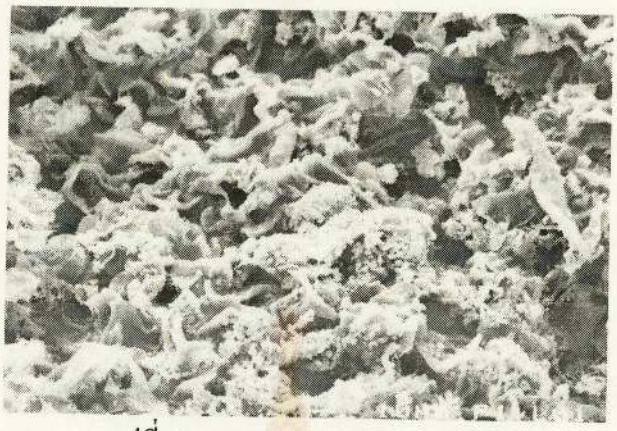
รูปที่ 4.12 SEM ของ **0.5NaCl500**

รูปที่ 4.13 SEM ของ **1NaCl500**

รูปที่ 4.14 SEM ของ **1.5NaCl500**

รูปที่ 4.15 SEM ของ **0.5NaCl600**

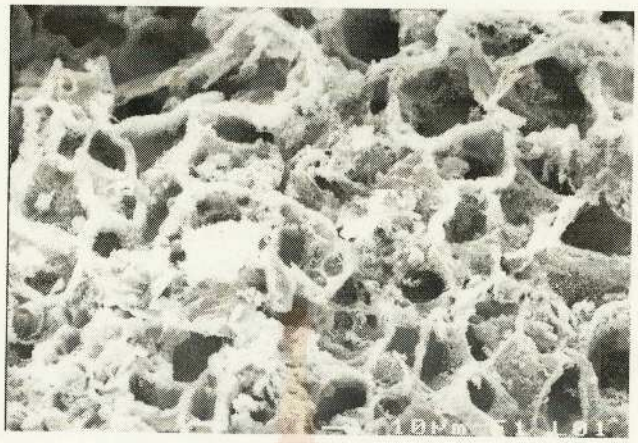
รูปที่ 4.16 SEM ของ **1NaCl600**



รูปที่ 4.17 SEM ของ **1.5NaCl600**

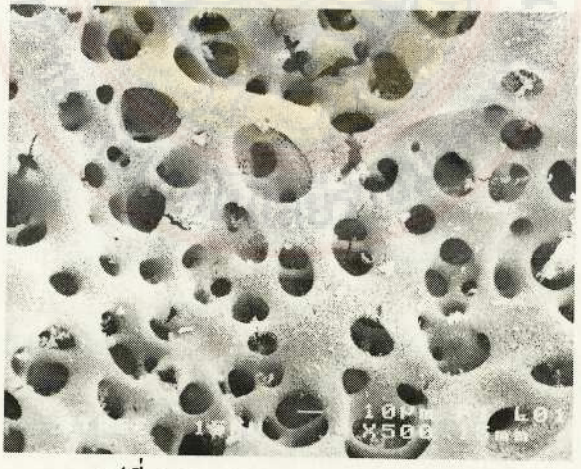
รูปที่ 4.18 SEM ของ **0.5NaCl700**

รูปที่ 4.19 SEM ของ **1NaCl700**

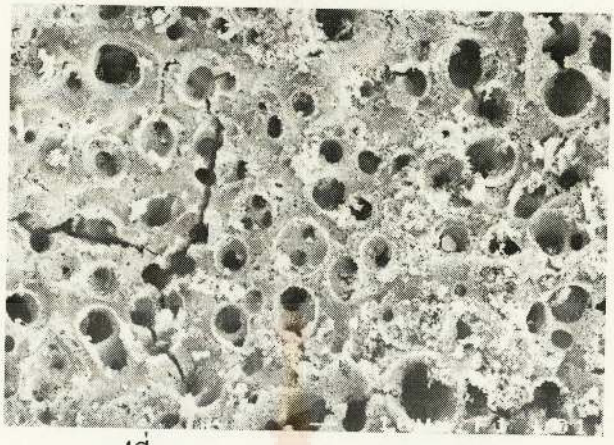


รูปที่ 4.20 SEM ของ **1.5NaCl700**

รูปที่ 4.21 SEM ของ **0.5NaOH500**



รูปที่ 4.22 SEM ของ **1NaOH500**



รูปที่ 4.23 SEM ของ **1.5NaOH500**

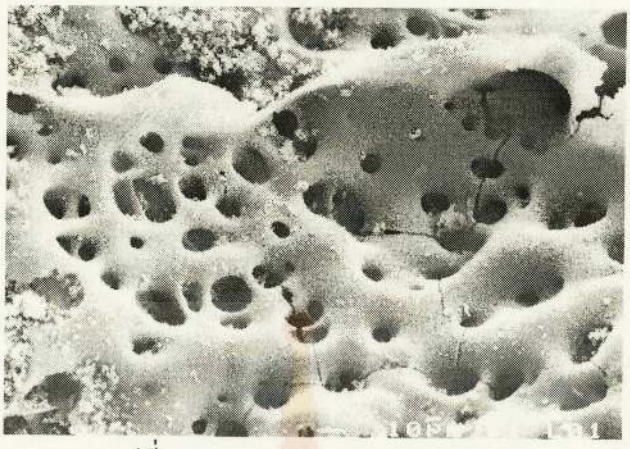
รูปที่ 4.24 SEM ของ **0.5NaOH600**

รูปที่ 4.25 SEM ของ **1NaOH600**

รูปที่ 4.26 SEM ของ **1.5NaOH600**

รูปที่ 4.27 SEM ของ **0.5NaOH700**

รูปที่ 4.28 SEM ของ **1NaOH700**



รูปที่ 4.29 SEM ของ **1.5NaOH700**

ผลจากการทดลองด้วยเครื่อง SEM แสดงให้เห็นผลกระทบของสารกระตุ้น ที่เกิดขึ้นกับผิวถ่านกากกาแฟ กล่าวคือสารกระตุ้น $ZnCl_2$ (รูปที่ 4.3-4.11) ส่งผลให้เกิดความพรุนอย่างมีระเบียบซึ่งแสดงอย่างเด่นชัดที่สภาวะการกระตุ้น 600°C และสัดส่วนสารกระตุ้นที่ 1:1 (รูปที่ 4.7) ในขณะที่สารกระตุ้น NaOH ก็สามารถสร้างรูพรุนบนผิวถ่านกัมมันต์ ได้อย่างเป็นระเบียบเช่นกันในหลายๆ ตัวอย่าง เช่น รูปที่ 4.23, 4.24 หรือ 4.29 เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าสารกระตุ้นทั้งสองชนิดนี้ สร้างผลกระทบอย่างรุนแรงต่อผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ้าวิเคราะห์เชิงสมบัติทางเคมี จะพบว่าทั้ง $ZnCl_2$ และ NaOH เป็นกรดแก่ และเบสแก่ ตามลำดับ ในขณะที่การใช้เกลือโลหะ NaCl สร้างผลกระทบต่อผิวถ่านกัมมันต์ได้น้อย สังเกตได้จากผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl จะมีความแตกต่างกับผิวถ่านกากกาแฟก่อนการกระตุ้นเพียงเล็กน้อย และรูพรุนที่เกิดขึ้นก็มีความลึกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.3 ผลจากเครื่อง Gas Sorption Analyzer

เครื่อง Gas sorption analyzer ยี่ห้อ Quantachrom รุ่น Autosorb-1C ถูกนำมาใช้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้แต่ละตัวอย่าง ซึ่งอาศัยหลักการดูดซับแก๊ส N_2 ที่สภาวะอุณหภูมิ 77 K ข้อมูลการดูดซับและคายซับถูกบันทึกจำนวน 44 จุดและนำมาพลอตกับสมการของ BET เพื่อคำนวนปริมาณพื้นที่ผิว และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่าน ข้อมูลจากการกระตุ้นถ่านทั้ง 27 ตัวอย่างถูกรวบรวมไว้ในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางกายภาพของถ่านกัมมันต์แต่ละสภาวะการผลิต

สภาวะการกระตุ้น		NaCl		$ZnCl_2$		NaOH	
อุณหภูมิ (°C)	สัดส่วนโดยน้ำหนักถ่านกากกาแฟ: สารกระตุ้น	S (m^2/g)	$\overline{D}$ (nm)	S (m^2/g)	$\overline{D}$ (nm)	S (m^2/g)	$\overline{D}$ (nm)
500	1:0.5	123	1.37	587	3.00	244	2.71
500	1:1	166	1.35	751	2.90	259	2.94
500	1:1.5	153	1.40	686	2.95	254	2.41
600	1:0.5	187	1.37	713	3.02	322	2.53
600	1:1	317	1.35	914	2.98	165	2.88
600	1:1.5	264	1.35	858	3.21	254	2.43
700	1:0.5	206	1.51	676	3.40	305	2.56
700	1:1	280	1.35	850	3.26	281	2.47
700	1:1.5	265	1.51	671	3.33	209	2.50

หมายเหตุ

S คือพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (m^2/g)

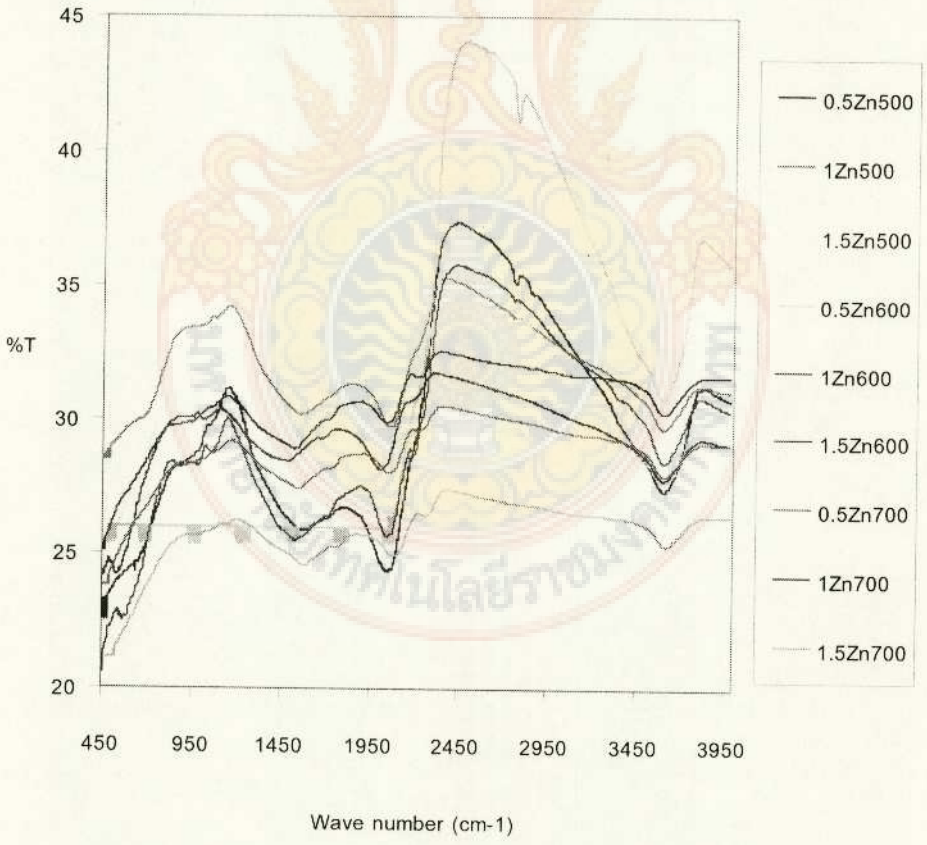
$\overline{D}$ คือ ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ (nm)

ในการกระตุ้น ซึ่งใช้ NaCl และ $ZnCl_2$ เป็นสารกระตุ้น พบว่าสารกระตุ้นทั้ง 2 ชนิดส่งผลให้ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เกิดขึ้นมีค่าพื้นที่ผิวสูงที่สุด ณ สภาวะเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิ 600°C และสัดส่วนของสารกระตุ้นเป็น 1:1 อย่างไรก็ดีมีข้อสังเกตที่น่าสนใจสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวตามสัดส่วนของสารกระตุ้นที่เปลี่ยนไป พบว่า ในทุกๆ สภาวะที่ทำการกระตุ้น พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารกระตุ้นจาก 1:0.5 เป็น 1:1 และเมื่อเพิ่มขึ้นเป็น 1:1.5 ปริมาณพื้นที่ผิวกลับลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสารกระตุ้น NaCl ทำให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์อยู่ในช่วงของ Micropore คือ 1.35-1.51 nm ในขณะที่ $ZnCl_2$ ทำให้รูพรุนอยู่ในช่วง Mesopore คือ 2.90-3.4 nm ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดโมเลกุลของสารกระตุ้นอย่างมีนัย อย่างไรก็ดีเมื่อนำ NaOH มาเป็นสารกระตุ้น พบว่าปริมาณพื้นที่ผิวเกิดขึ้นน้อย และใกล้เคียงกับการใช้ NaCl กล่าวคือพบปริมาณพื้นที่ผิวสูงสุดที่ 322 m^2/g ที่สภาวะ อุณหภูมิ 600°C และสัดส่วนของสารกระตุ้นเป็น 1:0.5 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ภาพจากเครื่อง SEM จะแสดงรูพรุนที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบ จากการกระตุ้น

ด้วย NaOH แต่ปริมาณของพื้นที่ผิวที่น้อยนั้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการกระตุ้นนั้นจะเกิดขึ้นเฉพาะที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เท่านั้น ขณะที่โครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์นั้น โมเลกุลของ NaOH ไม่สามารถทะลุทะลวงเพื่อทำปฏิกิริยาได้ การใช้เวลาในการแช่ถ่าน (Soaking time) ที่นานมากขึ้นอาจจะช่วยให้ปริมาณพื้นที่ผิวที่ผลิตจาก NaOH มีค่ามากขึ้นได้ นอกจากนี้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก NaOH นี้จะมีค่ารูพรุนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2.41-2.94 nm ซึ่งเป็นรูพรุนในช่วง Mesopore แต่จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ เล็กน้อย

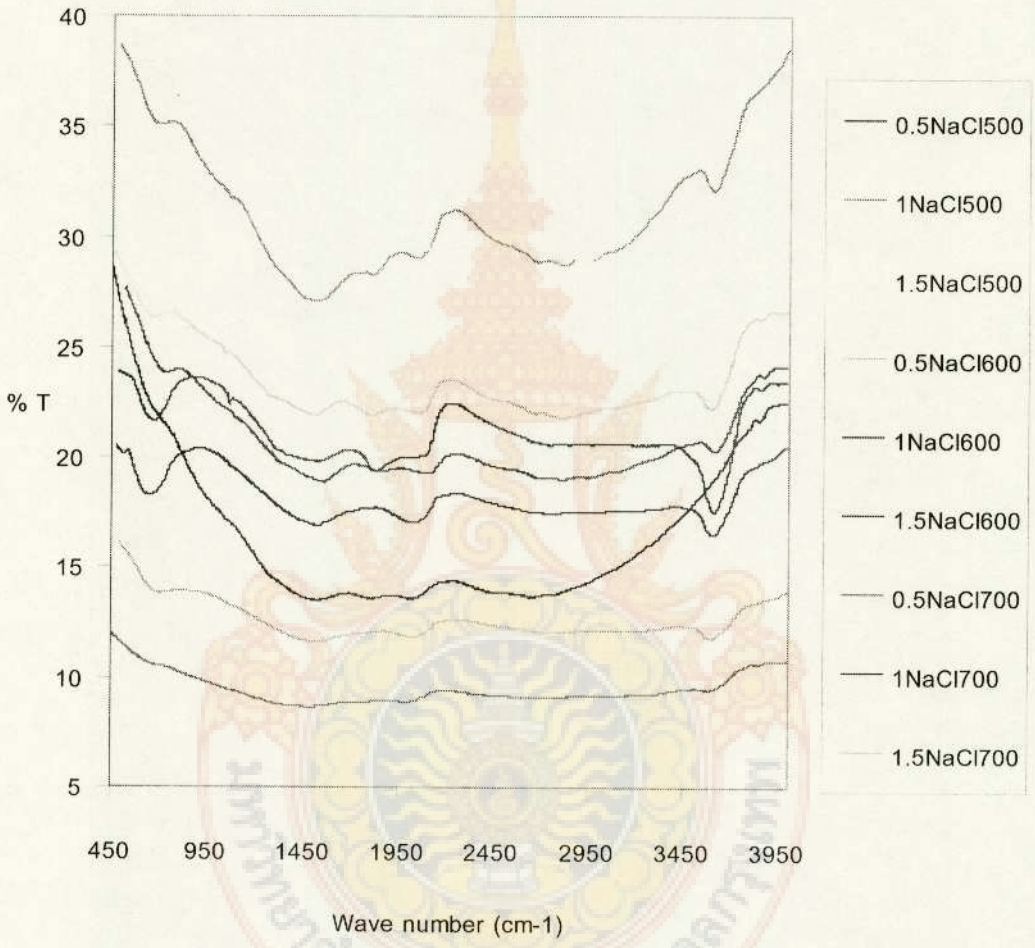
4.4 ผลจากเครื่อง Fourier transforms infrared

เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared, FT-IR) รุ่น 1670x ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หมู่ทำหน้าที่ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิด ข้อมูลที่ได้จากส่วนนี้ถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประเมิน Affinity ของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อสารถูกดูดซับชนิดต่างๆ ซึ่งจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นดังรูปต่อไปนี้



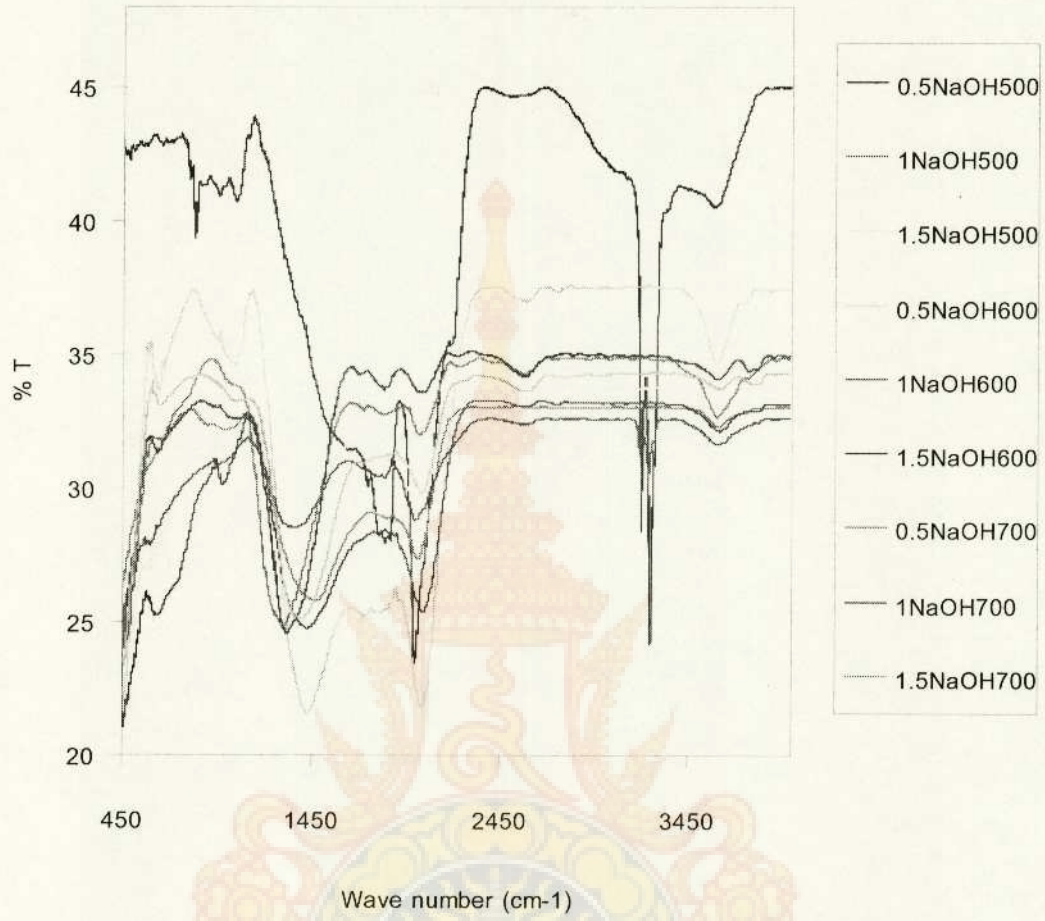
รูปที่ 4.30 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

จากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$จะปรากฏหมู่ทำหน้าที่ของไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,440 cm^{-1} พบหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ 1600 cm^{-1} และแขนของ –C-O-C- ที่ 1070-1275 cm^{-1} ซึ่งถ้าจะพิจารณาในเชิงปริมาตรแล้ว จะพบว่าถ่านที่ถูกเตรียม ณ อุณหูมิสูง (700°C) จะมีปริมาณหมู่ทำหน้าที่เหลืออยู่มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (500°C) ซึ่งจะสังเกตได้จากค่า %T จะมีค่าน้อย หรือแสงผ่านได้น้อยนั้นเอง



รูปที่ 4.31 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย NaCl

ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย NaCl จะปรากฏหมู่ทำหน้าที่เพียงเล็กน้อยเนื่องจากผลของความไม่รุนแรงในการทำปฏิกิริยาของ NaCl ต่อ คาร์บอน ได้แก่หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,400 cm^{-1} และหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ 1600 cm^{-1} ซึ่งพบในปริมาณต่ำมากๆ อย่างไรก็ดีแนวโน้มในเชิงปริมาณก็เป็นเช่นเดียวกับถ่านที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ คือ ณ อุณหูมิสูง (700°C) จะมีปริมาณหมู่ทำหน้าที่เหลืออยู่มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (500°C)



รูปที่ 4.32 FTIR สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย NaOH

ในส่วนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก NaOH จะพบว่า ตัวอย่างที่ 1 (0.5NaOH500) จะปรากฏ noise ของสัญญาณ IR เป็นจำนวนมาก บ่งบอกว่าสารกระตุ้นยังไม่ได้เริ่มทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องจากอุณหภูมิในการกระตุ้นอาจต่ำเกินไป อย่างไรก็ดีหมู่ทำหน้าที่ ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,400 cm^{-1} ก็ยังปรากฏในทุกๆ ตัวอย่าง และที่ 1560 cm^{-1} จะยังพบหมู่ COO-M ปรากฏอยู่ หมายถึงยังมีโลหะ Na ตกค้างอยู่ ซึ่งนั้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณพื้นที่ผิว ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก NaOH นี้ มีน้อย ซึ่งอาจต้องอาศัยการเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้นให้มากขึ้นกว่า 700^{o}C

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระบวนการคาร์โบไนซ์กากกาแฟที่เหมาะสมควรใช้อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะมีผลได้เท่ากับ 24.65% เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของกากกาแฟประกอบไปด้วยน้ำมัน และสารระเหยเป็นจำนวนมาก ในสภาวะดังกล่าวทำให้ได้ถ่านกากกาฟที่มีพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 143 m^2/g

5.1.2 หลังจากผ่านกระบวนการกระตุ้น เป็นถ่านกัมมันต์แล้วสามารถสรุปผลการวิจัยได้หลายแนวทางดังนี้

- โครงสร้างของรูพรุน

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก $ZnCl_2$ และ NaOH จะให้โครงสร้างรูพรุนที่มีความเป็นระเบียบและสม่ำเสมอมากกว่าเตรียมจากเกลือโลหะ NaCl ซึ่งสร้างผลกระทบต่อผิวถ่านกัมมันต์ได้น้อย

- พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก $ZnCl_2$ จะให้ปริมาณพื้นที่ผิวมากที่สุดที่ 914 m^2/g ที่สภาวะอุณหภูมิ 600°C สัดส่วน 1:1 ในขณะที่สารกระตุ้น NaCl และ NaOH ให้ปริมาณพื้นที่ผิวที่ใกล้เคียงกันคือ 300-330 m^2/g

- ขนาดของรูพรุน

ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามสารกระตุ้นที่ใช้ ซึ่งสามารถเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปขนาดเล็กได้ดังนี้ $ZnCl_2$> NaOH> NaCl

- หมู่ทำหน้าที่

ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$จะปรากฏหมู่ทำหน้าที่ของ ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,440 cm^{-1} พบหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ 1600 cm^{-1} และแขนของ –C-O-C- ที่ 1070-1275 cm^{-1}

ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย NaCl จะปรากฏหมู่ทำหน้าที่เพียงเล็กน้อยเนื่องจากผลของความไม่รุนแรงในการทำปฏิกิริยาของ NaCl ต่อ คาร์บอน ได้แก่หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,400 cm^{-1} และหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ 1600 cm^{-1} ซึ่งพบในปริมาณต่ำมากๆ

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก NaOH จะปรากฏหมู่ทำหน้าที่ ไฮดรอกซิล (O-H) ที่ 3,400 cm^{-1} และที่ 1560 cm^{-1} จะยังพบหมู่ COO-M ปรากฏอยู่ หมายถึงยังมีโลหะ Na ตกค้างอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณพื้นที่ผิว ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก NaOH นี้ มีน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรปรับอุณหภูมิการกระตุ้นสำหรับ NaOH ให้มากขึ้น ผลวิจัยอาจเปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น

5.2.2 ค้นหาแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์เพิ่มเติม โดยควรเพิ่มปริมาณผลได้ให้มากขึ้น

5.2.3 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟกับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม โดยจำลองตัวแปรควบคุมตามสภาวะการใช้งานจริง

บรรณานุกรม

1. บรรจง นวลพลัง, 2530, **กาแฟพืชเศรษฐกิจระหว่างประเทศ**, สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, สหมิตรออฟเซท, หน้า 8-10.

2. ไชยยันต์ ไชยยะ, 2542, **การพัฒนาออกแบบเม็ดดูดซับเซรามิกผลิตจากกากกาแฟ**, วิยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

3. เบญจมาศ กระจ่างฉาย, ปรีชา ตุ่นยา และเอื้อมพร ของดี, 2545, **การดูดซับโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์ในฟลูอิไดซ์เบด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

4. พลัฏฐ์ โสภณากิจโกศล, 2544, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ดูดซับโครเมียม (IV),** วิยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

5. วีระพงษ์ กริชพิพรรธ และสุกัญญา ศรีสถาพร, 2532, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวด้วยไอน้ำโดยฟลูอิไดเซชั่น**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

6. คณิต วุฒินะกิจ, ฉัตรชัย คงเดชอุดมกุล และฎาญิน มงคงขจรศิลป์, 2540, **การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกากเมล็ดกาแฟ,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

7. นิชชรี นิลนนท์, 2540, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดและคาร์บอนไดออกไซด์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

8. เฉลิม ซาวปิง, 2545, **การปรับปรุงพื้นที่ผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์โดยการออกซิเดชันเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับอะนีลีน สีย้อม และโลหะหนักโครเมียม**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

9. กฤติกา จารุทะวัย และวรรณนิภา อมาตยกุล, 2540, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและกระตุ้นด้วยไอน้ำ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

10. จักริน นิธีจันทร์, 2537, **การผลิตถ่านกัมมันต์ระดับขยายส่วนจากพีตโดยคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

11. นเรศ จันทร์เทียน, วัชรศักดิ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์ และวิทยา เจนจรัสโชติ, 2534, **การศึกษาความน่าจะเป็นในการนำเอาตาลโตนดมาทำเป็นถ่านกัมมันต์**, กรุงเทพฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. รติกร อิสระเสนีย์, 2539, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ใช้แล้วโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

13. วราวุฒิ ประชาศิริ, 2541, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

14. ศุภสิทธิ กิตชัย และอรนุช ขาวเมืองน้อย, 2538, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดในเบดนิ่ง**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

15. สุรางค์ รุกขอนันตกุล และอภิสิทธิ์ ปรีดาวรรณเลิศ, 2537, **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในฟลูอิไดซ์เบด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

16. สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, 2545, **การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ**, วารสารเพื่อการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ งานด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 1.

17. อุไรวรรณ ธรรมรัตรคุณ, 2523, **การทำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ**, งานวิจัยเพื่อบริการอุตสาหรรม กองวิจัย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

18. J.E.Atwater, J.R.Akse andT.-C. Wang, 2001, "Preparation of silicon-carbide-coated activated carbon using a high-temperature fluidized bed reactor", **Journal of Chemical Enginering Science,** [Electronic], Vol. 56, No. 8., pp. 2685-2693, Available : Science Direct [2006, January 15].

19. Juan F. Gonzalez, Jose M. Encinar andCanmen M. Gonzalez-Garcia, 2005, "Prepation of activated carbon from used tyres by gasification with steam and carbon dioxide", **Journal of applied surface science**, [Electronic], Available : Science Direct [2006, January 15].

20. Martin-Gullon, M.Asensio R.Font andA.Marcilla, 1999, "Steam-activated carbon from a bituminous coal in a continuous multistage fluidzed bed pilot plant", **Journal of carbon**, [Electronic], Vol. 34, No. 12., pp. 1515-1520. Available : Science Direct [2006, January 15].

21. เกศิณี สวงโท, ภัทรนันท์ ชัยชนะ และวสันต์ พาราทิพย์เจริญ, 2546, **การพัฒนาสารดูดความชื้นสังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล**, วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

22. ประวิทย์ ตันจงนาวิน, 2540, **เอกสารประกอบคำสอน 09-320-286 เคมีคะตะลิสต์**, แผนกเอกสารการพิมพ์, หน้า 33-34.

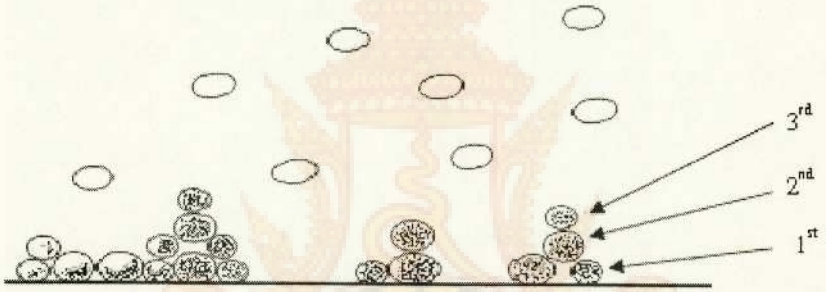
23. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, 2543, **"เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น"**, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 289-305.

24. แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, 2539, **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**, ชวนพิมพ์, หน้า 108-136.

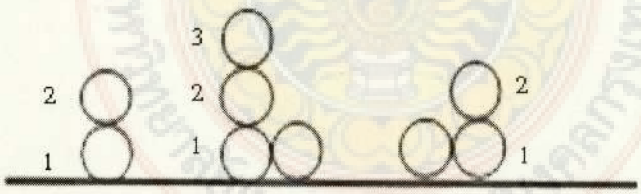
ภาคผนวก

A สมการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) [21]

ในปี 1983 Brunauer-Emmett-Teller ได้ศึกษากลไกของการดูดซับต่อจาก Langmuir ในส่วนที่เกี่ยวกับการจัดเรียงโมเลกุลของสารดูดซับในชั้นที่สูงกว่า ทั้งนี้เพราะก่อนหน้านั้นเขาได้หลักฐานจากการทดลองที่ยืนยันได้แน่ชัดว่า การดูดซับจะไม่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว แต่จะมีการดูดซับในชั้นที่สองและชั้นที่สูงกว่าติดตามมาด้วยเสมอ ตามแนวความคิดของ BET ถือว่าเมื่อระบบอยู่ในสมดุลที่ความดันย่อยในแต่ละฐานดูดซับบนพื้นที่ผิวจะมีโมเลกุลของสารถูกดูดซับจำนวนหนึ่งกลั่นตัวอยู่บนฐานดูดซับแต่ละฐานมากน้อยต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ A1 และ รูปที่ A2



รูปที่ A1 แบบจำลองการดูดซับโมเลกุลหลายชั้น



รูปที่ A2 The BET model for adsorption

จากข้อสมมติฐานทั้งหมดจะให้สมการดังต่อไปนี้ [22]

$$\frac{P}{V(P_{\circ} - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_{\circ}} \qquad \text{(A1)}$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับที่ความดัน P

V_m คือ ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับเพื่อเกิดเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer)

P_o คือ ความดันไออิ่มตัว (saturation pressure) ของแก๊สที่อุณหภูมิทดลอง

C คือ ค่าคงที่ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนของการดูดซับ และค่าความร้อนของการกลายเป็นของเหลวของแก๊ส

$$C = e^{(q_1 - q_L)/RT} \qquad (A2)$$

โดยที่ q_1 คือ ค่าความร้อนของการดูดซับของการเกิดชั้นแรก

q_L คือ ค่าความร้อนของการกลายเป็นของเหลวของแก๊สที่มาดูดซับบนชั้นอื่นๆ ทั้งหมด

ถ้า $q_1 > q_L$ จะสอดคล้องกับ adsorption isotherm ชนิดที่ 2 แต่ถ้า $q_1 < q_L$ จะสอดคล้องกับ adsorption isotherm ชนิดที่ 3

จากสมการ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $P/V(P_o-P)$ กับ P/P_o จะให้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (slope) เท่ากับ $(C-1)/V_mC$ และจุดตัด (intercept) เท่ากับ $1/V_mC$ จากค่าความชันและจุดตัดสามารถใช้หาค่า V_m และ C ได้ สมการของ BET สามารถใช้ได้ดีกับการดูดซับจำนวนมากที่มีค่า P/P_0 อยู่ระหว่าง 0.05 - 0.3 และช่วงนี้ปกติจะใช้สำหรับวัดค่าพื้นที่ผิว เมื่อค่า P/P_0 เพิ่มสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) และ pore condensation ทำให้เส้นกราฟไม่เป็นเส้นตรง สำหรับสารที่มีรูพรุนแคบมาก ตัวอย่างเช่น สารพวกซีโอไลต์ (Zeolite) ช่วงที่เป็นเส้นตรงที่ได้จากการพล็อตสมการของ BET จะเกิดที่ค่า P/P_o ต่ำมาก ประมาณ 0.01 หรือ น้อยกว่า

จากสมการ $V_m = 1/(S+I)$ เมื่อ S คือ ค่าความชันซึ่งมีค่าเท่ากับ $(C-1)/V_mC$ และ I คือ จุดตัด ที่มีค่าเท่ากับ $1/V_mC$

$$S+1 = \frac{1}{V_m C}[(C-1)+1] = \frac{1}{V_m} \qquad (A3)$$

ค่าพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จาก V_m ถ้ารู้พื้นที่โดยเฉลี่ยของโมเลกุลที่มาดูดซับ

inert vapor ใดๆ ก็ตามที่สามารถควบแน่นได้ สามารถใช้ในวิธีของ BET แต่เพื่อให้ได้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือ โมเลกุลควรจะเล็กและมีลักษณะเป็นทรงกลม จะใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นและใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวถูกดูดซับเนื่องจากมีราคาถูกและมีความบริสุทธิ์ ไนโตรเจนจะให้ลักษณะของ adsorption isotherm ชนิดที่ 2 บนผิวหน้าทั้งหมด

ความดันไอย่อยของของแก๊สไนโตรเจนจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 10 – 100 kPa เพื่อให้ได้ค่า P/P_{o} อยู่ในช่วง 0.05- 0.30

B การวิเคราะห์โครงสร้างโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) [23]

B1 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง

ในเครื่อง SEM ประกอบไปด้วนส่วนประกอบหลักๆที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source)

2. อิเล็กโทรแมกเนติกเลนส์ (Electro magnetic lens) หรือขดลวดทำหน้าที่ควบคุมการส่องกราดของลำอิเล็กตรอน

3. ปั๊มสุญญากาศและระบบควบคุมความดัน (Control pressure system)

4. ช่องใส่ตัวอย่าง (Specimen chamber)

5. ตัวตรวจวัดสัญญาณอิเล็กตรอน (Electron signal detector)

6. อุปกรณ์สร้างภาพ (Imaging devices)

B2 การเตรียมตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์และการศึกษาการใช้เครื่อง SEM เพื่อให้ได้ภาพที่ดีนั้น นอกจากจะขึ้นกับประสิทธิภาพหรือความสามารถของเครื่องแล้วยังขึ้นกับชนิดของตัวอย่างและเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาโดยเครื่องSEM มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

B3 ประเภทตัวอย่าง

เป็นวัสดุตัวอย่างหรือผงวัสดุตัวอย่างที่เป็นของแข็งความดันต่ำมากกว่า 1 หรือเท่ากับ 10^{-3} ทอร์

B4 ขนาด

ขนาดของตัวอย่างถูกจำกัดโดยขนาดของช่องใส่ตัวอย่าง และแท่นวางตัวอย่างของเครื่อง SEM ซึ่งแตกต่างกันแล้วแต่บริษัทและรุ่นที่ผลิต โดยในบางรุ่นอาจวางตัวอย่างขนาดใหญ่ได้ถึงประมาณ 15 ถึง 30cm อย่างไรก็ตามขอบเขตของการส่องกราดของลำอิเล็กตรอนจะจำกัดอยู่ในวงพื้นที่ไม่เกิน 4 ถึง 8cm

B5 การเตรียมตัวอย่าง

- การติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง

กรณีตัวอย่างเป็นชิ้นงานก่อนนำเข้าศึกษาในเครื่องต้องทำการตัดชิ้นงานเข้ากับก้านวางตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะ มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมมีก้านที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงเหมาะสมใส่ได้พอดีกับช่องว่างในฐาน วางตัวอย่างและใช้สารยึดติดตัวอย่างเข้ากับก้านวางตัวอย่าง วิธีการทำโดยการทาหรือติดสารยึดติดตัวอย่างลงบนแผ่นหน้าของก้านวางตัวอย่างและติด

ตัวอย่างด้านที่ไม่ต้องการศึกษาลงบนแผ่นหน้าก้านวางตัวอย่าง ทิ้งให้ติดสนิทหรือแห้งดีระยะหนึ่ง ในกรณีตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า ต้องนำตัวอย่างนั้นไปผ่านขั้นตอนการฉาบด้วยโลหะก่อนนำไปศึกษา

กรณีตัวอย่างเป็นผงมักใช้สารยึดติดตัวอย่างจำพวกที่เป็นเทปกาวสองหน้า ติดด้านบนของก้านวางตัวอย่างและโรยผงตัวอย่างให้กระจายลงบนด้านหน้าของก้านวาง จากนั้นใช้ลงยางเป่าลมและปัดฝุ่นและเศษของผงตัวอย่างที่ไม่ยึดติดบนก้านวาง จากนั้นจึงนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อทำการศึกษาต่อไป หรือทำการฉาบผิวด้วยโลหะ กรณีตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า

- การเคลือบ (Coating) ผิวชิ้นงาน

ในการเคลือบหรือฉาบผิวตัวอย่างนิยมใช้สารตัวนำไฟฟ้าจำพวกโลหะหนักที่โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น คาร์บอน ทอง และโลหะผสมทอง-พัลลาเดียม เป็นต้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติในการนำไฟฟ้าให้กับตัวอย่าง ทั้งนี้หลักการเบื้องต้นของการฉาบผิวคือ ต้องกระทำภายใต้ภาวะสุญญากาศและให้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้โลหะหนักเปลี่ยนสภาพจากแท่งโลหะมาเป็นโมเลกุล และตกลงบนผิวตัวอย่างในอัตราส่วนเดียวกัน ทำให้โลหะฉาบผิวตัวอย่างได้เป็นเนื้อเดียวกัน

C การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีโดยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) [24]

C1 หลักการของเครื่อง

ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer) ใช้วิธีวัดที่ต่างไปจากเครื่องมือสเปกโทรสโกปีทั่วไป คือ วัดความเข้มของแสงต่อความยาวคลื่น หรือ กำลังขยายที่ความยาวคลื่นต่างๆ กันอย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา เรียกว่า Time-domain Spectroscopy จากนั้น Time-domain spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น frequency-domain spectrum ด้วย fourier transform จากการใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ สิ่งที่สเปกตรัมทั้งสองแตกต่างกันจริงๆ ก็คือ frequency-domain spectrum เป็นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ กันทีละครั้ง ในช่วงระยะเวลาอันหนึ่งแต่ fourier transform spectrum ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ กันพร้อมกันหมด ดังนั้น fourier transform จึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น การแยก (resolution) ก็ดีขึ้น หรือป็นการทำให้ signal-to-noise ratio ดีวิธีธรรมดา เพราะการวัดด้วยเครื่องธรรมดาจะเป็นแบบวัดทีละความถี่ (sequentially) แต่ FT-IR วัดที่ความถี่ต่างๆ อย่างต่อเนื่อง (simultaneously) เรียกว่า Fellgetts advantage สามารถใช้ circular entrance aperture แทน entrance slit ได้ ทำให้กำลังแสงสูงขึ้นด้วย ทำให้การแยกดีขึ้น และการวิเคราะห์ง่ายและสะดวกด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน อย่างไรก็ดี เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์มีราคาแพงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงเนื่องจากต้องเก็บในห้องควบคุมความชื้นตลอดเวลา

C2 การเตรียมตัวอย่าง

การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยไม่มีผลของตัวทำละลายหรือสารอื่นๆ ผสมอยู่เกี่ยวข้อง นั่นคือมีแต่เฉพาะตัวอย่างเท่านั้น จำเป็นจะต้องทำให้สารตัวอย่างมีลักษณะบางมากๆ เป็นฟิล์ม ที่หนาประมาณ 0.01-0.1 mm เพื่อให้แสงผ่านได้ เทคนิคต่างๆ ที่เลือกใช้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของสารนั้นด้วย เทคนิคต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. ใช้วิธีอัดและรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ด้วยโลหะบนแผ่นโลหะเรียบ หรือแผ่นพลาสติก หรือบนแผ่นที่ฉาบด้วยพวกพอลิเมอร์ที่ทนความร้อน เมื่อนำสารตัวอย่างไปอัดและรีดจนได้แผ่นบางๆ หรืออาจให้ความร้อนในขณะอัดและรีดด้วยก็ได้ เทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารตัวอย่างที่เป็นพลาสติก ถ้าสารตัวอย่างไม่แข็งมากนัก อาจใช้ windows 2 แผ่น รีดสารตัวอย่างก็ได้ แต่จะต้องระวังการแตกของ windows ด้วย

2. ใช้วิธีหลอม ถ้าสารตัวอย่างมีมวลโมเลกุลต่ำ อาจหลอมเหลวได้ง่าย แล้วนำสารตัวอย่างที่หลอมเหลวเทลงไปบนแผ่นโลหะเรียบให้เป็นแผ่นบางๆ หรือเทลงไปในระหว่างแผ่น windows 2 แผ่นประกบกัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

3. ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นพวกชีวสาร พลาสติก หรือขี้ผึ้ง เป็นต้น อยู่ในรูปเป็นก้อน หรือเป็นแท่ง สามารถใช้ไมโครโทมตัดให้เป็นแผ่นบางๆ ได้

4. ใช้วิธีทำให้เป็นสารละลาย โดยให้สารตัวอย่างละลายในตัวทำละลายที่ระเหยง่ายๆ แล้นำสารละลายนั้นเทลงบนแผ่นกระจก หรือแผ่นโลหะที่ขัดมัน หรือแผ่นพลาสติก หลังจากตัวทำละลายระเหยออกไปแล้ว ใช้มีดตัดแผ่นฟิล์มออกมา ถ้าสารตัวอย่างนั้นไม่ละลายน้ำ ให้นำแผ่นฟิล์มจุ่มลงในน้ำหลังจากทำให้แห้งแล้วสังเกตเห็นว่าแผ่นฟิล์มตรงกลางจะบางกว่าที่ขอบ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสามารถแก้ไนได้โดยใช้สารละลายให้มีความเข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังคงมีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่อีกบ้างเล็กน้อย

5. ใช้ Mull technique วิธีนี้ได้รับความนิยมมากสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ใช้สารตัวอย่าง 2-3 mg บดให้ละเอียดด้วยโกร่งอะเกรต หรือ ball mill เล็กๆ แล้วหยด Nujol ลงไป 1-2 หยด แล้วบดต่อไปจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารตัวอย่างที่บดได้นี้ไปใส่ลงบน NaCl window หรือ window อย่างอื่นเพียงเล็กน้อย แล้วเอาอีกแผ่นประกบ ถูไปมาจนทั่วแผ่น นำไปใส่ใน sample holder เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

6. ใช้ KBr-pellet technique นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากอีกเทคนิคหนึ่ง โดยใช้สารพวกอัลคาไลเฮไลด์ เช่น KBr ที่เป็นของแข็งผสมกัสารตัวอย่าง บดให้เข้ากันในโกร่งอะเกต แล้วนำไปอัดจะได้สารเป็นแผ่นใส สามารถนำไปวิเคราะห์ได้เลย ส่วนวิธีทำKBr-pellet ใช้สารตัวอย่างประมาณ 2.0 mg ผสมกับ KBr 100-200 mg ในโกร่งอะเกรต หรือ Ball mill แล้วบดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ตามปกติการทำ KBr-pellet ควรให้มีสารตัวอย่างเข้มข้นประมาณ 0.1-2 % แต่ก็อาจจะเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ ขึ้นอยู่กับสารตัวอย่างนั้นดูดกลืนแสงอินฟาเรดได้ดีเพียงใด เมื่อบดดีแล้วนำไปใส่ในเครื่องอัดซึ่งเรียกว่า die หลังจากเปิดปั๊มดูดอากาศออกประมาณ 1 นาที จึงจะเริ่มอัดด้วยเครื่องอัด ซึ่งอาจเป็น hydraulic press อัดประมาณ 10 ตัน หลังจากลดความดันและปลดปั๊มออกจาก die แล้ว จึงนำตัวอย่างที่เป็น pellet ใสบางออกมาอย่างระมัดระวัง เพราะอาจแตกหรือหักได้ จากนั้นใส่ลงใน disc holder เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ประวัติคณะนักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ไชยยันต์ ไชยยะ
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Chaiyan Chaiya
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1202-00156-44-0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 7
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

   สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
   2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ
   รหัสไปรษณีย์ 10120 โทรศัพท์ 0 2287 9600 ต่อ 1201
   E-mail address chaiyan.c@rmutk.ac.th
5. ประวัติการศึกษา ปริญญาเอก Ph.D.
   สาขาวิชา Environmental Technology,
   Joint Graduate school of Energy and Environment
   (JGSEE), Thailand
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   Chemical Engineering, Activated carbon, Adsorption technology,
   Material science
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

   7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :

   - การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิไดเซชันไอน้ำ งปม.แผ่นดิน 2548
   - การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอีเล็กโทรสปินนิ่ง งปม.แผ่นดิน 2548
   - การแยกโลหะหนักออกจากสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้หอดูดซับแบบชั้นตรึง งปม.แผ่นดิน 2549
   - อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่หน้าที่และประสิทธิภาพในการดูดซับ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ งปม.แผ่นดิน 2550
   - การผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งกะโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ งปม.แผ่นดิน 2550
   - การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลออกไซด์แบบเส้นใยด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง สกว.

- การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ฟลูอิไดเซชันไอน้ำ งปม.แผ่นดิน 2551

- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ งปม.แผ่นดิน 2551

- อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่ทำหน้าที่และประสิทธิภาพในการดูดซับ ของ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดยางพารา งปม.แผ่นดิน 2552

- การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดเนื้อหมูโดยใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์ สนพ.2551

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1. Chaiya C., Synthesis of Silica Fiber with Sol-Gel Method by Electro-Spinning Technique, Proceedings of the 55th Canadian Chemical Engineering Conference, Metro Toronto Convention Centre, Ontario, Canada, 2005
2. ไชยยันต์ ไชยยะ ทวีวรรณ์ เกษอินทร์ และอลิษา ใจเอื้อ, การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ซิงค์คลอไรด์, 2548, การประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21, 28-30 มีนาคม 2548, โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ, จังหวัดเชียงใหม่
3. ไชยยันต์ ไชยยะ และ ภาวิณี สายอุดม, การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาโดยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง, งานประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, นาโนเทคโนโลยีและพลังงานกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี, 27-28 ตุลาคม 2548, มหาวิทยาลัยบูรพา, จังหวัดชลบุรี
4. ไชยยันต์ ไชยยะ และโสธิญา มุ้ยแก้ว, การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิไดเซชันไอน้ำ, งานประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 26-27 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ
5. Boonamnuayvitaya V., Chaiya C. and Jarudilokkul S., Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed cofee residues and clay, Separation and Purification Technology, 35, 11-22.
6. Boonamnuayvitaya V., Chaiya C. and Tanthapanichakoon W., The preparation and characterization of activated carbon from coffee residue, Journal of Chemical Engineering of Japan, 37, 1504-1512.
7. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2000. The Adsorption of Heavy Metal Ions with Adsorbent Comprised of Coffee Residue, Proceedings of the 1st Asian Particle Technology Symposium, Bangkok, Thailand, 66.
8. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Adsorption of Toluene Vapor under Humid Condition by Activated Carbon Produced from Coffee Residue, Proceedings

of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket, Thailand, 2 : 1079-1085.

9. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Adsorption of Toluene Vapor under Humid Condition by Activated Carbon produced from Coffee Residue, proceedings of the Regional Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers in the New Millennium, 22-25 July 2003, Le royal meridian hotel, Bangkok.
10. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Production and Characterization of Activated Carbon from Coffee Bean Residuals, Proceedings of the Materials Development and Particle Technology (MaDPart2003), The Center of the Excellence in Particle Technology, 14 Oct 2003, Mandarin hotel, Bangkok.
11. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Preparation of Activated Carbon from Coffee Residue : Characterization and Toluene Vapor Adsorption under Humidity, Proceedings of the 2nd Asian Particle Technology Symposium, Department of Chemical & Process Engineering, Universiti Kebangsaan, 16-19 Dec 2003, Penang, Malaysia.

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

- การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลออกไซด์แบบเส้นใยด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง สกว.ร้อยละ 95
- การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ฟลูอิไดเซชันไอน้ำ งปม.แผ่นดิน 2551 ร้อยละ 50
- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ งปม.แผ่นดิน 2551 ร้อยละ 50
- อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่ทำหน้าที่และประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดยางพารา งปม.แผ่นดิน 2552 ร้อยละ 50
- การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดเนื้อหมูโดยใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์ สนพ.2551 ร้อยละ 50

นักวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MISS WARAPORN TANAKULRUNGSANK

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1008 00092 33 7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์ 0 2287 9734
โทรสาร 0 2287 9734
e-mail: waraporn t@rmut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2536	เอก	D. Eng. Doctor of Engineering	Catalyst Engineering	Catalyst Engineering	Kyoto University	ญี่ปุ่น
2530	โท	วศ.ม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วิศวกรรมเคมี	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2521	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมีวิศวกรรม	เคมีวิศวกรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมตัวเร่งปฏิกิริยา

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย

—

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

7.2.1 การศึกษาการบำบัดมลพิษที่เกิดจากไอของสารประกอบซัลเฟอร์โดยใช้เทคนิค XPS และ DRIFT ด้วยปฏิกิริยาการใช้แสง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการเผาแบบเฟลมสเปรย์

7.2.2 การควบคุมโครงสร้างรูพรุนขนาดเมโซของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลออกไซด์

7.2.3 การสังเคราะห์พอลิ (เมทธิลเมทาคริเลต) ที่กราฟต์บนแป้งข้าวโพดโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1 การสังเคราะห์อนุภาคไทเทเนียขนาดนาโนเมตรด้วยเทคนิคการเผาแบบเฟลมสเปรย์ การประชุม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 27 – 23 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา อำเภอเมือง จังหวัดตรัง งบประมาณประจำปี 2550

2. การสังเคราะห์พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต) กราฟต์บนแป้งข้าวโพดโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ระหว่างวันที่ 29 – 30 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรม ดิเอมเพรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ งบประมาณประจำปี 2550

3. การควบคุมโครงสร้างรูพรุนขนาดเมโซของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลออกไซด์ งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2549

4. การแยกโลหะหนักออกจากสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้หอดูดซับแบบชั้นตรึง งบประมาณประจำปี 2549

5. การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจลเพื่อเคลือบบนเยื่อแผ่นอะลูมินาสำหรับสังเคราะห์สารประกอบโอเลฟิน งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 หัวหน้าโครงการ

6. การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย

7. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิไดเซชันไอน้ำ งบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย

8. การสร้างอีบูลิโอมิเตอร์วัดปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง งบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย

9. กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร งบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย

10. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลซิส โดยใช้ไทเทเนีย การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21 ระหว่างวันที่ 28 – 30 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ งบประมาณประจำปี 2546 (งบวัสดุฝึก) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
11. การปรับปรุงน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20 ระหว่างวันที่ 11 – 13 กุมภาพันธ์ 2547 ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก งบประมาณประจำปี 2545 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
12. การผลิตถ่านอัดก้อนจากผงถ่านแอนทราไซต์และวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20 ระหว่างวันที่ 11 – 13 กุมภาพันธ์ 2547 ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก งบประมาณประจำปี 2545 (งบวัสดุฝึก) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
13. การศึกษาสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์. 2543 รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 17. 3, 740-752 โครงการวิจัยและพัฒนาหน้ากากป้องกันสารพิษทางทหาร งบประมาณประจำปี 2541 กองทัพอากาศ กระทรวงกลาโหม
14. The influence of base type on the characterization of a nickel oxide catalyst formed by a sol-gel technique, 2005, Proceeding of the International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering (ICRAMME 05), May 30-31, 2005, Kuala Lumpur, Malaysia, Paper No. 57.
15. Modification of Crude Palm Oil to Diesel Engine Fuel, 29th Congress on Science and Technology of Thailand, October 20-22, 2003, Khon Kean, Thailand, SI-3 งบประมาณประจำปี 2545 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
16. The effect of silica added on large surface area of nanocrystalline titania", Proceeding of the 10th International Ceramics Congress: Part B, Section D Sintering Science and Technology, Florence, Italy, July 2002, p.101-108 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
17. Phase transformation behavior of nanocrystalline χ-alumina powder obtained by thermal decomposition of AIP in inert organic solvent, 2004, *Journal of Materials Science* 39 (10): 2417-2421 ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
18. Synthesis of thermally stable micro spherical χ-alumina by thermal decomposition of aluminum isopropoxide in mineral oil, 2003, *Inorganic Chemistry Communication* 6: 930-934 ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

19. The influence of Si-O-Zr bonds on the crystal-growth inhibition of zirconia prepared by the glycothermal method, 2003, *Journal of Material processing Technology* 136: 186-189 ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
20. Critical nanoparticle size for thermal stability, 2003, *Journal of Materials Science Letters*, 22: 1587-1589 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
21. Synthesis of thermally stable micro spherical chi-alumina by thermal decomposition of aluminum isopropoxide in mineral oil, 2003, *Inor. Chem. Comm.*, 6 930-934, ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
22. Effect of crystallite size and calcination temperature on the thermal stability of single nanocrystalline chromium oxide: expressed by novel correlation, 2003, *Materials Research Innovation*, 7, 118-123 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
23. New correlation for the effects of the crystallite size and calcination temperature on the single iron oxide nano-crystallites, 2003, *Crystal Growth & Design*, 2 (3), 215-210 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
24. Synthesis of large-surface area silica-modified zirconia by the glycothermal method, 2002, *Journal of Materials Science Letters,* 21 (18), 1461-1464 ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
25. Thermal Stability of Silica-Modified Titania Ultrafine Particles Synthesized by the Glycothermal Method, 2000, *Ceramic Transactions*, 115, 643-654 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
26. One pot solvothermal synthesis of thermal stable, porous silica-modified alumina powders by supercritical removal of organic solvents, 2000, *Journal of Metals, Materials and Minerals,* 9 (2), 35-54 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
27. Effect of organic solvents on the thermal stability of porous silica-modified alumina powders prepared via one pot solvothermal synthesis, 2000 *Inorganic Chemistry Communication,* 3, 671-676, 2000. ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
28. Synthesis of large-surface area silica-modified titania ultrafine particles by the glycothermal method, 2000, *J. Material Science Letters,* 19, 1439-1443 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
29. Mechanism of Diesel Exhaust Gas Abatement by Synthetic Zeolite ZSM-5, 1998, *Journal of Metals, Materials and Minerals,* 7 (2), 32-38 ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30. Selective Aromatization of Propane on Metallosilicate Catalysts , 1996, Journal of Science Faculty, Chiengmai University, 23 (2), 42-49 งบประมาณประจำปี 2537 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
31. Inui, T., K. Fujioka, Y. Fujii, T. Takeguchi, H. Nishiyama and W. Tanakulrungsank, "Highly Active Catalysts for Syngas Production to Methanol and More Valuable Hydrocarbons", *Study of Surface Science and Catalysis*, 1993. ผู้ร่วมวิจัย
32. Inui, T., K. Fujioka, W. Tanakulrungsank and T. Takeguchi, "Spillover Effect in Methane Reforming Reactions in Ni-based Composite Catalysts Modified with Precious Metals", *Study of Surface Science and Catalysis*, 1993. ผู้ร่วมวิจัย
33. Takeguchi, T., W. Tanakulrungsank and T. Inui, "Separation and/or Concentration of CO_2-N_2 Gaseous Mixture by Pressure-Swing Adsorption using Metal-incorporated Microporous Crystals with High Surface Area", *Gas Separation and Purification*, 7, 3, 1993. ผู้วิจัย
34. Inui, T., S. Shibata and W. Tanakulrungsank, "Purification of O_2-N_2 Gaseous Mixture by Pressure-Swing Adsorption using Na-A Zeolites", *Gas Separation and Purification*, 6, 185, 1992. ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณเท่าใด

7.4.1 การศึกษาการบำบัดมลพิษที่เกิดจากไอของสารประกอบซัลเฟอร์โดยใช้เทคนิค XPS และ DRIFT ด้วยปฏิกิริยาการใช้แสง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการเผาแบบเฟลมสเปรย์ ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณประจำปี 2551 หัวหน้าโครงการ ทำการวิจัยลุล่วงแล้ว 90%

นักวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ นางสาวปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง

Miss Pathumthip Tonthubthimthong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โทรศัพท์/โทรสาร 0 2287 9734, 0 2287 9600 ต่อ 1210, 1201

e-mail : tpathumthip@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2545	เอก	วศ.ด. วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต	วิศวกรรมเคมี	วิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2538	โท	วท.ม. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	เคมีเทคนิค	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2531	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมี	เคมี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด การดูดซับ

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละเรื่อง

6.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

-

6.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

ลำดับที่	ชื่อโครงการวิจัย	แหล่งทุน	ปีงบประมาณ
1	การพัฒนากระถางต้นไม้จากใยมะพร้าว	เครือข่ายงานวิจัยภาคกลางตอนล่าง	2547
2	การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา	งบประมาณผลประโยชน์	2548
3	กระถางต้นไม้ชำร่วยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณผลประโยชน์	2548
4	การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ	งบประมาณผลประโยชน์	2548
5	กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณแผ่นดิน	2548
6	สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด	งบประมาณแผ่นดิน	2549
7	การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา	งบประมาณแผ่นดิน	2550
8	การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทย	งบประมาณแผ่นดิน	2551
9	การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน	งบประมาณผลประโยชน์	2551
10	การสกัดน้ำมันจากเมล็ดชะมดต้น (*Hibiscus abelmoschus* Linn.)	งบประมาณแผ่นดิน	2552

6.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึ่งและจิรพล กลิ่นบุญ. "การพัฒนากระถางต้นไม้จากใยมะพร้าว" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเครือข่ายภูมิภาคกลางตอนล่าง ประจำปีงบประมาณ 2547.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. "การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ่ง, มาริสา จินะดิษฐ์ และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์. "การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

สุรัตน์ บุญพึ่ง และปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. "การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากทองพันชั่ง" (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ่ง, มาริสา จินะดิษฐ์, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วังสะจันทานนท์. "กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, โสริยา ชิโนดม, สุรัตน์ บุญพึ่ง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วังสะจันทานนท์. "กระถางต้นไม้ชำร่วยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

มาริสา จินะดิษฐ์ และปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. "การผลิตกระถางต้นไม้จากเศษใบไม้" (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2549.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. "สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2549.

International Journal

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W., Wittaya Teppaitoon and La-eid Pengsopa. 2004. "Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO_2 and a Supercritical CO_2 -Methanol Mixture" **Journal of Supercritical fluids**. 30: 287-301. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W. 2001. "Supercritical CO_2 Extraction of Nimbin from Neem Seeds-an Experimental Study" **Journal of Food Engineering.** 47: 289-293. (ผู้วิจัย)

International & Regional Conference

Tonthubthimthong, P., Ajchariyapagorn, A., Douglas, S., Douglas, P. L. and Pongamphai, S. 2005. "Simulation of Nimbin Extraction by Using Aspen Plus" **the 88th Canadian Chemistry Conference and Exhibition.** May 28-June 1. Saskatoon Centennial Convention Centre Saskatoon Saskatchewan Canada. (ผู้ร่วมวิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chinadit, M., Boonpung, S., Supanya, C., Tanuwong, S. and Tanakulrungsank, W. 2005. "Cultivate Flowerpot Production from Agricultural Waste Materials", **The 3rd EMSES International Symposium Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium**. April 6-9. Lotus Hotel Pang Suan Kaew Chiangmai Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon, W. and Pengsopa, L. 2002. "Nimbin Extraction from Neem Seed using Supercritical CO_2 and a Supercritical CO_2 – Methanol Mixture" **International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering**. December 11 – 13. AIT Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon W. and Pengsopa, L. 2001. "Effect of Particle Size, Methanol:CO_2 Ratio and Temperature on Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO_2," **Canadian Society for Chemical Engineering 2001 Conference**. October 17. Halifax Nova Scotia Canada. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S. and Luewisuttichat, W. 1999. "Extraction of Medicinal Substances from Neem Seeds using Supercritical Fluid Extraction-A Preliminary Study" **Ragional Symposium on Chemical Engineering 1999**. November 22-24. B.P. Smilar Beach Hotel Songkla Thailand. (ผู้วิจัย)

Local Conference

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, 2551, "การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา" **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1** "ถ่ายทอดงานวิจัยสู่สังคม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน", 27–29 สิงหาคม, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัดรัง.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, 2550, "เทคนิคการสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา" **การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 3 "ทรัพยากรไทย : ประโยชน์แท้แก่มหาชน"**, 30 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2550, ณ อาคารพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาเกาะและทะเลไทย เขาหมาจอ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี.

เจษฎา มณีพงษ์สวัสดิ์, สุชาวดี วาสิกบุตร, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. 2550. "การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยวดยิ่ง" **การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึ่ง, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์, ธิดารัตน์ มานิตย์ และอุษาวดี ไม้คง. 2548. "การผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร" **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21**. 28–30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้วิจัย)

ชัชวาลย์ สุขมั่น, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, กฤษณ์ หวังเจริญกุลชัย และ คมเดช งามสมจิตร. 2548. "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์สะระแหน่" **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21**. 28–30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้ร่วมวิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, จุฑาลักษณ์ จีระรัตนกุล และ ประทุมรัตน์ แสนพล. 2547. "การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการดัดแปรแป้งด้วยสารโซเดียมไตโพลีฟอสเฟต" **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20**. 11–13 กุมภาพันธ์. โรงแรมอมรินทร์ ลากูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และละเอียด เพ็งโสภา. 2546. "การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดและคาร์บอนไดออกไซด์-เมทานอลวิกฤตยิ่งยวด" **การประชุมวิชาการและงานแสดงผลิตภัณฑ์วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29**. 20–22 ตุลาคม. ศูนย์ประชุมเอนกประสงค์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และละเอียด เพ็งโสภา. 2545. "การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด : ผลของขนาดอนุภาค, อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ" **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12**. 8–9 พฤศจิกายน. โรงแรมโซล ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ และ วิไล ลือวิสุทธิชาติ. 2543. "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด" **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10**. 26–28 ตุลาคม. ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

6.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และชัชวาลย์ สุขมั่น. "การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2550 ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณ 90 %

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. "พัฒนาการผลิตน้ำอบไทย" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2551 ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณ 70 %

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, นันทวัน กลิ่นจำปา และไชยยันต์ ไชยยะ."การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน" (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2551 ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณ 60 %