

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่ทำหน้าที่และประสิทธิภาพใน
การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดยางพารา

Influence of Activating Agent on Functional Groups and Adsorption
Efficiency of Activated Carbon derived from Rubber Seed Shell



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยยันต์ ไชยยะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ฐนะกุลรังสรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่ทำหน้าที่และประสิทธิภาพใน
การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดยางพารา

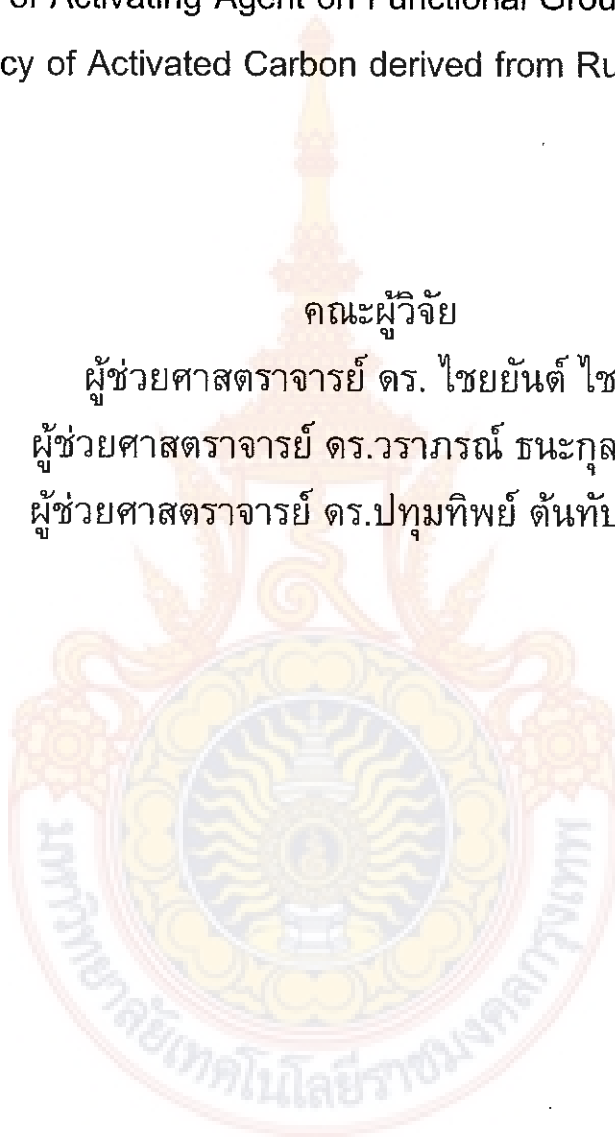
Influence of Activating Agent on Functional Groups and Adsorption
Efficiency of Activated Carbon derived from Rubber Seed Shell

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยยันต์ ไชยยะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปทุมทิพย์ ดันทับทิมทอง



โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏกรุงเทพ

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้การกระตุ้นทางเคมี ถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การคาร์ไบไนซ์ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารเคมี 2 ชนิดได้แก่ KOH และ ZnCl_2 เป็นสารกระตุ้น โดยการแปรผันอุณหภูมิการกระตุ้นระหว่าง 400 , 500 และ 600°C อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างถ่านเปลือกเมล็ดยางพารากับสารกระตุ้นเป็น $1:0.25$, $1:0.5$ และ $1:1$ จากผลการทดลองพบว่า ที่สภาวะการกระตุ้น 600°C อัตราส่วนของสารเป็น $1:1$ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก KOH จะมีเลขไอโอดีนสูงถึง 911.97 mg/g และมีผลได้ที่ร้อยละ 70.5 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก ZnCl_2 จะมีเลขไอโอดีน 730.04 mg/g และมีผลได้ที่ร้อยละ 73.44 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH จะปรากฏหมู่ O-H stretching ที่ความยาวคลื่น 3400 cm^{-1} พบ C=O stretching ที่น่าจะผสมกับ N-H bending ที่ความยาวคลื่น 1570 cm^{-1} และยังพบ C-N stretching อีกเล็กน้อยที่ความยาวคลื่น 1216 cm^{-1} ในกรณีที่เป็นถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย ZnCl_2 จะมี C=O stretching ของกลุ่ม Ester ที่ความยาวคลื่น 1740 cm^{-1} เพิ่มเติมอีก 1 หมู่ทำหน้าที่



ABSTRACT

The production of activated carbon from Para rubber seed shell using chemical activation contained two steps of carbonization was at 600°C for 3 and then chemical activation by using KOH and ZnCl₂ were as activating agent, varying the activation temperature at 400, 500 and 600°C, weight ratio between Para rubber seed charcoal and activating agent were as 1:0.25, 1: 0.5 and 1:1. The results showed the iodine number and yield were 911.97 mg/g and 70.5, respectively from activated carbon produced by KOH. Additional, the lower iodine number and the higher yield were 730.04 mg/g and 73.44, respectively from activated carbon produced by ZnCl₂. The FTIR results showed the functional groups of activated carbon produced from KOH contained O-H stretching at wavelength 3400 cm⁻¹, C=O stretching mixed with N-H bending at 1570 cm⁻¹ and slight C-N stretching at 1216 cm⁻¹. However, the functional groups of activated carbon produced from ZnCl₂ contained one more stretching C=O of ester group at 1740 cm⁻¹.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 2552 ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การดูดซับ	3
2.2 ถ่านกัมมันต์	5
2.3 เปลือกเมล็ดยางพารา	12
บทที่ 3 วิธีการทำวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	15
3.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์	16
3.3 การทดสอบสมบัติถ่านกัมมันต์	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	
4.1 การคัดขนาดเปลือกเมล็ดยางพารา	20
4.2 ผลได้ (Yield) ของถ่านเปลือกเมล็ดยางพารา	20
4.3 ผลได้ (Yield) ของถ่านกัมมันต์หลังกระบวนการกระตุ้น	21
4.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือก เมล็ดยางต่อสารที่ใช้กระตุ้นที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน	22
4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือก เมล็ดยางต่อสารที่ใช้กระตุ้นที่มีผลต่อหมู่ทำหน้าที่ยึดถ่านกัมมันต์	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราต่อ ต่อสารกระตุ้นที่มีต่อผลได้และตัวเลขโอดีน	26
5.2 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราต่อ ต่อสารกระตุ้นที่มีต่อหมูทำหน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์	26
บรรณานุกรม	27
ประวัติคณะวิจัย	29



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	กลไกการดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์
2.2	โครงสร้างของกราฟไฟต์
2.3	แบบจำลองโครงสร้างของถ่านกัมมันต์
3.1	ชุดการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี
3.2	ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ
4.1	ผลได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH
4.2	ผลได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$
4.3	ค่าไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH
4.4	ค่าไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$
4.5	สเปกตรัมหมูทำหน้าทีของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	น้ำหนักของเปลือกเมล็ดยางพาราก่อนและหลังการคาร์บอนไนซ์
4.2	หมู่ทำหน้าที่ของถ่านกัมมันต์



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม การดูดซับ (Adsorption) ถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากการเกี่ยวกับการจำกัดสารที่ไม่พึงประสงค์ออกจากระบบแก๊สหรือของเหลว เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมปิโตรเคมี การผลิตน้ำประปา การกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น จึงมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการดูดซับอย่างแพร่หลายมากขึ้น ถ่านกัมมันต์ (Activation carbon) เป็นหนึ่งในสารที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการดูดซับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง และเป็นวัสดุพื้นฐานของคาร์บอนที่ถือเป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในโลก อย่างไรก็ตามมันจะมีความสำคัญต่อการผลิตถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ ทั้งชนิดผงละเอียด และชนิดเม็ด แต่สิ่งที่คล้ายกันคือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเกือบทั้งหมดผลิตจาก กะลามะพร้าว ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งคาร์บอนที่หาง่ายในประเทศไทย แต่ความต้องการถ่านกัมมันต์ไปใช้งานยังคงเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรม จึงทำให้ต้องมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศบางส่วน (Gratuito, 2008) ดังนั้นในช่วงเวลาที่ผ่านมาจึงมีการวิจัยพัฒนากรรมวิธีที่จะผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุที่เหลือใช้หลายๆ เรื่อง เช่น ผลผลิตจากกะลาปาล์ม (Tan, 2009) เปลือกมะพร้าว (Tan, 2008) กากอ้อย (Valix, 2008) เส้นใยปอ (Rosas, 2008) เป็นต้น ผลที่ได้จากการวิจัยเหล่านั้นทำให้เกิดถ่านกัมมันต์ที่มีความแตกต่างกันทั้งส่วนโครงสร้างทางกายภาพ หรือความสามารถในการดูดซับ ซึ่งปัจจัยสำคัญนั้นขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิตเช่น คาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) และขั้นตอนการกระตุ้น (Activation) โดยเฉพาะขั้นตอนการกระตุ้น มีการใช้สารกระตุ้นที่แตกต่างกันหลายชนิดเช่น ไอน้ำ (Steam) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ข้อดีของการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นคือ ใช้เวลาในการกระตุ้นสั้นกว่าและใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่า จึงเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง มีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่า และได้ถ่านกัมมันต์ปริมาณมาก นอกจากนี้สารเคมียังสามารถแทรกซึมลงไปในถ่านได้อย่างทั่วถึง เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มาก แต่มีข้อเสียคือ การล้างสารเคมีออกทำได้ยาก และสารเคมีที่ใช้มีราคาแพง (Jankowska, 1991) แต่การจะเลือกใช้สารกระตุ้นใดๆ นั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานต่อการดูดซับเป็นสำคัญ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเหลือจากการทำการเกษตรปริมาณมากที่ไม่ได้นำมาใช้ และเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนจึงพยายามและพัฒนาวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาสร้างมูลค่าเพิ่มและใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุดจากการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกยางพารามากที่สุดในโลก โดยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 12.3 ล้านไร่และส่วนใหญ่หรือร้อยละ 90 ปลูกในภาคใต้จึงมีวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากต้นยางพารา ทั้งต้นยางพารา เมล็ดยางพารา เศษไม้ และขี้เลื่อยไม้ยางพาราจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเปลือกเมล็ดยางพารามาใช้เป็นวัสดุในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะมีราคาถูกสามารถหาได้

ง่าย และเป็นทางเลือกในการวิจัยและพัฒนาถ่านกัมมันต์และจะเป็นการช่วยลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศอีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพารา

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารกระตุ้นกรดและเบสที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและชนิดของหมู่ทำหน้าที่ ที่เกิดขึ้นบนผิวถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพารา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพารา โดยใช้สารเคมีประเภทกรดและเบสเป็นสารกระตุ้น

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนของเปลือกเมล็ดยางพาราก่อนกระตุ้น 1:0.25, 1:0.5, และ 1:1 และชนิดของสารกระตุ้น ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อุณหภูมิการกระตุ้น คือ 400, 500, และ 600°C

1.3.3 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยการวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine number) และหมู่ทำหน้าที่โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR)

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

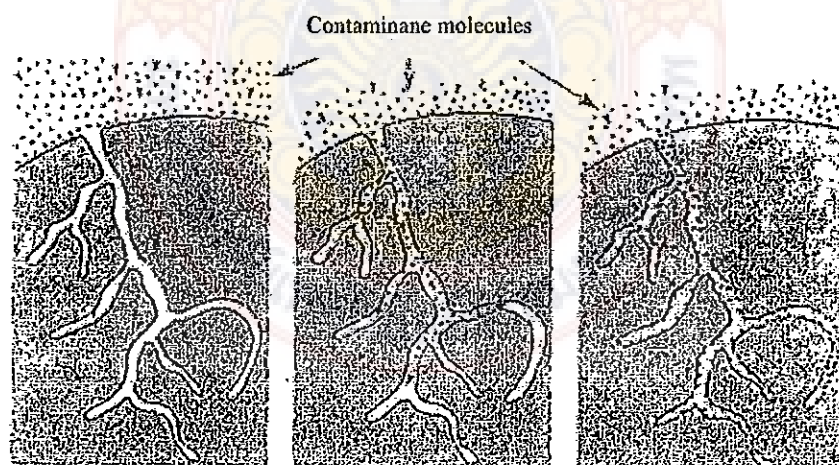
2.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างสาร 2 สถานะ เช่น ของเหลว-ของแข็ง ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง โดยมีการสะสมสารอยู่ที่ผิวของสารที่เป็นสารดูดซับ ที่เรียกว่า Adsorbent โดยสารถูกดูดซับบนพื้นผิวสารชนิดอื่น เรียกว่า Adsorbate สารดูดซับใช้เพื่อกำจัดสารอินทรีย์รวมถึงสารที่ก่อให้เกิดโรค กลิ่น ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Sundstrom and Klei 1979)

กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ไปยังถ่านกัมมันต์โดยการพา เช่น การกวน หรือการไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์
2. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแทรกตัวผ่านฟิล์มออกซีไฮเดรต (Oxy-hydrate film) ซึ่งเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่อยู่รอบผิวถ่านกัมมันต์ ปกติฟิล์มนี้จะยอมให้โมเลกุลสารซึมผ่านเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย
3. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเข้าผ่านสุโพรงช่องว่างภายในเนื้อของถ่านกัมมันต์ แล้วเกิดการดูดซับติดผิวของถ่านกัมมันต์ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดเหนี่ยวกับผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางกายภาพแล้วไม่เกิดการหลุดจากถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2.1 กลไกการดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Slejko, 1985)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นสารดูดซับ

- พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน วัสดุที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับจะต้องมีพื้นที่ผิวเมื่อเทียบกับมวลที่สูง พื้นที่ผิวที่เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น นอกจากนี้ความพรุนยังมีส่วนช่วยในการดูดซับเพิ่มขึ้น โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับด้วยพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นจากความพรุน หากโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดรูพรุน
- ขนาดของวัตถุ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่หากโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีความพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ
- เคมิที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับจะมีผลกระทบต่อการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง

2. ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นสารที่ถูกดูดซับ

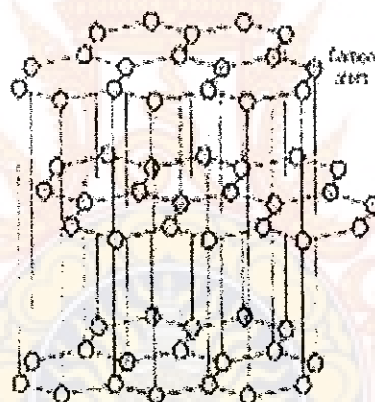
- ความสามารถในการละลายของสารที่ถูกดูดซับ สารที่มีความสามารถในการละลายต่ำจะดูดซับได้ดีกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายสูง เนื่องจากพันธะระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่น้อย สารละลายแต่ละชนิดมีทั้งเป็น Hydrophobic และ Hydrophilic โดยส่วนที่เป็น Hydrophobic จะถูกดูดซับด้วยสารดูดซับในขณะที่โมเลกุลของ Hydrophilic จะหันไปเกาะด้านโมเลกุลน้ำแทน
- น้ำหนักของโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล โดยที่สารละลายที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น การดูดซับจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งพบได้จากการดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ เช่น กรดฟอร์มิก กรดไพรฟอยอิก กรดบิวเทอริก นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลยังส่งผลต่อการละลาย โดยสารที่มีโครงสร้างที่ยาวความสามารถในการละลายจะลดลง การดูดซับโดยสารดูดซับจึงมากกว่า
- ความมีขั้วของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย มีอิทธิพลต่อสมดุลต่อการดูดซับ โดยความสามารถในการดูดซับลดลงเพราะการมีขั้ว เนื่องจากความสามารถในการละลายที่มากกว่าสารที่ไม่มีขั้ว
- ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับขนาดของรูพรุน ถ้าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าขนาดของสารที่ถูกดูดซับ โมเลกุลก็ไม่สามารถเข้าไปในรูพรุน ารดูดซับโดยรูพรุนจึงไม่สามารถเกิดขึ้น (Sundstrom and Klei, 1979)

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการพิเศษ เพื่อให้เกิดรูพรุนจำนวนมากเพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 600-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม รูพรุน (Pores) ของถ่านกัมมันต์มีขนาดอยู่ระหว่าง 20 - 20,000 อังสตรอม ($\text{\AA}$) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด ได้แก่ ไม้ กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านโค้ก กระดูก ชี้อ้อย กากเมล็ดกาแฟ เปลือกของผลไม้บางชนิด เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบต่างกันจะมีคุณภาพแตกต่างกัน

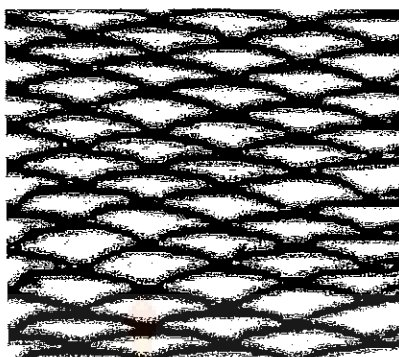
2.2.1 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมาพบว่า มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (Graphite) แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย กราไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอน ซึ่งเรียงตัวกับแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 1.42 อังสตรอม อิเล็กตรอนตัวที่ 4 เคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกราไฟต์

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากกราไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Micro crystallites) ประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆมีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะทางระหว่างผลึกเล็กๆนี้มีค่าระหว่าง 20-50 อังสตรอม (สกล ศิริรัตน์, 2544: 20) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

2.2.2 วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ได้จากธรรมชาติเช่น เมล็ดหรือเปลือกของพืช วัตถุดิบที่ดีควรมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง วัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

2.2.2.1 วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมีองค์ประกอบคาร์บอนสูงกว่า 60 % เป็นวัตถุดิบที่ถูกเผาโดยธรรมชาติหรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผา ได้แก่ ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) บิทูมินัส (Bituminous) ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) ลิกไนต์ (Lignite) และถ่านโค้ก (Coke) เป็นต้น วัตถุดิบเหล่านี้สามารถทำการเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ได้เลย หรืออาจทำการเผาถ่านวัตถุดิบที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อไล่ความชื้นออก

2.2.2.2 วัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบต่ำ ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของพืช ได้แก่ ไม้ เปลือกของไม้ กะลามะพร้าว เมล็ดของผลไม้ หรืออาจเป็นพวกพลาสติกและหนังสัตว์ วัตถุดิบกลุ่มนี้มีราคาต่ำและมีปริมาณ แต่ต้องผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านก่อนนำมากระตุ้นจึงจะได้ถ่านกัมมันต์ที่ดี

2.2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

2.2.3.1 การทำให้ได้ขนาด (Granulation)

เป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบให้มีขนาดที่เหมาะสม โดยเฉพาะในการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด หรือกรณีที่ใช้วัตถุดิบซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง เมื่อนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดจนได้ขนาดตามต้องการแล้ว ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ต้องการจะนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผง หรืออัดเป็นแท่งสำหรับใช้ในถังปฏิกรณ์ การคัดขนาดก่อนการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงนี้เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีการหดตัวน้อยได้แก่ ถ่านหิน กะลามะพร้าว และเปลือกวอลนัท เป็นต้น ถ้าวัตถุดิบมีการหดตัวสูงควรนำไปเผาให้เป็นถ่านก่อนแล้วจึงทำการคัดขนาดต่อไป

2.2.3.2 การทำให้เป็นถ่าน (Carbonization)

เป็นขั้นตอนการเผาไล่ธาตุอื่นๆที่ไม่ใช่คาร์บอนในวัตถุดิบออกไป ถ่านที่ได้จะมีปริมาณของคาร์บอนสูงขึ้น โดยเผาภายใต้ภาวะออกซิเจนต่ำหรือไร้ออกซิเจน ด้วยความร้อนประมาณ $300-600^{\circ}\text{C}$ สารที่สลายตัวส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่ใช่ธาตุคาร์บอน ได้แก่ ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบ แต่คาร์บอนบางส่วนจะเกิดการเผาไหม้ได้เป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆซึ่งสลายตัวในขณะที่เผา เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิบ เป็นต้น ในช่วงแรกของการเผา ไอน้ำจะระเหยออกไป วัตถุดิบจึงแห้งขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 170°C สารอินทรีย์บางส่วนจะสลายตัวพร้อมกับการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดน้ำส้ม และที่อุณหภูมิ $270 - 290^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการเผาสลายสารอินทรีย์และเกิดความร้อนขึ้นด้วย ในช่วงนี้จะเกิดน้ำมันดิน เมทานอล และสารประกอบอื่นๆขึ้นมากมาย และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300°C ก็จะทำให้เกิดเป็นถ่าน กล่าวคือเนื้อของวัตถุดิบจะเปลี่ยนเป็นสีดำ แต่ยังคงมีสารอื่นๆปนอยู่ ทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพต่ำซึ่งเรียกว่า หัวถ่าน แต่ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 600°C พบว่าถ่านที่ได้จะสูญเสียน้ำหนักคาร์บอนมากเกินไป ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นถ่าน จะอยู่ระหว่าง $300 - 600^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามถ่านที่ผลิตได้ยังมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะการทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ $300 - 600^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น จึงยังคงมีน้ำมันดิบ (tar) ตกค้างอยู่ภายในรูพรุน หรือเกาะอยู่ที่ผิวของถ่าน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเผากระตุ้นถ่านที่ได้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป

ถ่านที่มีคุณภาพดีควรมีลักษณะดังนี้

- มีสีดำ (Uniformly black)
- มีลักษณะแข็งแรงแรง ไม่แตกหักง่าย
- เมื่อหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวที่มันเงา (Shiny surface)
- ปลายที่หักมีลักษณะแหลมคม (Sharp)
- เมื่อเคาะหรือตอกกระทบพื้น ต้องมีเสียงดังกังวานคล้ายโลหะ
- ปราศจากฝุ่นผง และไม่มีขี้เถ้าและส่วนที่ยังไม่เป็นถ่านติดอยู่
- มีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่มาก มีความชื้นน้อย

2.2.3.3 การเผากระตุ้น (Activation)

การเผากระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้ถ่านมีความพรุนมากขึ้นและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ เป็นการกำจัดน้ำมันดินให้หลุดออกจากถ่าน ทำให้พื้นที่ผิวของถ่านมีอะตอมคาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่มาก ถ่านกัมมันต์ที่ได้จึงมีความสามารถในการดูดซับสารสูงขึ้น สามารถแบ่งได้ 3 วิธีการ คือ

1) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

กระบวนการนี้ใช้แก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing gas) เช่น ไอ้ น้ำ อากาศ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อออกซิไดซ์น้ำมันดิน และอะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างผลึกของถ่าน ทำให้ถ่านมีรูพรุนกว้างขึ้น และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นตามภาวะการกระตุ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น ข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพคือ สามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วไปใช้งานได้ทันที และไม่มีปัญหาในการล้างสารเคมีตกค้างที่อาจเป็นอันตราย แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้ค่อนข้างสูงกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีเช่น การกระตุ้นด้วยไอ้ น้ำ จะต้องใช้ไอ้ น้ำ ยาวๆ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพจะมีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีการทางเคมี กล่าวคือส่วนใหญ่เป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ดูดซับกลิ่นไอ หรือแก๊สพิษ

ก. การกระตุ้นด้วยไอ้ น้ำ (Steam activation)

เป็นการกระตุ้นทางกายภาพ โดยผ่านไอ้ น้ำ ร้อนยิ่งยวดเข้าไปในถ่านและเผาที่อุณหภูมิ 950 - 1,100°C ภายใต้ภาวะอับอากาศหรือมีอากาศน้อยที่สุด โดยใช้เวลาและความดันที่เหมาะสม ขณะที่ถ่านสัมผัสกับไอ้ น้ำ จะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ดังนี้



กลไกของปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้



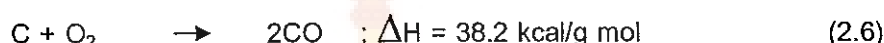
แก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไปจากผิวถ่าน ทำให้เกิดเป็นรูพรุน แต่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน ดังสมการ



ในระหว่างการเผากระตุ้น ถ่านจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอ้ น้ำ จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 97 - 98 % และยังคงมีรูปร่างเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของรูปพรุนที่เกิดขึ้นหลังการกระตุ้นได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของถ่านในระหว่างการกระตุ้น ชนิดของวัตถุดิบและวิธีการเผาให้เป็นถ่าน ข้อดีของการกระตุ้นด้วยไอน้ำคือ สามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นไปใช้ได้เลย แต่มีข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูงในการกระตุ้น ทำให้ต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก

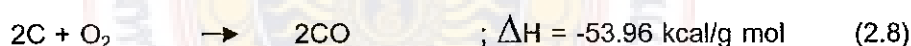
ข. การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
เป็นการกระตุ้นโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนขึ้น ดังนี้



จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยานี้ จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ $1,000 - 1,200^\circ\text{C}$ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ในทางปฏิบัตินิยมใช้แก๊สเชื้อเพลิงเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วยไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีออกซิเจนส่วนเกินบ้างเล็กน้อย หรืออาจจะมีการเติมไอน้ำเข้าไปด้วย ซึ่งเป็นการกระตุ้นโดยใช้วิธีร่วม ถ้าไม่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาร่วมจะใช้แก๊สไนโตรเจน

ค. การกระตุ้นด้วยอากาศ

เป็นการกระตุ้นโดยใช้ออกซิเจนในอากาศ เป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนี้



การใช้อากาศในการกระตุ้นมีการใช้น้อยมาก ทั้งนี้เพราะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในภาวะที่ต้องการได้ยากกว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน นอกจากนั้นออกซิเจนยังทำให้ผิวของถ่านไหม้ เกิดการสูญเสียเนื้อถ่านมาก จึงได้ถ่านกัมมันต์น้อยมาก

ง. การกระตุ้นด้วยแก๊สไอเสีย

ในแก๊สไอเสียจะมีแก๊สที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจนที่เหลืออยู่และไอน้ำ การกระตุ้นด้วยแก๊สไอเสียนี้เป็นการนำเอาแก๊สที่ปล่อยทิ้งไป กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ทำให้ประหยัดในแง่เศรษฐศาสตร์ แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมี

คุณภาพที่ไม่ดีนัก เนื่องจากแก๊สไอเสียมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก และถ่านกัมมันต์ที่ได้อาจดูดซับแก๊สไอเสียไว้ด้วย

2) การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation)

เป็นกระบวนการกระตุ้นโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายกรดหรือเกลือของโลหะ เช่น กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นต้น เมื่อแช่ถ่านทิ้งไว้ในสารเคมีก่อนนำมาเผากระตุ้น สารประกอบที่เคลือบถ่านบางส่วนจะละลายออกจากถ่าน จากนั้นถ่านจะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิวถ่าน เมื่อนำถ่านไปเผาที่อุณหภูมิสูง จะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้และเปลี่ยนเป็นแก๊สระเหยออกไป ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นมากมาย การกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ ส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิเผากระตุ้นประมาณ $500 - 800^\circ C$ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ จะมีรูพรุนขนาดเล็ก (Micro Pores) มากกว่าการกระตุ้นโดยใช้สารเคมีอื่น แต่มีข้อเสียคือ การล้างซิงค์คลอไรด์ที่เหลือใช้ ออกจากถ่านกัมมันต์ทำได้ยาก ต้องล้างด้วยน้ำเดือดนานกว่า 48 ชั่วโมง ดังนั้นในปัจจุบันนิยมใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นแทน เนื่องจากเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง สามารถแทรกตัวเข้าไปในเนื้อถ่านอย่างสม่ำเสมอได้ดีกว่าซิงค์คลอไรด์ และยังเป็นตัวออกซิแดนท์ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีหมู่ทำหน้าที่เกิดขึ้นมาก ข้อดีของการใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น คือ ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่า จึงเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงสามารถแทรกซึมลงไปยังผิวถ่านได้อย่างทั่วถึง เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มาก และลดขั้นตอนการผลิตได้มาก แต่มีข้อเสียคือ การล้างเอาสารเคมีที่ตกค้างทำได้นยาก สารเคมีที่ใช้มีราคาแพง และอาจมีแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษ

2.2.4 ชนิดและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท

2.2.4.1 แบ่งตามชนิดของกระบวนการกระตุ้น

1) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activated carbons) ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนชนิดเมโซพอร์และมาโครพอร์

2) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activated carbons) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้แก๊สออกซิไดซ์เป็นตัวกระตุ้น เช่น ไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์นี้มีขนาดรูพรุนชนิดไมโครพอร์เป็นจำนวนมาก นิยมใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย

2.2.4.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนไมโครพอร์อยู่มาก เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1 นาโนเมตร นิยมใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย
- 2) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนเมโซพอร์อยู่มาก เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนตั้งแต่ 1 ถึง 25 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่หลากหลายทั่วไป เช่น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือใช้ในการดูดซับของเสียจากสารละลาย
- 3) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนมาโครพอร์อยู่มาก เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 25 นาโนเมตร มักนิยมใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและผลิตยา

2.2.4.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ประโยชน์ในภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์
- 2) ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2.2.4.4 แบ่งตามชนิดสารที่ถูกดูดซับ

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับแก๊ส (Gas absorbent activated carbon) โดยมากใช้การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ เช่น การดูดซับไอของตัวทำละลายแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ การแยกแก๊สหรือการนำไปใส่กันกรองของบู่หรี
- 2) ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับของเหลว (Liquid absorbent activated carbon) โดยมากใช้กับสารฟอกสี หรือทำให้ของเหลวให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น
- 3) ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับแก๊ส และถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับของเหลว มีการกระจายขนาดของรูพรุน และชนิดของรูพรุนที่แตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับแก๊สจะมีรูพรุนไมโครพอร์อยู่มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับของเหลว แต่มีพื้นที่ผิวสัมผัสไม่แตกต่างกัน

2.2.4.5 แบ่งตามขนาดถ่านกัมมันต์

- 1) ถ่านกัมมันต์แบบผง (Power activated carbon หรือ PAC) มีขนาดอยู่ระหว่าง 10-50 ไมครอน หรือน้อยกว่า ใช้มากในการบำบัดกลิ่น และดูดซับสารจากสารละลายส่วนใหญ่ เมื่อใช้หมดสภาพจะทิ้ง ข้อดีของถ่านกัมมันต์แบบผง ได้แก่ มีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดประมาณ 2-3 เท่า สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณที่ใช้ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ไม่ต้องลงทุนเบื้องต้นมาก ทั้งนี้เพราะการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผง จะเหมือนกับการใช้สารเคมีทั่วไป นอกจากนั้นยังมีการดูดซับที่ผิวได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโมเลกุลหรือสารแขวนลอย สามารถสัมผัสกับผิวของถ่านกัมมันต์ได้ง่าย แต่

อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์แบบผง มีข้อจำกัดในการใช้งาน ได้แก่ ถ่านกัมมันต์แบบผงใช้แล้วจะทิ้งเลย เนื่องจากการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ถ่านกัมมันต์แบบผงไม่สามารถบำบัดมลสารได้หมด ใช้ในการลดมลสารเท่านั้น และไม่ควรรีใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงเกิน 25-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular activated carbon หรือ GAC) มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ (240-280 ไมครอน) แข็งแต่เปราะ และมีน้ำหนักเบากว่าทรายกรองน้ำ ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้ว สามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) เพื่อทำให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

2.3 เปลือกเมล็ดยางพารา

ยางเป็นสิ่งที่ชาวพื้นเมืองในทวีปแอฟริกาและเอเชียรู้จักกันมาช้านานแล้ว จากการขุดค้นสำรวจโบราณวัตถุพบว่ามีการใช้ยางทำเป็นวัตถุขลุ่ยรูปต่าง ๆ มาเป็นเวลาหลายศตวรรษ จนกระทั่งระหว่างปี พ.ศ. 2036-2039 ขณะที่ Christopher Columbus ออกเดินสำรวจทวีปอเมริกาเป็นครั้งที่สองเขาได้สังเกตพบว่าชาวเกาะซึ่งในปัจจุบันเรียกเกาะ Haiti เล่นกีฬาชนิดหนึ่งโดยใช้ลูกบอลซึ่งทำมาจากยางของต้นไม้ จึงนับว่า Columbus เป็นชาวยุโรปคนแรกที่ได้สัมผัสขึ้นอย่างด้วยความสนใจ

ชาวยุโรปได้รู้จักยางกันอย่างกว้างขวาง และคำว่า "Rubber" ได้มาจากการนำยางไปใช้ประโยชน์ในการลบรอยดินสอ ซึ่งผู้เผยแพร่การใช้ประโยชน์ดังกล่าวนี้คือ นักเคมีผู้ซึ่งค้นพบแก๊สออกซิเจน ท่านผู้นี้คือ Joseph Priestley เมื่อปี พ.ศ. 2313 ก่อนที่จะมีการนำคำว่า Rubber มาใช้ผู้ที่เขียนเรื่องราวเกี่ยวกับยางจะใช้คำพื้นเมืองของอเมริกาใต้ โดย Charles de la Condamine เป็นคนแรกที่นำมาใช้คือคำว่า "Caotchouc" ซึ่งออกเสียง "kow chook" มีความหมายว่าต้นไม้ร้องไห้ (Weeping wood) โดยที่ไม่เป็นที่ทราบถึงเริ่มต้นของการใช้คำดังกล่าว อย่างไรก็ตามในปัจจุบันคำว่า Caotchouc ใช้เป็นคำภาษาอังกฤษที่หมายถึงยางที่บริสุทธิ์ (Pure rubber hydrocarbon)

ต้นยางพาราเข้ามาปลูกในประเทศไทย ตั้งแต่สมัยที่ยังใช้ชื่อว่า "สยาม" ประมาณกันว่าควรเป็นหลัง พ.ศ. 2425 ซึ่งช่วงนั้นได้มีการขยายเมล็ดกล้ายางพาราจากพันธุ์ 22 ต้น นำไปปลูกในประเทศต่างๆของทวีปเอเชีย และมีหลักฐานเด่นชัดว่า เมื่อปี พ.ศ. 2442 พระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดีเป็นุ์เหมือนหนึ่ง "บิดาแห่งยาง" เป็นผู้ที่ได้นำต้นยางพารามาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เป็นครั้งแรกประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางพารามากเป็นอันดับ 1 ของโลก ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมากในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางเครฟ ยางแท่งและอื่นๆ นอกเหนือจากนี้ยางพาราซึ่งเป็นผลผลิตโดยตรงแล้ว ส่วนต่างๆของยางพาราก็ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆตลอดจนใช้ในอุตสาหกรรมได้มากมาย เช่น ไม้ยางพารานำไปใช้ทำไม้ค้ำยัน ไม้แบบก่อสร้าง ลังไม้ เฟอร์นิเจอร์ ยางรถยนต์ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

เมล็ดเปลือกเมล็ดยางพารามีสีน้ำตาลขาวคล้ายสีของเมล็ดละหุ่ง ยาวประมาณ 2 - 2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5 - 2.5 เซนติเมตร หนักประมาณ 3 - 6 กรัม เมล็ดยางพาราเมื่อหล่นใหม่ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การเจริญเป็นต้นกล้าลดลงประมาณ 80 % อย่างรวดเร็วในสภาพปกติ เมล็ดยางพาราจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

โดยปกติแล้วต้นยางพาราในประเทศไทย จะให้ปริมาณผลผลิตลูกยางประมาณ 109,000 ตัน หรือ 109,000,000 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งจะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกนำมาเพาะเป็นกล้ายางต่อไป ดังนั้นจะมีปริมาณของเปลือกเมล็ดยางพาราเหลืออีกเป็นจำนวนมาก เปลือกเมล็ดยางพาราจะนำมาแปรรูปเป็นของเล่นเด็ก พวงกุญแจ หรือของประดับในบ้าน เป็นต้น (สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช. 2545:1)

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ พบว่ามีผู้วิจัยหลายท่านได้วิจัยไว้ก่อนหน้านี้ ได้แก่

Badie S. Girgis และคณะ (1994) นำชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการอุตสาหกรรม มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้กรด 4 ชนิดเป็นสารกระตุ้น ได้แก่ H_3PO_4 H_2SO_4 HCL และ HNO_3 โดยการคาร์บอนไนซ์ที่ $500^{\circ}C$ พบว่า H_3PO_4 มีผลทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด และยังพออีกว่าการเพิ่มเวลาในการคาร์บอนไนซ์กลับทำให้ค่าพื้นที่ผิวลดลงอีกด้วย

Evans M.J.B. และคณะ (1999) ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากการนำตาลโดยใช้สารละลายเบสคือ KOH และ $NaOH$ เป็นสารกระตุ้น พบว่าถ้าต้องการให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณ Micropore Volume มาก ต้องกระตุ้นที่ช่วงอุณหภูมิ $750^{\circ}C$ ถึง $800^{\circ}C$ ในกรณีที่ต้องการให้ถ่านกัมมันต์มีผลได้สูงควรใช้อุณหภูมิการกระตุ้นไม่เกิน $540^{\circ}C$ ซึ่งผลจากการใช้ $NaOH$ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุดที่ $1,500 \text{ m}^2/\text{g}$

Abdel-Nasser และคณะ (2001) ได้ผลิตถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย โดยใช้ H_3PO_4 เป็นสารกระตุ้น พร้อมกับไอน้ำซึ่งจากการทดลองพบว่ากระตุ้นที่อุณหภูมิ $700^{\circ}C$ จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณ Mesopore มากที่สุด ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบ พบว่าสามารถดูดซับ Methylene blue และ Pb^{2+} ได้ดี แต่กลับพบว่าการดูดซับ Phenol ไม่ขึ้นอยู่กับความพรุนหรือพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ แต่ขึ้นอยู่กับสภาพทางเคมีของถ่าน

Vernersson T. และคณะ (2002) ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย โดยใช้ H_3PO_4 เป็นสารกระตุ้น ซึ่งค้นพบว่าการใช้อัตราส่วนโดยใช้น้ำหนักระหว่าง H_3PO_4 ต่อ ชานอ้อยเป็น 2 โดยใช้ เป็นสารกระตุ้น อุณหภูมิการกระตุ้น $500^{\circ}C$ และใช้เวลาในการกระตุ้นเพียง 1 ชั่วโมง จะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าพื้นที่สูงสุดที่ $1,300 \text{ m}^2/\text{g}$

Nakagawa K. และคณะ (2004) ได้นำขยะประเภทต่าง ๆ เช่น ขวด PET พลาสติก หรือขยะอินทรีย์ มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ด้วยการใช้เกลือโลหะ ร่วมกับไอน้ำในขั้นตอนการกระตุ้น ผลที่ได้ทำให้สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณ Mesopore สูง และเมื่อนำไปทดสอบการดูดซับกับ Phenol และสีย้อม (ดำ) พบว่าสามารถดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ได้ดี

Jia Guo และคณะ (2005) ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยใช้ H_2SO_4 เป็นสารกระตุ้น โดยการแปรผันอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารกระตุ้น พบว่าทั้ง 2 ตัวแปรดังกล่าวมีผลโดยตรงต่อลักษณะโครงสร้าง และความพรุนตัวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งรูพรุนที่ปรากฏบนผิวถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กซึ่งเหมาะต่อการดูดซับสารในสถานะแก๊ส ดังนั้นคณะวิจัยจึงนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาทดสอบการดูดซับแก๊ส NH_3 ซึ่งในการทดสอบการดูดซับได้มีการแปรผันอุณหภูมิการดูดซับด้วย เพื่อเป็นการตรวจสอบประเภทยของการดูดซับทั้งทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับการทดสอบการคายซับ (Desorption) ก็ได้ทดสอบในช่วงอุณหภูมิเกี่ยวกับการดูดซับ ผลจากการทดลองพบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับทั้งทางกายภาพและทางเคมีพร้อม ๆ กัน ซึ่งการดูดซับทางเคมีขึ้นจากหมู่ทำหน้าที่บนผิวถ่านที่มีโมเลกุล Oxygen ปรากฏอยู่นั่นเอง

Olivares-Marin M. และคณะ (2006) ได้นำการขย่อดูตสาหกรรมหรือเรียกว่า Cherry stones มาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ KOH เป็นสารกระตุ้นที่อุณหภูมิ $400-900^\circ\text{C}$ ตัวอย่างที่ได้บางส่วนมีลักษณะเหมือนเส้นใย โดยเมื่อนำมาผ่านการวิเคราะห์ด้วยการดูดซับไนโตรเจน พรอทและซีเลียมพบว่าพื้นที่ผิวและความพรุนตัวของถ่านกัมมันต์มีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ซึ่งอุณหภูมิ 900°C ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ $1,624 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กเท่ากับ $0.67 \text{ m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ และปริมาตรรูพรุนขนาดกลางมีค่าเท่ากับ $0.25 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$

Qingrong Qian และคณะ (2007) ได้นำมูลสัตว์จากปศุสัตว์มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยการใช้ ZnCl_2 เป็นสารกระตุ้น โดยการแปรผันตัวแปร 3 ชนิดได้แก่ สัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างมูลสัตว์และ ZnCl_2 อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยการดูดซับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 K โดยใช้สมการของ BET และ วิธีการ t-plot พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดที่ $2170 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ $1.70 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ นอกจากนี้เครื่อง TGA ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของส่วนผสมระหว่างมูลสัตว์และ ZnCl_2 ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนการเปลี่ยนรูปเป็นถ่านกัมมันต์

Juan F. Gonzalez และคณะ ได้ทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์จากถยนต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีการกระตุ้นแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ไพโรไลซิส ที่ 800°C ในบรรยากาศของไนโตรเจน ร่วมกับไอน้ำ หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ผลของการกระตุ้น $750-900^\circ\text{C}$ และเวลาที่ใช้กระตุ้น 1-3 ชั่วโมง การทดสอบพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยการดูดซับไอโซเทอมของไนโตรเจนที่ 77 K ทดสอบด้วยปริมาตรรูพรุนขนาดเมโซพอร์ ปริมาตรรูพรุนไมโครพอร์ และพื้นที่ผิวของ BET มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะให้รูพรุนขนาดไมโครพอร์สูงกว่าและการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะให้รูพรุนขนาดเมโซพอร์

บทที่ 3

วิธีการทำวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 10 mL
2. ขวดเก็บตัวอย่าง (Vial)
3. เครื่องชั่ง (Balance)
4. จานเพาะเชื้อ (Peti disc)
5. ช้อนตักสาร (Spoon)
6. เดซิเคเตอร์ (Desiccators)
7. เตาเผา (Oven)
8. เตาอบ (Furnace)
9. ถ้วยทนความร้อน (Crucible)
10. บิวเรต (Burret)
11. บีกเกอร์ (Breaker) ขนาด 50 mL
12. บีกเกอร์ (Breaker) ขนาด 1000 mL
13. กระดาษอลูมิเนียม (Aluminium foil)
14. ขวดสีชา
15. ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1 L
16. ขวดรูปชมพู่ (Conical flask) ขนาด 250 mL
17. ลูกยาง
18. ปิเปต
19. เตาให้ความร้อน (Hot plate)
20. ถังมือกั้นความร้อน
21. กระดาษกรองเบอร์ 2 (Whatman filter paper)
22. กรวยแยก (Glass funnel)
23. กรรไกร
24. หลอดหยด (Dropper)
25. แท่งแก้ว (Stirrer)
26. กระดาษลิตมัส

3.1.2 อุปกรณ์ชุดทดลองกระตุ้นทางเคมี

1. คอลัมน์บรรจุตัวอย่าง
2. เตาเผาจากบริษัทสวนหลวง ฮีตเตอร์ จำกัด
3. ท่อสแตนเลสยาว 6 เมตร ขนาด $\varnothing$ 1/4 นิ้ว
4. ไนโตรเจนจากบริษัทไทยอินดัสเทียลแก๊ส จำกัด
5. ฮีตเตอร์บริษัทสวนหลวง ฮีตเตอร์ จำกัด
6. Ball valve ยี่ห้อ Hylok ขนาด $\varnothing$ 1/4 นิ้ว
7. Metering valve ยี่ห้อ Swagelok ขนาด $\varnothing$ 1/4 นิ้ว
8. Tee way ยี่ห้อ Hylok $\varnothing$ 1/4 นิ้ว
9. Union ยี่ห้อ Hylok $\varnothing$ 1/4 นิ้ว

3.1.3 วัตถุดิบและสารเคมี

1. เปลือกเมล็ดยางพาราจากจังหวัด ศรีสะเกษ
2. โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล
3. ซิงค์คลอไรด์ จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล
4. แป้งมัน
5. ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 35% จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล
6. โซเดียมไทโอซัลเฟต จากบริษัท
7. ไอโอดีน จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล
8. โพลีเอทิลีนไอโอไดด์ จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล
9. โพลีเอทิลีนไอโอเดต จากบริษัทฟิชเชอร์ เคมีคอล

3.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกเมล็ดยางพารา

1. เลือกและล้างเปลือกเมล็ดยางพารา
2. อบเปลือกเมล็ดยางพาราเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์
3. บดเปลือกเมล็ดยางพาราโดยเครื่อง Cutting Machine
4. คัดขนาดเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ขนาดของตะแกรงเบอร์ 8 และ 10
5. เก็บเปลือกเมล็ดยางพาราในเดซิกเคเตอร์ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการคาร์บอนไนซ์และการ

กระตุ้น

3.2.2 ขั้นตอนการทำเปลือกเมล็ดยางพาราให้เป็นถ่าน (Carbonization)

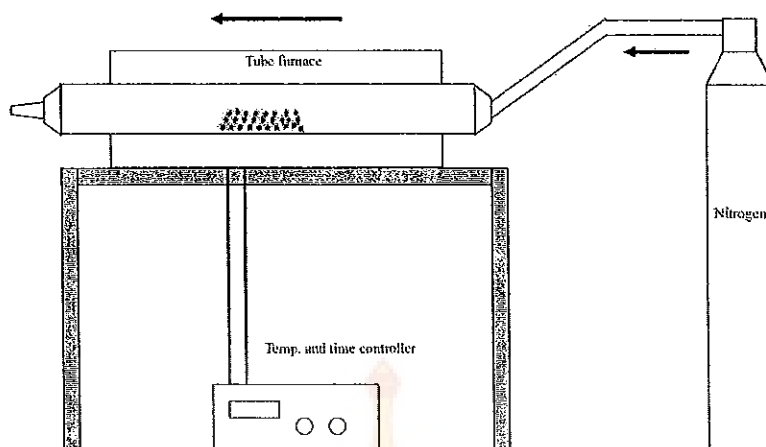
1. ชั่งเปลือกเมล็ดยางพาราที่ผ่านการอบและคัดขนาดแล้วปริมาณ 100 กรัม ใส่ในถ้วยทนความร้อน ปิดฝา
2. เผาเปลือกเมล็ดยางพาราที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในเตสซิกเคเตอร์
3. ชั่งน้ำหนักถ่านหลังการเผาและเก็บในภาชนะที่ป้องกันความชื้นได้
4. เตรียมวัตถุติดสำหรับการกระตุ้น โดยการคาร์บอนไนซ์เปลือกเมล็ดยางพาราที่ภาวะดังกล่าวให้เพียงพอสำหรับการกระตุ้น แล้วเก็บตัวอย่างที่ได้ในเตสซิกเคเตอร์

3.2.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุติดก่อนการกระตุ้น

1. ชั่งน้ำหนักวัตถุติดและสารเคมีตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้
2. ละลายสารเคมีที่เป็นของแข็งโดยใช้น้ำกลั่น จนสารละลายใส
3. ผสมวัตถุติดและสารละลายจนเข้ากันประมาณ 10 นาที และใช้แผ่นกระดาษอลูมิเนียมหุ้มให้สนิท
4. ทิ้งไว้ 14 ชั่วโมง รอการเผากระตุ้น

3.2.4 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี

1. เตรียมชุดทดลองสำหรับการกระตุ้นดังรูปที่ 3.1
 - ก. วัดอัตราการไหลของแก๊สในโตรเจนที่จะใช้ในการกระตุ้น
 - ข. ตรวจเช็คควาล์วทุกจุด
2. ชั่งน้ำหนักของวัตถุติดที่ใช้ในการกระตุ้น
3. ใส่วัตถุติดที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในคอลัมน์บรรจุตัวอย่างทางด้านบน แล้วปิดฝาครอบให้สนิท
4. เปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานของเตาเผาและปรับอุณหภูมิที่ 400°C พร้อมทั้งเปิดถังไนโตรเจนโดยที่ปรับอัตราการไหลให้คงที่ตลอดการทดลอง
5. เริ่มจับเวลาหลังจากที่อุณหภูมิถึง 400°C โดยเวลาที่ใช้คือ 3 ชั่วโมง
6. ต้องสังเกตการณ์การทดลองตลอด และป้องกันการรั่วจากข้อต่างๆได้
7. เมื่อกระตุ้นครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการปิดสวิตช์ของเตาเผา
8. ปล่อยให้เตาเผาให้เย็นลง จึงปิดถังไนโตรเจน
9. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ได้ และเก็บในภาชนะที่สามารถป้องกันความชื้นได้จากนั้นนำไปไว้ในเตสซิกเคเตอร์
10. ทำความสะอาดคอลัมน์บรรจุตัวอย่างเพื่อเตรียมการทดลองในครั้งต่อไป
11. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3. ถึง 10. โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 500 และ 600°C



รูปที่ 3.1 ชุดการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี

3.3 การทดสอบสมบัติถ่านกัมมันต์

3.3.1 วิเคราะห์ตัวเลขไอโอดีน

1. การเตรียมสารละลาย

ก. เตรียมน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ น้ำแบ่งผสมกับน้ำกลั่นให้เข้ากัน จากนั้นนำไปต้มให้เดือดและคนให้เข้ากัน

ข. เตรียมสารละลาย 5% w/w HCl โดยนำ HCl ปริมาตร 135 mL ลงในขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

ค. เตรียมสารละลาย Na_2SO_3 0.1 N โดยชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 25 g ละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มแล้ว จากนั้นเติม Na_2CO_3 1 g เขย่าให้ละลาย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1 L เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4 วัน

ง. เตรียมสารละลาย I_2 0.1 N โดยชั่ง I_2 12.7 g และ KI 19.1 g ผสมให้เข้ากัน ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 mL คนให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1 L เก็บไว้ในขวดสีชา

จ. เตรียมสารละลาย KIO_3 0.1 N โดยชั่ง KIO_3 4 g อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่ง KIO_3 ที่แห้งแล้ว 3.6 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 L เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ก. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Na_2SO_3 0.1 N โดยปิเปตสารละลาย KIO_3 0.1 N ปริมาตร 25 mL (จากข้อ 1. จ) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมน้ำให้ KI ละลายจนหมด จากนั้นปิเปตสารละลาย 5% w/w HCl ปริมาตร 5 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้เข้ากัน นำไปไตเตรทกับสารละลาย Na_2SO_3 (จากข้อ 1. ค) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด ไตเตรทต่อจนกระทั่งสารละลายที่ได้ไม่มีสี

ข. เตรียมสารละลายมาตรฐาน I_2 0.1 N โดยปิเปตสารละลาย I_2 (จากข้อ 1. ง) ปริมาตร 25 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL นำไปไตเตรทกับสารละลาย Na_2SO_3 (1. ค) จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด ไตเตรทต่อจนกระทั่งสารละลายที่ได้ไม่มีสี

3. วิธีทดสอบ

อบถ่านกัมมันต์ให้แห้งที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นใน เดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งถ่านกัมมันต์ที่แห้งประมาณ 2 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL และเติมสารละลาย 5% w/w HCl ปริมาตร 10 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีถ่านกัมมันต์ เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มให้เดือดและทิ้งไว้ให้เดือดประมาณ 30 วินาที (เพื่อกำจัดซัลเฟอร์ซึ่งอาจจะรบกวนผลการทดลองได้) ปลอ่ยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง และเติมสารละลายมาตรฐาน I_2 ปริมาตร 100 mL ลงในขวดรูปชมพู่ที่เย็นแล้ว ปิดจุกขวดรูปชมพู่ทันทีและเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที กรองสารละลายทันทีโดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 2 จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองปริมาตร 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน Na_2SO_3 จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด ไตเตรทจนสารละลายที่ได้ไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Na_2SO_3 ที่ใช้ในการไตเตรท

3.3.2 วิเคราะห์หมู่ทำหน้าที่ (Functional groups) ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การคัตขนาดเปลือกเมล็ดยางพารา

เปลือกเมล็ดยางพาราถูกเตรียมโดยการนำไปคัตขนาดโดยใช้วิธีการร่อนตะแกรง ตะแกรงที่ใช้เป็นตะแกรงมาตรฐาน U.S. ASTM เบอร์ 8 และ 10 ซึ่งขนาดอนุภาคของเปลือกเมล็ดยางพาราเท่ากับ 0.0862 in หรือ 0.22 cm ดังการคำนวณต่อไปนี้

ขนาดอนุภาคตะแกรงเบอร์ 8 = 2380 μm

ขนาดอนุภาคตะแกรงเบอร์ 10 = 2000 μm

$\therefore$ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย = $(2380+2000) / 2 = 2190 \mu\text{m}$

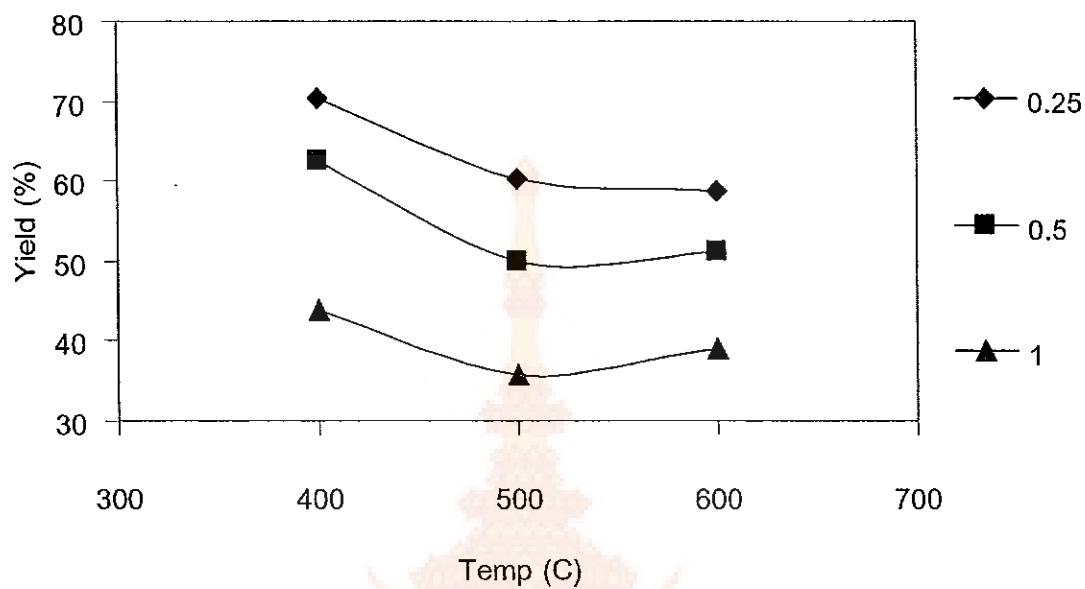
4.2 ผลได้ (Yield) ของถ่านเปลือกเมล็ดยางพารา

จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีการบันทึกข้อมูลน้ำหนักของเปลือกเมล็ดยางพาราก่อนและหลังการคาร์บอนไนซ์ สามารถแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในทุกๆ อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ ผลได้จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลได้ไม่ควรมีค่าต่ำกว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวที่วิเคราะห์ได้

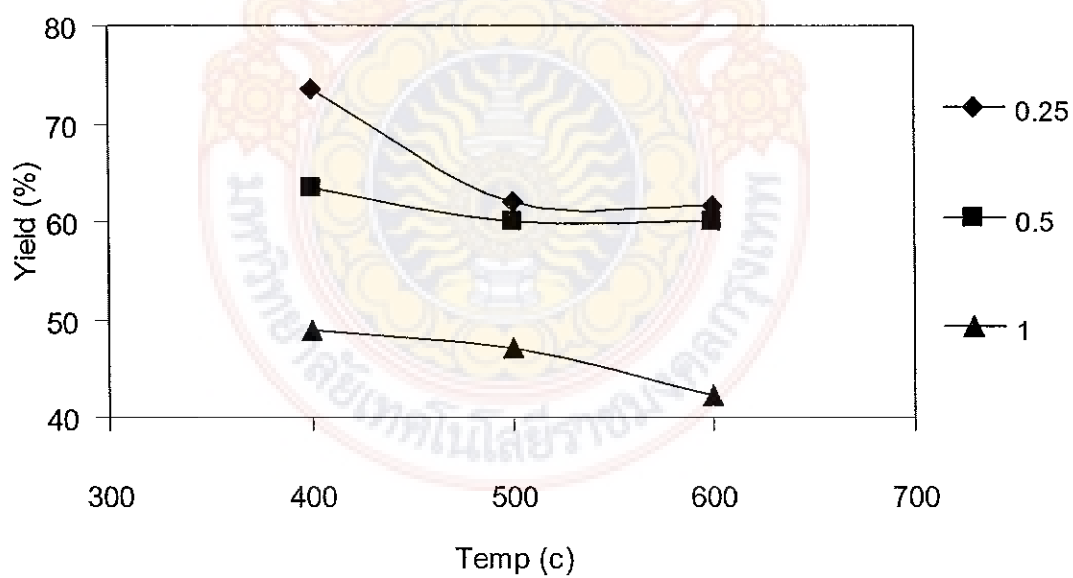
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของเปลือกเมล็ดยางพาราก่อนและหลังการคาร์บอนไนซ์

เผาครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	ผลได้ (%)
1	200	54.51	27.26
2	500	143.22	28.64
3	500	139.77	27.95
4	500	138.77	27.75

4.3 ผลได้ (Yield) ของถ่านกัมมันต์หลังกระบวนการกระตุ้น



รูปที่ 4.1 ผลได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH

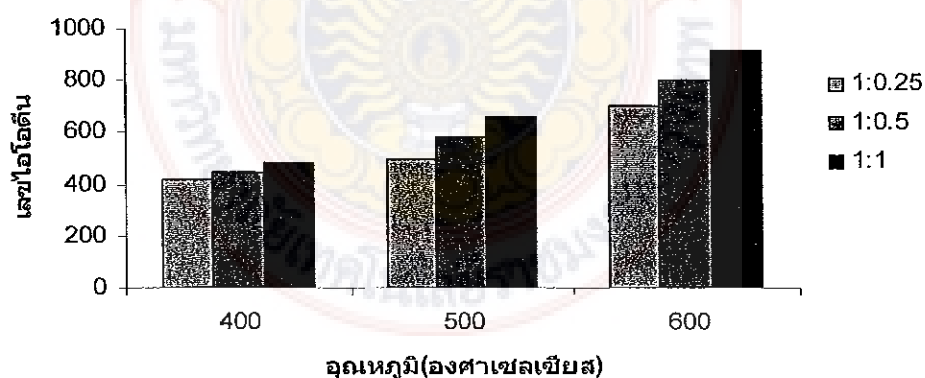


รูปที่ 4.2 ผลได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂

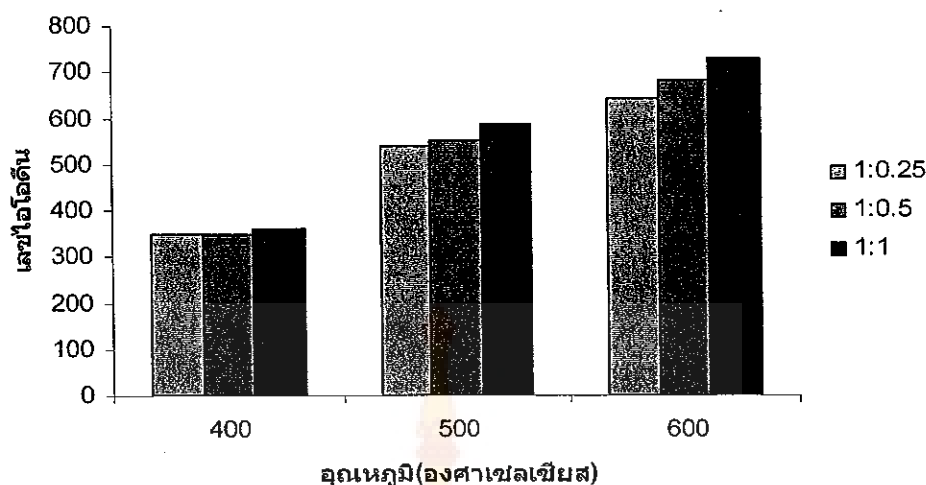
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่าผลได้ของการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์เปลือกเมล็ดยางพาราโดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เวลา 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0.25, 1:0.5, และ 1:1 อุณหภูมิ 400, 500, และ 600°C สรุปได้ว่าในทุกๆ อุณหภูมิการกระตุ้น ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0.25 จะให้ผลได้สูงสุด เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเผา กล่าวคือสารที่อยู่ภายในรูพรุนของถ่านเปลือกเมล็ดยางพารา เช่น น้ำมันดิน ไขมัน สารระเหย แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถหลุดออกไปง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีผลทำให้ผลได้ของถ่านกัมมันต์ลดลง

อย่างไรก็ดีเมื่อปริมาณสารเคมีที่ใช้มีมากขึ้น ย่อมส่งผลต่อการแทรกซึมเข้าไปทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบได้มากขึ้น และถึงแม้ว่าจะทราบมาก่อนหน้าแล้วว่าปริมาณผลได้ที่น้อยลง มักจะส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ผิวของสารที่มากขึ้น ซึ่งข้อเท็จจริงนี้ไม่เป็นจริงเสมอไปเนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้เมื่อสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวจะส่งผลต่อรูพรุน โดยจะทำให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์พังทลายและกลายเป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุนแทน ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่เป็นที่ต้องการในการวิจัยนี้ ดังนั้นข้อพิสูจน์ว่าปริมาณสารเคมีที่ใช้เท่าใด จึงจะมีความเหมาะสมต่อเปลือกเมล็ดยางพารา ต้องใช้การวิเคราะห์โดยการหาปริมาณการดูดซับไอโอดีน หรืออีกนัยหนึ่งก็เป็นการหาปริมาณพื้นที่ผิวนั่นเอง

4.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางต่อสารที่ใช้กระตุ้นที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน



รูปที่ 4.3 ค่าไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH



รูปที่ 4.4 ค่าไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2

ในการกระตุ้น ซึ่งใช้ KOH และ ZnCl_2 เป็นสารกระตุ้น พบว่าอุณหภูมิการกระตุ้นและสัดส่วนของสารที่ใช้ที่มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์มีค่ามากขึ้นเช่นกัน และทำให้สามารถยืนยันผลที่สอดคล้องกันได้กับการวิเคราะห์หาผลได้ของถ่านในกระบวนการ (หัวข้อ 4.3) นอกจากนี้สารกระตุ้นทั้ง 2 ชนิดส่งผลให้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกยางพาราที่เกิดขึ้นมีค่าพื้นที่ผิวสูงที่สุด ณ สภาวะเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิ 600°C และสัดส่วนของสารกระตุ้นเป็น 1:1 อย่างไรก็ตามถ่านที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วย KOH จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดเท่ากับ $911:97 \text{ mg/g}$ ซึ่งหมายความว่าที่สภาวะดังกล่าวเกิดรูพรุนและพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมากบนผิวถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH ซึ่งเหตุผลก็เนื่องจากผิวของเปลือกเมล็ดยางพารามีสภาพความเป็นกรดอ่อนๆ จากการวิเคราะห์สมบัติวัตถุติดก่อนการใช้งาน ส่งผลให้ก่อปฏิกิริยาที่รุนแรงต่อ KOH ซึ่งเป็นเบสแก่มากกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับ ZnCl_2 ที่มีสภาพเป็นกรด

4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางต่อสารที่ใช้กระตุ้นที่มีผลต่อหมู่ทำหน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์

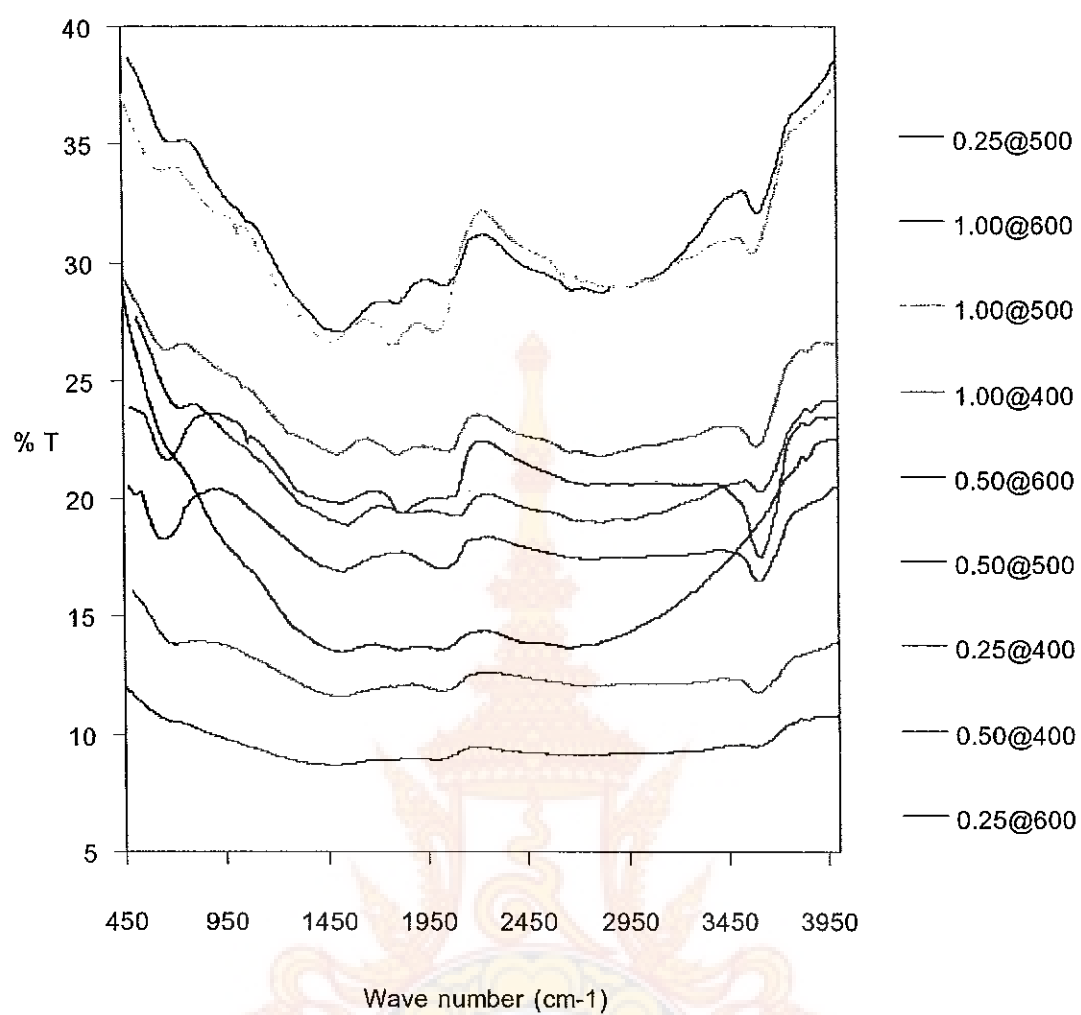
จากการวิเคราะห์ปริมาณหมู่ทำหน้าที่ชนิดต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเครื่องจะบอกถึงหมู่ทำหน้าที่ต่างๆ ที่ปรากฏออกมา ณ ความถี่ต่างกัน เป็นการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของหมู่ทำหน้าที่ในสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่างๆ ที่มีความถี่เฉพาะของหมู่ทำหน้าที่บางกลุ่ม

จากผลการทดลองการหาหมู่ทำหน้าที่เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer, FT-IR) ข้อมูลที่ปรากฏจะบอกถึงชนิดของหมู่ทำหน้าที่ต่างๆ ที่ปรากฏออกมา ณ ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ทำหน้าที่ของถ่านกัมมันต์

Temp. (°C)	Weight ratio	ZnCl ₂ activation			KOH activation		
		O-H	C=O	C≡C	O-H	C=O	C≡C
400	1:0.25	x	x	x	x	x	x
	1:0.5	x	x	x	x	x	x
	1:1	x	x	x	x	x	x
500	1:0.25	x			x		
	1:0.5	x	x		x		x
	1:1	x		x	x	x	x
600	1:0.25	x			x		x
	1:0.5	x		x	x		
	1:1	x		x	x		x

ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) มี หมู่ทำหน้าที่สำคัญปรากฏขึ้นในช่วงความถี่ 3500 – 800 cm⁻¹ โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคล้ายๆ กันคือ เมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นสูงขึ้น หมู่ทำหน้าที่ที่มีส่วนประกอบของออกซิเจนจะถูกทำลายไป แต่กลับมี หมู่คาร์บอนพันธะสามที่มีความแข็งแรงเกิดขึ้นมาทดแทน ซึ่งส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีสมบัติทางเคมีที่ไม่เหมือนกัน กล่าวคือถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น ณ อุณหภูมิ 500 °C หรือต่ำกว่านั้นจะมีสมบัติมีขั้วหรือ Hydrophilic แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้นเป็น 600 °C กลับส่งผลให้ความมีขั้วเริ่มลดลงและเป็น Hydrophobic มากขึ้น สังเกตได้จากการเกิดขึ้นของหมู่ C≡C ดังแสดงให้ดูในรูปที่ 4.5 เป็น FTIR spectra ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH ซึ่งจากรูปแสดงในเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นมากขึ้นหมู่ทำหน้าที่ C≡C ที่ปรากฏอยู่ ณ ความถี่ประมาณ 2,200 cm⁻¹ จะปรากฏพีคที่สูงชันมากขึ้น



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมหมู่ทำหน้าที่ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH

บทที่ 5

สรุปผลการทำวิจัย

5.1 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราต่อสารกระตุ้นที่มีต่อผลได้และตัวเลขไอโอดีน

จากการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์แล้วนำมาวิเคราะห์ผลได้และตัวเลขไอโอดีน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นสารกระตุ้นที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1:1 อุณหภูมิ 600 °C ได้ร้อยละผลได้เท่ากับ 70.5 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าร้อยละผลได้ของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้นโดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราและซิงค์คลอไรด์ที่ 1:1 อุณหภูมิ 600 °C จะมีค่าเท่ากับ 73.44 แต่ถ้าพิจารณาเลขไอโอดีนซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการกระตุ้นจะมีปริมาณการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ซิงค์คลอไรด์ในการกระตุ้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 911.97 mg/g และ 730.04 mg/g ตามลำดับ

5.2 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกเมล็ดยางพาราต่อสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่ทำหน้าที่บนผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มีหมู่ทำหน้าที่ที่สำคัญปรากฏขึ้นในช่วงความถี่ 3500-800 cm^{-1} และมีแนวโน้มที่คล้ายกันคือถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นเป็น 500 °C หรือต่ำกว่านั้นจะมีสมบัติการมีขั้วหรือ Hydrophilic แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้นเป็น 600 °C กลับส่งผลให้ความมีขั้วเริ่มลดลงและเป็น Hydrophobic มากขึ้น

บรรณานุกรม

- H. Jankowska, A. Swiatkowski and J. Choma, **Active carbon**, Ellis Horwood, New York, 1991.
- I.A.W. Tan, A.L. Ahmad, B.H. Hameed 2008. "Preparation of activated carbon from coconut husk: Optimization study on removal of 2, 4, 6-trichlorophenol using response surface methodology" **Journal of Chemical Engineering Hazardous Materials**, 153 (July -August) : 709–717.
- I.A.W. Tan, A.L. Ahmad, B.H. Hameed 2009. "Fixed-bed adsorption performance of oil palm shell-based activated carbon for removal of 2, 4, 6-trichlorophenol" **Journal of Chemical Engineering**, Bioresource Technology niversiti Sai (August -September) 100 :Bioresource Technology 1494–1496.
- J.M. Rosas, J. Bedia, J. Rodríguez-Mirasol, T. Cordero 2008. "HEMP-derived activated carbon fibers by chemical activation with phosphoric acid" Article history Fule **Journal of Chemical Engineering**, 88 (July –August): 19–26.
- M.K.B. Gratiuito a, T. Panyathanmaporn b, R.-A. Chumnanklang b, N. Sirinuntawittaya b, A. Dutta 2007. "Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology" **Journal of Bioresource Technology**, Bioresource Technology 99 (September - November): 4887–4895.
- Sundstrom and Klei. 1979 Wastwater treatment. New Jersey: Prentice-Hall. Valix, W.H. Cheung, K. Zhang Role 2008. " pre-treatment in the development of super-high surface areas and heteroatom fixation in activated carbons prepared from bagasse" **Journal of Chemical and Biomolecular Engineering** Microporous and Mesoporous Material, (April–May) :513–523.

Anton R. Reed and Paul T. Williams. 2005. **"Development of activated carbon pore structure via physical and chemical activation of biomass fiber waste"** Journal of biomass & bio-energy. 2006, 30 (December): 144-152.

A. Hellal, A. Namane, A. Mekarzia, K.Benrachedi and N. Belhaneche-Bensemra. 2005. **"Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl_2 and H_3PO_4 "** Journal of Hazardous Materials. 2005, 119 (January): 189-194.

A. Macias-Garcia, C. Gonzalez-Garcia, E. Sabio-Rey, J. Ganan-Gomez and M.A. Diaz-Diez. 2005. **"Preparation and characterization of activated carbons from impregnation pitch by ZnCl_2 "** Journal of applied surface science. 2006, 252 (December): 5976-5979.

A. Zabaniotou, G. Stavropoulos and V. Skoulou. 2007. **"Activated carbon from olive kernels in a two-stage process: Industrial improvement"** Journal of Bioresource Technology. 2008, 99 (February): 320-326.

Roop Chand Bansal, Jean-Bartiste Donnet and Fritz Stoeckli. n.d. Active Carbon. New York and Basel: Marcel Dekker, Inc.

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 8
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
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

นักวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววารภรณ์ ณะกุลรังสรรค์
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: warapornt@rmutk.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ การศึกษา	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2536	เอก	D. Eng. Doctor of Engineering	Catalyst Engineerin g	Catalyst Engineering	Kyoto University	ญี่ปุ่น
2530	โท	วศ.ม. วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	วิศวกรรม เคมี	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย
2521	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์ บัณฑิต	เคมี วิศวกรรม	เคมีวิศวกรรม	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมตัวเร่งปฏิกิริยา

นักวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ นางสาวปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง

Miss Pathumthip Tonthubthimthong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

3. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

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

e-mail : tpathumthip@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการ ศึกษา	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2545	เอก	วศ.ด. วิศวกรรมศาสตร ดุษฎีบัณฑิต	วิศวกรรม เคมี	วิศวกรรม เคมี	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2538	โท	วท.ม. วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต	เคมีเทคนิค	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย
2531	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์ บัณฑิต	เคมี	เคมี	มหาวิทยาลัย เชียงใหม่	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
การสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด การดูดซับ