



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไคตทกรด้วยระบบฟลูอิดไอเซนไอน้ำ
Study on Activated carbon Production from Low grade
Lougan with Steam Fluidization

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การสร้างมูลค่าเพิ่มถ่านไคตทกร
Increase Value-Added of Low Grade Longan

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554
จำนวน 300,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ดร.อัจฉรา แก้ววกड़ा
ผู้ร่วมโครงการ นายนิกราน หอมควง
 นายกิตติกร ชาติจิตต์
 นายวิชาญ คงธรรม

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

15 / พ.ค. / 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลการวิจัย	40
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	51
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	58

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1	แสดงวัตถุดิบชนิดต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์	6
ตารางที่ 2	การแบ่งกลุ่มของขนาดรูพรุน	11
ตารางที่ 3	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	14
ตารางที่ 4	สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไคตเกรด	25
ตารางที่ 5	ค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	42
ตารางที่ 6	สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไคตเกรด	43
ตารางที่ 7	สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไคตเกรด	45
ตารางที่ 8	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร	49
ตารางที่ 9	คุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์จากถ่านไคตเกรด	50
ตารางที่ 10	คุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์จากถ่านไคตเกรด	52

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	8
ภาพที่ 2	ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด	10
ภาพที่ 3	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	10
ภาพที่ 4	แผนการดำเนินการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านโคลกเกอร์	23
ภาพที่ 5	ถ่านโคลกเกอร์ก่อนการบดและบดละเอียด	24
ภาพที่ 6	กระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิสูง	25
ภาพที่ 7	กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ	26
ภาพที่ 8	กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก	27
ภาพที่ 9	ลักษณะของผงถ่านกัมมันต์จากถ่านโคลกเกอร์ที่พร้อมทดสอบคุณภาพ	27
ภาพที่ 10	การเตรียมสารเคมีในกระบวนการหาค่า Iodine number	31
ภาพที่ 11	การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับฟีนอลโดยใช้เครื่อง Specto photometer	35
ภาพที่ 12	การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	37
ภาพที่ 13	การศึกษาการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ	38
ภาพที่ 14	การผลิตน้ำส้มควันไม้จากถ่านโคลกเกอร์	39
ภาพที่ 15	การเปรียบเทียบพื้นผิวของเปลือกถ่านโคลกเกอร์ในสถานะต่างๆ	40
ภาพที่ 16	ความสัมพันธ์ของการดูดซับไอโอดีนกับเวลา ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ	41
ภาพที่ 17	ค่าการดูดซับ ไอโอดีนเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	42
ภาพที่ 18	ภาพรวมของผลการทดลองที่มีการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	43
ภาพที่ 19	พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากถ่านโคลกเกอร์ที่ผลิตได้	44
ภาพที่ 20	เปรียบเทียบลักษณะและขนาดของรูพรุนของพื้นผิวถ่านชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	45
ภาพที่ 21	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านโคลกเกอร์	46
ภาพที่ 22	ค่าการดูดซับ ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านโคลกเกอร์	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 23 ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ณ ความเข้มข้น 2 g/L	47
ภาพที่ 24 ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำของถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตได้และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	48
ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากถ่านกึ่งถ่านอัดแท่ง	48

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยเกรดต่ำด้วยระบบฟลูอิดไอเซนน้ำ

Activated Carbon Production from Shell and Seed Low Grade

Longan With Steam Fluidization

อัจฉรา แกล้วกล้า,¹ นิกราน หอมดวง,² กิตติกร ฐาสุจิตต์¹ และวิชาญ คงธรรม³

Achara Kleawkla,¹ Nikran Homdung,² Kitikorn Sasujit¹ and Wichan Kongtum²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีคาร์บอนไนซ์เซชันจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไย โดยใช้ส่วนเมล็ดและเปลือกเพื่อเพิ่มมูลค่าสิ่งที่เหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ขั้นตอนที่ 2 กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยระบบฟลูอิดไอเซนน้ำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้นำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยศึกษาปริมาณความชื้นและสมบัติทางเคมี โดยการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าการดูดซับฟีนอล งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมที่มีต่อสมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ ขอบเขตของสภาวะในการกระตุ้นทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิกระตุ้นอยู่ในช่วง 350 – 600 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 10 – 50 นาที ส่วนการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกนั้นได้ทำการศึกษาที่เวลา 2 -12 ชั่วโมง การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับนั้น ได้ศึกษาการดูดซับไอโอดีน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 1,203.7 ต่อกรัมถ่าน การดูดซับฟีนอล พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 80.67 มิลลิกรัมต่อกรัม การดูดซับสารอินทรีย์ซึ่งทำการวัดในรูปของการตรวจหาค่า COD นั้น พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 63.63% และในส่วนของ การดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งทำการวัดผ่านการละลายที่สมบูรณ์ในรูปของน้ำโซดาที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 9.48 g/L พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 93.67%

คำสำคัญ: คาร์บอนไนซ์เซชัน ฟลูอิดไอเซน

Abstract

Activated Carbon that is product from biomass have many carbon contains. It burned at high temperature, finally the product biomass has dark. Quality of these are high absorption many substance. Objective of this research is study method of production of Activated Carbon from low longans that used seed and peel longans for increased value-added low grade longans high uesfull. The production of Activated Carbon from low grade longans has 2 step. The first chemical method charcoal activated by phosphoric acid (H_3PO_4). Second physical method charcoal activated by steam fluidization. After activated it tested physical quality by study percent of moisture and chemical quality by study percent absorption of Iodine number and percent absorption of phynol. This research study effect condition of preparation for porous quality. Condition of activated physical method is temperature 350 – 420, time of activated about 10 – 50 mins. Chemical method activated by phosphoric acid study at 2 -12 hours. The study of high effience Iodine number that found Aetivated Carbon from low grade longans could absorption about 1,203.7 per gram Activated Carbon. The study of high effience phenoI that found Activated Carbon from low grade longans could absorption about 80.67 mg/g. The absorption waste organic could measured in COD method that found Activated Carbon could high absorp about 63.63%. And the carbondioxide dissovied in water full could measured in Soda water that has percent carbondioxide about 9.48 g/L, Activated Carbon from low grade longans could high absorp about 93.67%.

Key word : Cabonization Fludization

คำนำ

ลำไยเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เพราะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในประเทศไทย ปัจจุบันเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมการทำลำไยแห้งและลำไยกระป๋อง ในแต่ละปีมีการส่งออกลำไยและผลิตภัณฑ์รวมมูลค่ามากกว่า 2,000 ล้านบาทและมีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปลำไยหรือการบริโภคก็ตามนั้นจะมีเศษเหลือเป็นเมล็ดและเปลือกโดยเฉพาะจากการเก็บเกี่ยวจะต้องมีการตัดแต่งหรือคัดแยกลำไยให้ได้ขนาดและลักษณะตามที่ต้องการซึ่งทำให้มีลำไยที่เหลือจากการตัดแต่งซึ่งจะเป็นลำไยที่มีขนาดเล็ก แดก ไม่ได้มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยทิ้งผลเพื่อให้ใช้สิ่งที่เหลือให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ปัญหามลภาวะทางอากาศ และทางน้ำ ที่เกิดจาก โรงงานอุตสาหกรรมมีอัตราการขยายตัวสูงในปัจจุบัน เนื่องจากมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมสูง ซึ่งปัญหาเหล่านี้ต้องการวิธีแก้ไขเพื่อให้ปัญหาที่เกิดขึ้นลดลง ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นละออง กลิ่น สารเป็นอันตรายต่างๆ รวมถึงโลหะหนัก ต่างๆ ที่มาจากโรงงานฝ่ายการผลิตต่างๆ เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเคลือบชุบโลหะ โดยมีการปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการบำบัด ส่งผลกระทบต่อประชากรหากได้รับการสะสมที่ในระดับที่เกินมาตรฐานก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพต่อประชาชน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำวิธีการ และเทคนิคต่างๆ มาให้บำบัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ทั้งกระบวนการทางเคมีและทางธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการนำมาใช้เพื่อกรองสารพิษกลิ่นสีหรือฝุ่นละอองและสามารถใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน (Ajmal, 2003)

ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกกล้วย เปลือกมะม่วงหิมพานต์ กะลามะพร้าว โดยวัสดุแต่ละชนิดให้สมบัติการเป็นถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน โดยโครงสร้างของวัสดุเอง และถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยข้อดี หรือข้อได้เปรียบของถ่านกัมมันต์คือเป็นวัสดุจากธรรมชาติ สามารถลดการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัดได้ ในการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้เป็นถ่านกัมมันต์ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง ซึ่ง

สอดคล้องกับการทำเกษตรกรรมอาชีพหลักของประเทศไทย และมีวัตถุประสงค์ใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีสูง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำผลลำไยทิ้งผลที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากผลลำไยทิ้งผลด้วยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ และการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากผลลำไยทิ้งผล และเพื่อศึกษานำเสนอแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์จากผลลำไยที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้
 - การกระตุ้นที่ใช้ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก และใช้การกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ
 - ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) โดยทำการศึกษาค่าต่างๆ ดังนี้
 - ศึกษาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087)
 - ศึกษาค่าร้อยละของความชื้น (AWWA B 604)
 - ศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (AWWA B 604)
 - ศึกษาการดูดซับสารฟีนอล
 - ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ
 - ศึกษาการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยตกเกรดซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ผลิตลำไย
- ทราบแนวทางและองค์ความรู้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ
 - เป็นการนำประโยชน์จากชีวมวลเหลือทิ้งประเภทลำไยตกเกรด ที่เกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกสามารถที่จะผลิตเป็นอาชีพได้อีกทางหนึ่ง
 - เป็นการนำประโยชน์จากลำไยตกเกรดที่มีคูล่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ (จินตารัตน์, 2546) ซึ่งสามารถที่จะสรุปโดยภาพรวม ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีามีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

แต่เดิมนั้นเราทราบกันเพียงว่า ถ่านมีสมบัติในการดูดซับสีในของเหลว (คริสต์ศตวรรษที่ 15) ต่อมาในปี พ.ศ. 2334 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านจากกระดูกสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งมาจากไม้ ต่อมาจึงนิยมนำถ่านจากกระดูกมาฟอกน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่ง ในปี พ.ศ. 2365 มีผู้พบว่า ถ่านที่ได้จากการเผาเลือกกับค้างขี้เถ้ามีความสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านกระดูกถึง 20-50 เท่า ในปี พ.ศ. 2443 Ostreyko นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ได้ค้นคิดวิธีหนึ่ง คือ ใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผาจึงนับได้ว่า Ostreyko เป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอย่างจริงจัง ทำให้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ในชื่อต่างๆ กันอีกมากมาย เช่น Epomit , Norit , Carboraffin , Filtchar ฯลฯ และได้มีการปรับปรุงมาเรื่อยๆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นนิยมใช้ในการดูดสี ฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลซึ่งพบว่าใช้ได้ผลดีกว่าถ่านกระดูก

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำเอาถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษจากจุดนี้เองทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษเพราะมีลักษณะพอง เบา และต้องใช้ในปริมาณมาก ทำ

ให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซ โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ผลิตจากกะลามะพร้าว มีสมบัติในการดูดซับก๊าซได้ดี ส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะฟอง เบนนั้น ได้จากไม้ ขี้เลื่อย ถ่านหินชนิดร่วน (Peat) ถ่านหินลิกไนต์และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย เปลือกผลไม้ ชังข้าวโพด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้น ไม่มีมาก เช่น กระดุก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง
- มีสมบัติคงที่

ตารางที่ 1 แสดงวัตถุดิบชนิดต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบประเภทพืช	วัตถุดิบประเภทอื่นๆ
- ชายอ้อย	<u>สัตว์</u>
- กากน้ำตาล	- เลือดสัตว์
- แกลบ	- กระดุก
- กากของบีท (Beet-sugar sludge)	- กากหนัง
- กะลามะพร้าว	- เขาสัตว์
- ชังข้าวโพด	<u>ถ่านหินและอื่นๆ</u>
- เปลือกเมล็ดฝ้าย	- ถ่านหินลิกไนต์
- เปลือกถั่วลิสง	

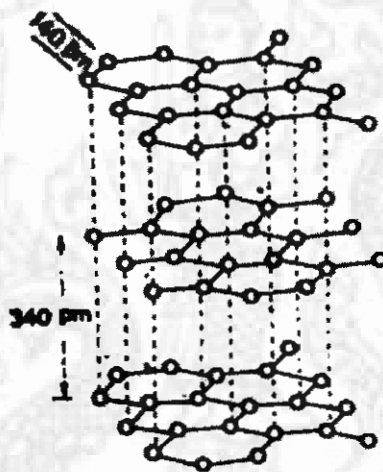
ถึงแม้ว่าจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้จากวัตถุดิบหลายชนิด แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการดูดซับหรือกลั่นแยกต่างกัน เช่น กะลามะพร้าว เมื่อเผาจะเกิดการหดตัวทำให้ได้รูพรุนที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง เหมาะสำหรับดูดก๊าซและกลั่น ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากไม้ เมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีสมบัติเหมาะต่อการดูดซับสี อย่างไรก็ตามคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ก็มีอิทธิพลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยเช่นกัน

โครงสร้างของผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เตรียมจากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิสูงกว่า $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ ซึ่งเรียกว่า การคาร์บอนไนซ์ โดยความร้อนจะสลายอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จนเหลือแต่อะตอมของคาร์บอนที่มีรูปแบบและเกิดการสร้างวงอะโรมาติก (Aromatization) โดยอะตอมคาร์บอนซึ่งเดิมสร้างพันธะโดยใช้ออร์บิทัลจากชั้น $2s$ จำนวน 2 ตัวและชั้น $2p$ จำนวน 2 ตัว เกิดการ Hybridization เปลี่ยนมาใช้ออร์บิทัลจากชั้น $1s$ เพียง 1 ตัวและชั้น $2p$ จำนวน 2 ตัวและมีออร์บิทัลอิสระจากชั้น $2p$ อีก 1 ตัวจึงเกิดพันธะแบบซิกมา (Sigma bond) กับคาร์บอนอะตอมข้างเคียง 3 ตัว เรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากและออร์บิทัลอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของระนาบพร้อมที่จะเกิดพันธะไพ (Pi bond) ซึ่งในที่สุดก็จะเกิดวงแหวนอะโรมาติกเคลื่อนที่ (Resonance) ทั่วทั้งโครงสร้างได้เป็นวงอะโรมาติกเชื่อมโยงกันอย่างไม่มีการวางตัวระหว่างชั้นไม่ตั้งฉากกัน ช่องว่างระหว่างชั้นจึงชิดมาก ทำให้แรงกระทำน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้นเมื่อมีอะตอมออกซิเจน (วิชัยและเกษม, 2543)

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (ศิริลักษณ์, 2547)

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือ การทำให้มีความพรุนไม่ใช่เป็นการกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

หลักการทำงานของถ่านกัมมันต์

การดูดซับเกิดขึ้นคือเมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างถ่านกัมมันต์ที่มีผิวสะอาดกับไอหรือสารละลายของสารที่ต้องการดูดซับ โดยที่ทั้งไอหรือสารละลายนั้นจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) และไอนั้นยังสามารถควบแน่นได้ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (T) ความดัน (P) และยังขึ้นอยู่กับพลังงาน (E) ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ (ปริญทร, 2551)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ (ปริญทร, 2551)

แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

ก. กระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ซิงค์คลอไรด์ และโซเดียมคลอไรด์

ข. กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการค้ามี 2 รูปแบบ ได้แก่ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก

แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (วิชัยและเกษม, 2551)

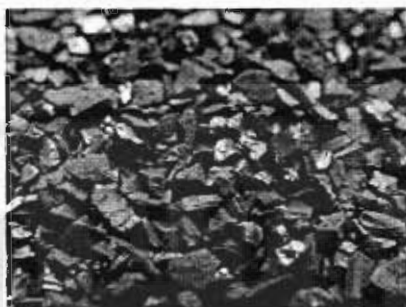
ก. ขนาดเล็ก (Micro pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 nm มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

ข. ขนาดกลาง (Meso pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. ขนาดใหญ่ (Macro pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

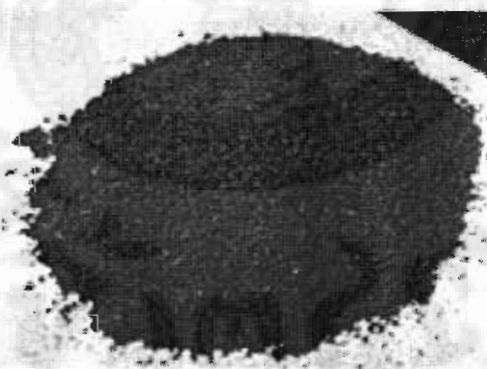
แบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activation carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 μm ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ดใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมโพลีเอทิลีน อุตสาหกรรมฟิล์มโปร่งแสง อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคลือบผ้า อุตสาหกรรมก๊าซ นอกจากนี้ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการปฏิกิริยาของก๊าซและใช้เป็นวัสดุทำหน้ากักป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ



ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด

ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด $150\ \mu\text{m}$ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก มีลักษณะผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นและแต่งรสของสารละลายได้หลายชนิด ใช้ในการทำน้ำคาลให้บริสุทธิ์ใช้ในอุตสาหกรรมไขมันและน้ำมันทำให้ไขมันและน้ำมันปราศจากสีหรือสีอ่อนลง ใช้ในการทำน้ำประปา ให้มีรสและกลิ่นดีขึ้น ใช้ในการทำน้ำอัดลมบรรจุขวด นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆอีก เช่น ผงชูรส เครื่องดื่มประเภทเบียร์หรือไวท์ ชีส์ ผึ้ง พลาสติก ก๊าซพิษและในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (ปริญทร, 2551)



ภาพที่ 3 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ลักษณะการดูดซับ (ศิริลักษณ์, 2547)

ถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดซับสีและกลิ่น ในสภาพของเหลวและก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิดคือ

Gas-adsorption carbon โดยมากมักใช้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เช่น การนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ การแยกก๊าซหรือการนำไปใส่ถังกักเก็บ

Liquid-adsorption carbon ถูกนำมาใช้กับงานฟอกสีหรือทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ มีลักษณะเหลวๆ เช่น ขี้ผึ้ง

ข้อแตกต่างระหว่าง Gas-adsorption carbon และ Liquid-adsorption carbon คือการกระจายขนาดของรู (pore-size) แสดงให้เห็นว่า Gas-adsorption carbon มีมากที่สุดในรูปแบบ Micropore คือรัศมีอยู่ในช่วง 3-50 °A นอกจากนี้ยังอาจอยู่ในรูปแบบ Macropore คือรัศมีอยู่ในช่วง 1,000-5,000 °A และในช่วง transition จะมีรัศมีอยู่ในช่วง 50-1,000 °A แต่จะมีปริมาณไม่มากนัก

โดยทั่วไปแล้ว Liquid-adsorption carbon จะมีพื้นที่ผิวพอกๆกับ Gas-adsorption carbon แต่จะมีปริมาตรช่องว่างทั้งหมดใหญ่กว่า

Liquid-adsorption carbon ทั้งหมดไม่จำเป็นที่จะใช้งานในการดูดซับของเหลว ทั้งนี้เพราะขนาดของถ่านกัมมันต์มีทั้ง Micropore และ Transition ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง transition เป็นส่วนใหญ่แต่ในช่วง Micropore ก็มีไม่น้อยเช่นกัน เนื่องมาจากขบวนการผลิตต่างๆกันและมาจากวัตถุดิบต่างๆกัน แต่ถ้าต้องการให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณคาร์บอนอยู่มาก เพื่อให้เหมาะกับสภาพการใช้งานในสภาพ Liquid-adsorption carbon นั้นจะต้องมีการเลือกใช้วัตถุดิบ ซึ่งตัวอย่างของวัตถุดิบเหล่านี้ ได้แก่ ขี้เลื่อย ถ่านลิกไนท์ บิทูมินัส ถ่านปิโตรเลียม

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มของขนาดรูพรุน

Class of pore	Radius of pore
Micropore	3-50 °A
Transition	50-1000 °A
Macropore	1000-50000 °A

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงการดูดซับจะลดลง
2. ความดัน การดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าความดันเพิ่ม
3. เฟสของระบบมีผลต่อการดูดซับ เช่น ตัวดูดซับตัวหนึ่งมีความสามารถในการดูดเฟสก๊าซได้ดี แต่อาจจะไม่มีความสามารถในการดูดซับในเฟสของเหลวก็ได้
4. ขนาดของอนุภาค อัตราการดูดซับจะขึ้นอยู่กับผิวหน้าของตัวดูดซับและความเร็วในการแพร่กระจายของก๊าซเข้าไปในอนุภาค
5. ตัวขัดขวาง (Contaminate) ซึ่งอาจสะสมในระหว่างดูดซับ

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (บุญ, 2548)

การกระตุ้น (Activation) แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

1. การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้แพร่หลายคือ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลไฟด์ สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น หลักการเตรียมด้วยวิธีนี้เตรียมได้ 2 แบบ

ก. การผสมสารเคมีกับวัตถุดิบโดยตรง โดยนำถ่านที่ผ่านการบดและคัดแยกผ่านตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดที่เหมาะสม นำไปแช่ในสารเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน (pyrolysis) เมื่อนวดให้เข้ากันดีแล้วนำมาเผาในอุณหภูมิสูง ไม่ให้อากาศเข้า เมื่อเย็นลงนำมาสกัดแยกสารเคมีออก ก็จะได้ถ่านที่มีปฏิกิริยาตามต้องการไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข. การผสมสารเคมีกับวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนในเซชัน โดยนำอินทรียัดดูไปผ่านการคาร์บอนในเซชันให้ได้ผลึกถ่านก่อนแล้วจึงเติมสารเคมีก่อกัมมันต์อีกทีหนึ่ง

สำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบแรกจะมีความลำบากตอนที่ล้างสารประกอบที่เกิดขึ้นตามรูปพรุนได้ยากกว่าแบบหลัง

การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง

- กระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้
- อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500-900 °C
- สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก

การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สถานะที่อุณหภูมิประมาณ 130 °C หลังจากนั้นจะนำไปคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 °C ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลง

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 °C ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้ สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีโดยวิธีนี้

ในการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีนี้ ขนาดของถ่านมีอิทธิพลต่อการดูดซับมาก จะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเปลี่ยนไป มีผลต่อความจุของการดูดซับ โดยที่ความจุของการดูดซับจะแปรผันตามพื้นที่ผิวทั้งหมดของถ่าน เพราะฉะนั้นผงถ่านที่หนักเท่ากัน ถ่านที่เป็นผงละเอียดมากกว่าจะมีความจุของการดูดซับมากกว่า

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ หรือไอน้ำซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800-1,000 °C เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated stream) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (porous)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกรณีผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกายภาพ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

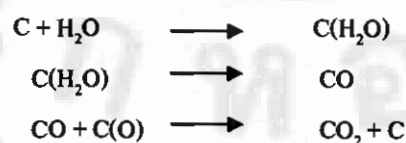
- แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ
- ตัวเครื่อง ประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร มอเตอร์หมุน ที่วัดอุณหภูมิและเครื่องควบแน่น
- แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้ามาในตัวเครื่องเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

โดยในการผลิตเตาเผา จะใช้ทีมนักวิศวกร นักเคมี และผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการก่อสร้างซึ่ง โครงสร้างของเตาเผาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการผลิตถ่านกัมมันต์

ก. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ เป็นการกระตุ้นทางกายภาพอย่างหนึ่ง ทำโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ 750-950 °C ไอน้ำจึงสามารถทำปฏิกิริยากับผลึกถ่านได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ดังนี้

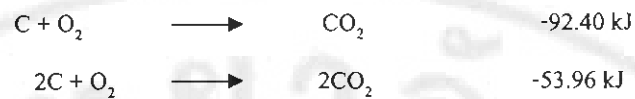


โดยมีกลไก (mechanism) ดังนี้



ถ่านที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ มีค่าคาร์บอนประมาณร้อยละ 97-98 และยังคงมีรูปร่างที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถตรวจชนิดของวัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์จากกล้องจุลทรรศน์

ข. การกระตุ้นด้วยอากาศ ปฏิกริยานี้ใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เช่นกันดังสมการ



การกระตุ้นด้วยอากาศ ต้องใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 800 °C ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับผลึกคาร์บอน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

ค. การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เช่นกันดังสมการ



จะเห็นว่าได้ปฏิกริยานี้ ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่า วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 °C ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี (ปรินทร, 2551)

วิธีการกระตุ้น	ข้อดี	ข้อเสีย
กายภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็ก - ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุ อุปกรณ์ หายาก มีความเฉพาะเจาะจง
เคมี	<ul style="list-style-type: none"> - สะดวกง่าย ไม่ยุ่งยากในการทดลอง 	<ul style="list-style-type: none"> - ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ - มีสารเคมีตกค้างต้องเสียเวลาดำเนินานาน - ต้นทุนในการผลิตสูง

การวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ (บุญ, 2548)

การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดซับคาร์บอน (Adsorptive Capacity) ซึ่งได้มีการใช้ Adsorbate ที่มีความเข้มข้นชนิดต่างๆ ได้แก่ Phenol, Tannin , Iodine และ Molasses การดูดซับ Phenol เป็นดัชนีวัดความสามารถของคาร์บอนในการกำจัดรสและกลิ่นทางเคมี ส่วนการดูดซับ Tannin ใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการดูดซับ

สารประกอบอินทรีย์ในน้ำที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชผัก การดูดซับ Iodine และ Molasses ใช้แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนนี้ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ได้

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (มีหน่วยเป็น m^2/g) จะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของคาร์บอนทำได้โดยการหาปริมาณใน ไตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดเก็บไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number (ค่าการดูดซับ ไอโอดีน) หรือ Molasses Number (ค่าการดูดซับ Molasses) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวคาร์บอน

Iodine Number แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (ขนาดใหญ่กว่า $28^\circ A$)

การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้น ถูกใช้ในการดูดซับและฟอกสีสารต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ดังนั้นการทดสอบสามารถแบ่งตามสภาพของการทดสอบได้ทั้ง 3 วิธีด้วยกัน คือ

- การทดสอบสมบัติทั่วไป (General Properties of Activated Carbon Test)
- การทดสอบสมบัติต่างๆเกี่ยวกับการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับของเหลว (Liquid Adsorption Test)
- การทดสอบสมบัติต่างๆเกี่ยวกับการนำถ่าน ไปใช้งานกับก๊าซ (Gas Adsorption Test)

ทฤษฎีการดูดซับ (พิศิษฐ์, 2549)

กลไกการดูดซับ (Mechanisms of Adsorption)

เนื่องจากการดูดซับในการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมาข้างของแข็งหรือของเหลว การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (Adsorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่บนนอกของถ่าน

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจจะดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน ปรากฏการณ์ดูดซับของถ่านกัมมันต์ แบ่งได้ 4 ชนิดคือ การดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนและการดูดซับแบบเจาะจง

การดูดซับทางกายภาพ (นิรนาม, 2547)

การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ พันธะไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมี

- โพลาร์กับโพลาร์โมเลกุลเกิดจาก Orientation effect คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

- นอนโพลาร์กับนอนโพลาร์โมเลกุล เกิดจาก Dispersion effect ซึ่งเป็นผลมาจากหลักการที่ว่า นอนโพลาร์โมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพล โมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากจะทำให้ไดโพลาร์โมเลกุลได้และเมื่อมีนอนโพลาร์ที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกันมักเป็นแรงที่อ่อน (เช่น สารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์ เพราะสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นนอนโพลาร์โมเลกุล)

- โพลาร์และนอนโพลาร์โมเลกุลเกิดจาก Induce effect ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของโพลาร์ โมเลกุลเข้าใกล้กับนอนโพลาร์โมเลกุล เหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกันซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันเป็นหลายชั้น

การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. เป็นชนิดพันธะเคมี (Chemical bond) เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอนไปเลยหรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแรงกว่าแรงทางกายภาพ

2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี (Chemical Compound)

การดูดซับแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่อยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับ แลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

ในระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนด้านกัมมันต์หรือสารดูดซับอื่นๆ โมเลกุลส่วนใหญ่เกาะติดอยู่ในโพรงคาร์บอนและมีบางส่วนเกาะติดที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาคาร์บอนเกิดขึ้นได้ถึงจุดสมดุลจึงหยุด ความเข้มข้นโมเลกุลของน้ำจะเหลือน้อยมากเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปจับอยู่บนคาร์บอน อัตราเร็วและขีดความสามารถของการดูดซับคาร์บอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอนคือ ขนาดและพื้นที่ผิวขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดคาร์บอน ดังนั้นคาร์บอนที่มีขนาดเล็กจะดูดซับได้ดีกว่าคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ ฉะนั้นคาร์บอนผงจึงมีอัตราการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนเม็ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูด โมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอนทั้งแบบผงและแบบเม็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกันซึ่งหมายถึงความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน

ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวคาร์บอน

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะกับผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างหนาแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวคาร์บอนได้ดีกว่า แต่มีสารบางชนิดที่ละลายเกาะติดผิวคาร์บอน ได้ยาก แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดซับผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับและมีความสามารถในการละลายน้ำ

ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่ออัตราการดูดซับ ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง อัตราการดูดซับจะเร็วและมากเพราะค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี ทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนไม่มีขั้วค่อนข้างเป็นลบจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้วของสารในน้ำมาเกาะที่ผิวของคาร์บอนได้ดี

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับติดผิวจะลดลง เนื่องจากกระบวนการการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

สถานการณ์ด้านกัมมันต์ในปัจจุบัน (นิรนาม, 2547)

ด้านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ได้หลายอุตสาหกรรม ทั้งนี้ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ด้านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิต ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการด้านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ หน้ากากป้องกันพิษ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบกับปัญหามลภาวะเป็นพิษทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีปริมาณความต้องการด้านกัมมันต์สูงขึ้นเช่นกัน โดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรยากาศ

- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำก็หายากขึ้น ทั้งนี้ด้านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆออกไป

- กลุ่มโรงงานชุบโลหะ ซึ่งจะมีการระบายน้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักประเภทต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง เป็นต้น ออกมาสู่แหล่งน้ำต่างๆแต่เนื่องด้วยข้อบังคับกฎหมายว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานชุบโลหะต้องทำการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นก่อนการระบายสู่แหล่งน้ำเป็นเหตุให้มีความต้องการด้านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดดังกล่าวในการเป็นตัวดูดซับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำออกไป

- กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป มักมีกลิ่นของวัตถุดิบอาหารที่เหม็นคาว โดยบางครั้งยังเป็นกลิ่นโชยออกไปนอกพื้นที่โรงงานส่งผลให้ชาวบ้านใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะมีการใช้

ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลิ่นต่างๆให้จางลง ไป ซึ่งในปัจจุบันในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราการขยายตัวค่อนข้างสูง อีกทั้งเป็นกลุ่มที่ทำรายได้และนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้รัฐบาลให้การสนับสนุนเป็นอย่างมาก โดยเมื่ออุตสาหกรรมขยายตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ก็ย่อมขยายตัวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันนอกจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆแล้ว ด้วยคุณสมบัติในด้านการดูดกลิ่นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือนได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับภายในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า หรือใช้เป็นตัวดูดกลิ่นในรองเท้า โดยมีการบรรจุในผลิตภัณฑ์ที่สวยงามและขนาดกระทัดรัด สามารถพกพาไปไหนได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีกลุ่มตลาดที่กว้างขวางมาก ไม่จำกัดอยู่ในอุตสาหกรรมใดอุตสาหกรรมหนึ่งเป็นการเฉพาะ ฉะนั้นผู้ผลิตถ่านกัมมันต์จะมีความเสี่ยงด้านพึ่งพาทลาดกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งตลาดเดียวต่ำมาก นอกจากนี้ไม่เพียงแต่มีตลาดอยู่เฉพาะภายในประเทศเท่านั้น ปัจจุบันยังสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย แม้ว่าจะต้องอาศัยการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเป็นบางส่วน แต่ก็มีความมั่นใจว่าจะสามารถทดแทนการนำเข้าได้มากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศยังไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้นัก โดยผู้ใช้นักมีทัศนคติและความเชื่อมั่นในสินค้าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศว่ามีคุณภาพดีกว่าสินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์บางชนิดที่ยังไม่มีการผลิตภายในประเทศเนื่องจากปริมาณความต้องการยังไม่มากพอรวมทั้งวัตถุดิบภายในประเทศไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่น ถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน เป็นต้น ทำให้ไม่คุ้มทุนสำหรับการลงทุนผลิตของผู้ประกอบการในประเทศ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณการนำเข้า-ส่งออกสินค้าประเภทถ่านกัมมันต์ พบว่า ไทยยังคงนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ ในปี พ.ศ.2549 มีมูลค่า 349 ล้านบาท จากประเทศต่างๆเช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ขณะเดียวกันไทยมีมูลค่าส่งออกสูงถึง 171 ล้านบาท โดยประเทศที่ส่งออกหลักคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น บราซิล โดยถ่านกัมมันต์ของไทยมีความมั่นใจว่าจะสามารถส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้สูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ผลิตที่ใช้กะลามะพร้าว เปลือกผลไม้ เป็นวัตถุดิบเนื่องจากมีผู้ผลิตจากประเทศอื่นๆเพียงไม่กี่ประเทศที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ได้ ซึ่งได้แก่ ศรีลังกา มาเลเซีย และฟิลิปปินส์

งานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์

พิศิษฐ์ (2549) ได้ศึกษาการผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้วเพื่อหาเทคนิคที่สามารถควบคุมการผลิตถ่านกัมมันต์โดยขนาดรูพรุนตามที่ต้องการได้ โดยนำยางรถยนต์ที่แยกเฉพาะส่วนที่ต้องการ นำมาบดเป็นผงและให้ความร้อนที่เหมาะสมจนได้เป็นถ่านออกมา จากนั้นก็นำไปอัดเม็ดและบรรจุท่อ ก่อนนำไปทดลองใช้จริง พบว่าสามารถพัฒนาเทคนิคในการผลิตถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้วที่มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลเทียบได้กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และมีความสามารถในการดูดซับสีข้อมอินทรีย์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

บุญ (2548) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดสำหรับกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ เริ่มจากการเผาถ่านขังข้าวโพดในเตาเผาอับอากาศที่อุณหภูมิ 300°C ถึง 500°C แล้วผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ยิ่งยวดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบนี้สามารถนำมาใช้ในการจับโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

จุฑามาส (2547) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย ZnCl_2 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ ให้ความเข้มข้นของ ZnCl_2 35% โดยน้ำหนัก และเวลาในปฏิกิริยาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิในการเผา คือ 700°C ตามลำดับและจากภาพ SEM พบว่าถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็กและรูพรุนขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้าง โดยมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกว่ารูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก

ศิริลักษณ์ (2547) ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและเปลือกข้าว โดยนำวัตถุดิบมาผ่านขั้นตอนการทำเป็นถ่าน แล้วนำมาผ่านกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีคือ สารละลายสังกะสีคลอไรด์ นำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 249.9 mg/g ขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าวได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 248.1 mg/g

จินดารัตน์ (2546) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการนำกะลามะพร้าวเผาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที หาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ย 34.09 ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 260°F เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดค่าเลขไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ยได้ 172 mg/g และทำการกระตุ้นทางเคมีโดยแช่สารละลายซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน 2:1 นำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าเลขไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ย 534 mg/g

เทิดธรรมและวิศิษฎ์ (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์คลอไรด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยทำการคาร์บอนไนซ์ ถ่านกะลาที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้นำถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ ไปก่อกัมมันต์ด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 5.00 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนสารละลายต่อถ่านกะลามะพร้าวเป็น 2:1 ที่อุณหภูมิ 600-800 °C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง พบว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการก่อกัมมันต์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีสมบัติที่ดีกว่าในกรณีใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยการก่อกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงให้ค่าเลขไอโอดีนสูงสุด 621.9

วิชัยและเกษม (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ และซังข้าวโพดโดยการเผาไหม้ในที่อับอากาศและใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการกระตุ้นและหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า อุณหภูมิเผาเท่ากับ 920 °C อัตราส่วนเกลือ : ไม้ไผ่เท่ากับ 2 : 1 ระยะเวลาเผา 50 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 670 mg/g และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 24 % ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของการเผาซังข้าวโพดคือ 850 °C อัตราส่วนเกลือต่อซังข้าวโพดเท่ากับ 4 : 1 ระยะเวลาเผาเท่ากับ 70 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน 736.98 mg/g และร้อยละของผลผลิตได้เท่ากับ 13 %

ลลิตา (2544) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าการดูดติดผิวตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่าเปลือกทุเรียน 90 % และเปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ฉนิพันธ์ (2550) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นกรองอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ฟันสีรถยนต์จากถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพอุณหภูมิการเผาที่ 700 °C ระยะเวลากระตุ้น 15 นาทีมีความเหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เนื่องจากมีค่าดูดซับไอโอดีนสูงสุด 784.33 mg/g ค่าร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 24.79 ค่าความชื้นร้อยละ 3.14 คิวประสานที่เหมาะสมคือ ยิปซัม ในอัตราส่วนยิปซัมต่อถ่านกัมมันต์ 30:70 มีค่าความแข็งต่อแรงอัด 846.67 N/cm³ มีความหนาแน่นปรากฏ 0.37 g/cm³

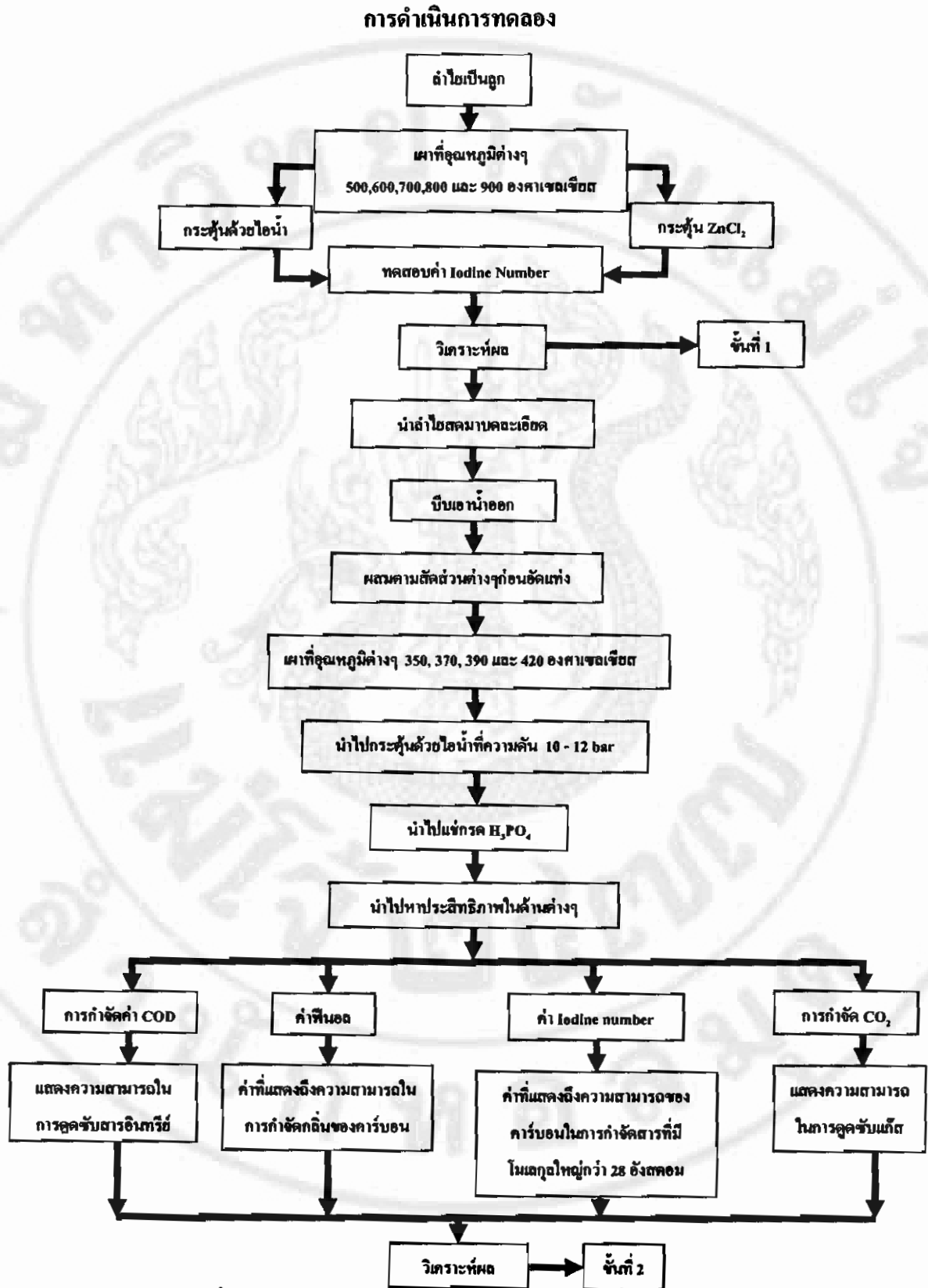
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ในกระบวนการทดลอง

- เครื่องอัดแท่งถ่านขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง
- เครื่องบดละเอียดขนาด 2 แรงม้า 1 เครื่อง
- เตาเผาอุณหภูมิสูง 1 เครื่อง
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) 1 เครื่อง
- กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 85 %
- ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
- ตะแกรงขนาด 0.1 – 0.05 mm.
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- แวนตากันกรด
- หน้ากากกันแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

กระบวนการดำเนินการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรด พบว่า มีกากที่เหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการที่จะผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้น จะต้องมีการป้องกันการเกิดกระบวนการกลายเป็นเถ้าของกากลำไย โดยจากลักษณะของเปลือกลำไย เมล็ด และเศษเนื้อลำไย สามารถที่จะนำมาอัดเป็นทางได้ เพื่อป้องกันการกลายเป็นเถ้าในกระบวนการ Carbonization โดยจากภาพที่ 3.1 เป็นกระบวนการดำเนินการทดลองเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ โดยมีการใช้สารเคมีในกระบวนการกระตุ้นให้เกิดรูพรุน คือ กรดฟอสฟอริกและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการนำถ่านที่ได้ไปทดสอบตามคุณลักษณะต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้



ภาพที่ 4 แผนการดำเนินการทดลองการผลิตด้าโยเมทิลเอสเตอร์จากด้าโยคกกรด

การอัดแท่งลำไยตากเกรด

จากภาพที่ 5 เป็นขั้นตอนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด โดยต้องนำมาทำการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งก่อนกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เพราะถ้านำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงเลยในลักษณะที่เป็นกาก จะทำให้เกิดการเผาไหม้เป็นเถ้า ซึ่งจะไม่เป็นผลดีต่อการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด รูปที่ [1] เป็นผลลำไยตากเกรดก่อนกระบวนการบดอัด รูปที่ [2] เป็นกากลำไยที่ผ่านการบดอัดในขั้นตอนการผลิตเอทานอล รูปที่ [3] เป็นกระบวนการอัดแท่งลำไยตากเกรด และรูปที่ [4] เป็นแท่งลำไยตากเกรดที่ผลิตได้



[1] ผลลำไย

[2] กากลำไย



[3] การอัดแท่งลำไย



[4] ลำไยที่ผ่านการอัดแท่ง

ภาพที่ 5 ลำไยตากเกรดก่อนการบดและบดละเอียด

กระบวนการเผาและกระตุ้นด้วยสารเคมีและไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 4 เป็นการออกแบบสภาวะในการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด โดยจะมีสภาวะที่ใช้ในการศึกษาในขั้นตอนที่ 2 นั้นเท่ากับ 8 สภาวะ โดยใช้กรดฟอสฟอริก 85% เป็นตัวกระตุ้นในการเกิดรูพรุน อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 3 ลิตรต่อวินาที และความเร็วของการไหลเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตากเกรด

สภาวะที่	แป้ง : ลำไย : แกลบ	การเผา	สภาวะในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	เวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 85%
1	1:8:1	T=350, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
2	1:8:1	T=350, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
3	2:6:2	T=370, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
4	2:6:2	T=370, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
5	1:6:3	T=390, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
6	1:6:3	T=390, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
7	2:5:3	T=420, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
8	2:5:3	T=420, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12

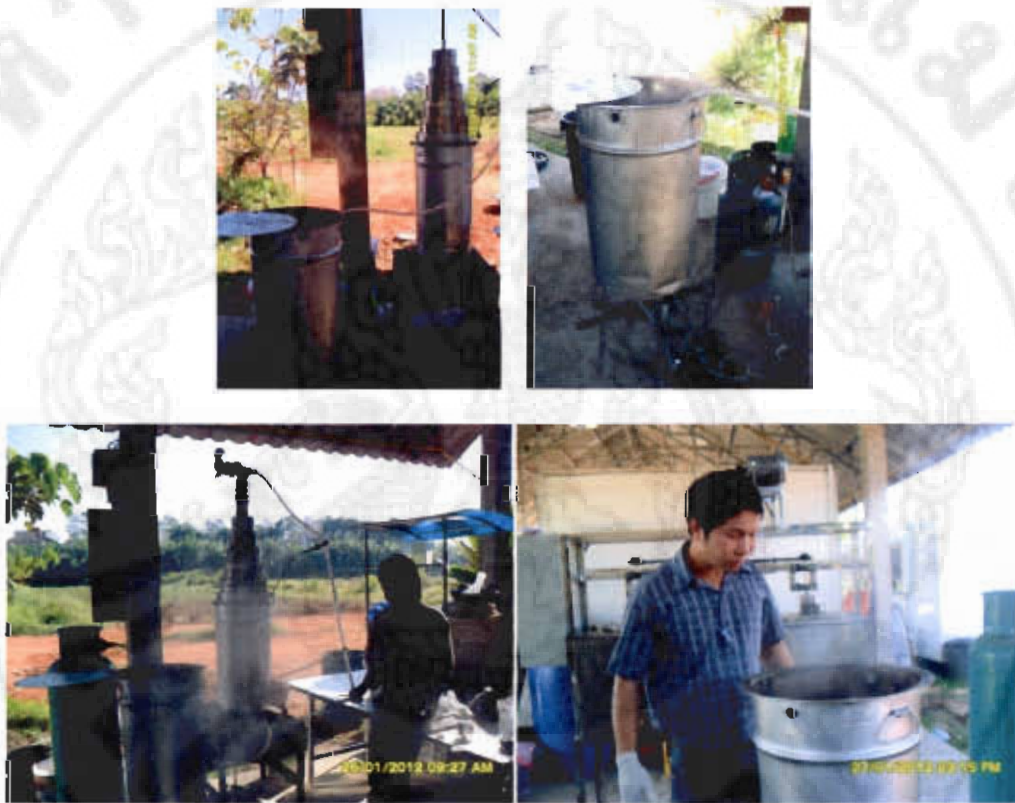
3.2.2.1 ขั้นตอนในการเผา (Carbonization)



ภาพที่ 6 กระบวนการคาร์บอนในเข้ชั้นที่อุณหภูมิสูง

จากภาพที่ 6 เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อกระตุ้นให้โครงสร้างภายในของแท่งถ้ำไยเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ให้มีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยใช้อุณหภูมิ 350 – 420 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ



ภาพที่ 7 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ้ำกัมมันต์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

จากภาพที่ 7 กระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำอ้อมตัว โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 3 ลิตรต่อ นาที ความเร็วของการไหลเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที โดยจะกระตุ้น ณ ความดัน 10 – 12 บาร์ อุณหภูมิในการกระตุ้นจะอยู่ในช่วง 105 – 112 องศาเซลเซียส

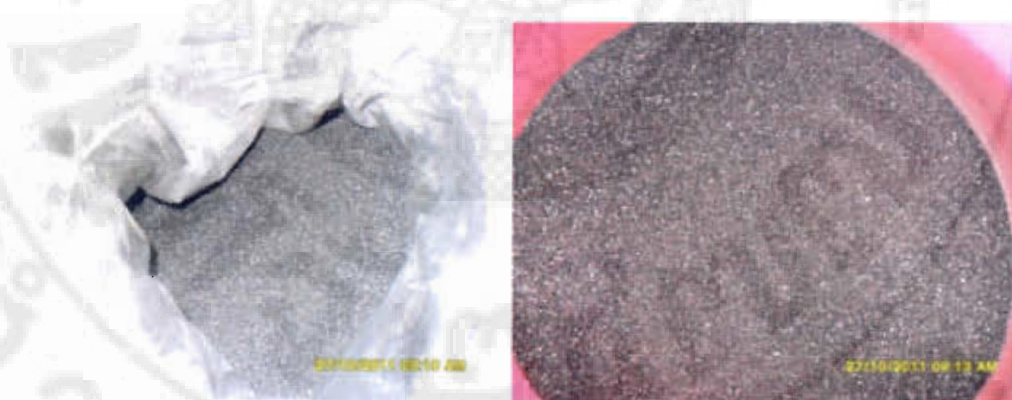
ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี คือ กรดฟอสฟอริก 85%



ภาพที่ 8 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวผ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก

จากภาพที่ 8 เป็นการกระตุ้นพื้นผิวผ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 85% เป็นเวลา 4 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด จนมีค่าพีเอชเป็นกลาง คือ ประมาณ 7 – 7.5 และหลังจากนั้นจำเป็นต้องนำไปอบให้แห้ง

ขั้นตอนการบดละเอียดและผ่านตะแกรงขนาด 0.15 mm.



ภาพที่ 9 ลักษณะของผงผ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดที่พร้อมทดสอบคุณภาพ

จากภาพที่ 9 เมื่อผ่านกัมมันต์ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเรียบร้อยแล้ว นำถ่านอัดแท่งมาทำการบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.15 mm. จากนั้นถึงจะนำไปทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ

การตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ (ปรินทร, 2551)**ก. การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ถ้าไยเป็นลูก ถ้าไยอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง)**

1. เผาด้วยกระบี่เบืองในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของด้วยกระบี่เบือง
4. ชั่งแท่งถ้าไยจากถ้าไยตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของด้วยกระบี่เบือง
5. นำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
6. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังอบแห้งรวมน้ำหนักของด้วยกระบี่เบือง
7. คำนวณหาค่าความชื้น ดังนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)} = [(L-K)/ L] \times 100$$

$$\text{เมื่อ } L = \text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)}$$

$$K = \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}$$

ข. การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ (Carbonization) (ถ้าไยเป็นลูก ถ้าไยอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง)

1. อบตัวอย่างในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. เผาด้วยกระบี่เบืองในเตาเผาที่ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที ใส่ถ้าไยประมาณ 100 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผา รวมน้ำหนักด้วยกระบี่เบือง
3. ทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C 600 °C 700 °C 800 °C และ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากถ้าไยหลังเผา รวมน้ำหนักของด้วยกระบี่เบือง
4. นำถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารเคมี ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) ในอัตราส่วน 1: 3 นำมาล้างด้วยน้ำกลั่น และกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 10, 15 และที่ 20 psi เวลา 10, 15 และ 20 นาที

ค. การหาเปอร์เซ็นต์ Yield

- นำผลล้าไลโปบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
- เผาด้วยกระบือียงในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ้วยกระบือียง
- ใส่ล้าไลโปบประมาณ 100 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถ้วยกระบือียง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผา รวมน้ำหนักของถ้วยกระบือียง
- เผาที่อุณหภูมิ 500 °C 600 °C 700 °C 800 °C และ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากล้าไลโปบหลังเผา รวมน้ำหนักของถ้วยกระบือียง
- คำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (\% yield)} = [100 - \{(X - Y) / X \times 100\}]$$

เมื่อ X = น้ำหนักของล้าไลโปบก่อนเผา (g)

Y = น้ำหนักของล้าไลโปบหลังเผา (g)

ง. การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (ตามมาตรฐาน AWWA B 604)

สารเคมี และวิธีเตรียม

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70.00 ml ลงในน้ำกลั่น 550.00 ml เขย่าให้เข้ากัน
- สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.100 N (normal, N)
ชั่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 N (normal, N)
ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.8200 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4. สารละลายมาตรฐาน ไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ชั่งไอโอดีน 12.7000 g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสม ให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 ml คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 ml ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้นกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N

5. น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

สารละลายแป้ง (Soluble Starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็น 5-10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตร แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

6.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

6.1.1 ปิเปตต์สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO₃) 25.00 ml ใส่ในขวด รูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0 g เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่

6.1.2 ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยคน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณ หาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้สูตร

$$N_1 = (P.R)/S \quad (1)$$

เมื่อ	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟต, N
	P	=	ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, ml
	R	=	ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, N
	S	=	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml



ภาพที่ 10 การเตรียมสารเคมีในกระบวนการหาค่า Iodine number

6.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

6.2.1 ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน 25.00 ml ในขวดรูปชมพู่ 250 ml

6.2.2 ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยคน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการ ไทเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีนโดยใช้สูตร

$$N_2 = (S \cdot N_1) / I \quad (2)$$

เมื่อ	N_2	=	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N
	S	=	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml
	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N
	I	=	ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, ml

จ. วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine number

- 1) ชั่งผงถ่านตัวอย่าง 0.25 g, 0.50 g และ 1.00 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
- 2) เติมสารละลายไอโอดีน 0.10 N ปริมาตร 50.00 ml เขย่าประมาณ 30 วินาที – 1 นาที
- 3) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่สารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก
- 4) ปิเปตต์สารละลายที่กรองได้มา 25.0 ml ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml

5) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ โดย

ค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M) ได้จากสูตร

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad (3)$$

เมื่อ $\frac{X}{M}$ = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

$$A = (N_1)(12693.0)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

$$B = (N_1)(126.93)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

$$S = \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้}$$

$$M = \text{ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)}$$

$$DF = \text{ค่าคงที่ของการเจือจาง หาได้จากสูตร}$$

$$DF = \frac{I + H}{F} \quad (4)$$

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)

$$H = \text{ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)}$$

$$F = \text{ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)}$$

เมื่อกำหนดค่า X/M ซึ่งเป็นค่าการดูดซับไอโอดีนแล้ว สามารถหาค่า X ได้โดยนำค่า M มาคูณกับค่า X/M ที่ได้ จากนั้นนำค่า X มาหาค่า $\log X$ เพื่อนำค่า $\log X$ ไปพลอตกราฟกับค่า $\log C$ โดยค่า C หาได้จากสูตร

C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ

$$C = \frac{N_2 \times S}{F} \quad (5)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)

กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จากสมการเส้นตรงของกราฟจะทำให้ทราบค่า y จากนั้นจะสามารถหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ได้โดย

$$\text{Iodine Number} = 10^4$$

ฉ. การศึกษาค่าการดูดซับฟีนอล

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล

1. ปิเปตสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้สารละลายเท่ากัน
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5.0 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 12.5% ปริมาตร 8.0 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
5. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตจนกระทั่งได้สีเหลือง
6. เติมน้ำแป้ง 2 – 3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงิน
7. ไตเตรตจนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี
8. บันทึกปริมาตรโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้
9. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล โดย

$$M_p \text{ (g/l)} = [(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2) \times 15.685] / [V_p] \quad [6]$$

เมื่อ	M_p	=	ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (กรัมต่อลิตร)
	V_p	=	ปริมาตรของสารละลายฟีนอล (มิลลิลิตร)
	V_1	=	ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต – โบรไมด์ (มิลลิลิตร)
	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต – โบรไมด์ (นอร์มอล)
	V_2	=	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
	N_2	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต (นอร์มอล)

ข. การวิเคราะห์ค่าการดูดซับฟีนอล

1. ชั่งถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปกรวย ขนาด 50 มิลลิลิตร 4 ขวด
2. บีบอัดสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงใน 3 ขวดแรก
3. บีบอัดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ 4 เพื่อเป็นสารไรต์ตัวอย่าง
4. นำมาเขย่าที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
5. กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรอง อิ่มตัวด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลองขนาดเล็ก
6. นำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่องยูวีวิจิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
7. นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดฟีนอล
8. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1- 7 โดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.05 กรัม จนกระทั่งความเข้มข้นที่สามารถดูดซับได้ มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น

คำนวณหาค่าการดูดซับฟีนอล (Phenol value) โดย

1. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่ (% Residual filtrate phenol) จาก
 ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ = $[100 \times \text{ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลที่เหลือ}] / [\text{ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น}]$
2. คำนวณหาร้อยละของฟีนอลที่ถูกดูดซับ (% Adsorbed phenol)
 ร้อยละความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ = $100 - \text{ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือ}$
3. คำนวณหาปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัมต่อลิตร) จาก
 ปริมาณถ่านที่ใช้ (g/l) = $[1000 \times \text{น้ำหนักถ่านที่ชั่ง (g)}] / [\text{ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้}]$
4. คำนวณหาค่า X/M ในแต่ละปริมาณถ่านที่ใช้
5. เขียนกราฟระหว่าง ร้อยละของสารละลายฟีนอลที่เหลือ กับค่า X/M โดยใช้เป็นลอการิทึม จะได้กราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดต่างๆ
6. หาค่า X/M ที่เปอร์เซ็นต์ ของสารละลายฟีนอลที่เหลือเท่ากับ 10 จากไอโซโทมที่ได้เพื่อใช้คำนวณหาค่าฟีนอล โดยสามารถคำนวณได้จาก

ค่าฟีนอล = $[90] / [\text{ค่า } X/M \text{ ที่ร้อยละ } 10 \text{ ของฟีนอลที่เหลือ}] \times [(100 - \text{ร้อยละความชื้น}) / 100]$



ภาพที่ 11 การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับฟีนอลโดยใช้เครื่อง Specto photometer

จากภาพที่ 11 เป็นกระบวนการในการตรวจสอบความสามารถในการดูดกลืนของ ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้ โดยจะใช้เครื่อง Specto photometer ทำการตรวจวัดปริมาณ สารฟีนอลที่ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะดูดซับไว้

ข. การศึกษาค่าการดูดซับสารอินทรีย์ (COD)

1. สารละลาย digestion reagent

ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 กรัม ซึ่งอบแห้งที่ $103^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชม. ในน้ำกลั่น 500 มล. ค่อย ๆ เติม conc. H_2SO_4 167 มล. เติม $HgSO_4$ ลงไป 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. กรด Sulfuric เข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ (Sulfuric Acid reagent)

ละลาย $AgSO_4$ 22 กรัม ใน Conc. H_2SO_4 ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐาน ferrous ammonium sulfate (FAS) 0.1 N

ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติม conc. H_2SO_4 ลงไป 20 มล. ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1 ลิตร

สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย digestion reagent ดังนี้ คือ เติมน้ำกลั่น 10 มล. สารละลาย digestion reagent 14 มล. จากนั้นใช้ปิเปตค่อย ๆ เติม Sulfuric Acid reagent ลงไป 14 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย Ferrous ammonium sulfate (FAS) โดยใช้ ferroin จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{ml Fe (NH}_4)_2\text{(SO}_4)_2} \times 0.10$$

4. สารละลาย ferroin อินดิเคเตอร์ วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

วิธีการทดลอง

1. ล้างหลอดทดลอง และฝาจุกด้วยกรด H_2SO_4 20 % ก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์
2. ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม digestion reagent ลงไป 6 มล.
3. ค่อย ๆ เติม กรด sulfuric เข้มข้นที่ผสม AgSO_4 ลงไป 14 มล. ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของน้ำตัวอย่างและ digestion reagent

หมายเหตุ ภายหลังจากเติมกรดซัลฟูริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้

- ถ้าได้สีเขียว แสดงว่าปริมาณ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เหลืออยู่มาก ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยเกินไป ต้องเพิ่มปริมาณน้ำตัวอย่างอีก
- ถ้าได้สีเขียวอมเหลือง แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ได้
- ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้. โดยจะใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตัวอย่าง : น้ำกลั่น เท่าไหร่ก็ได้ แต่ผลรวมของปริมาตรน้ำตัวอย่างต้องเท่ากับ 10 มล.

4. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอดซึ่งอาจแตกได้ในขณะทำการรีฟลักซ์ให้ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ประมาณ 1-2 หลอด

5. นำหลอดแก้วทั้งหมดที่ใส่น้ำตัวอย่างและ Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง แล้วเข้าเตาอบที่ทำให้อุณหภูมิสูงถึง $150 \pm 2^\circ\text{C}$ ก่อนหน้านี้อันแล้ว เมื่อครบเวลา 2 ชม. ให้นำตัวอย่างออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น

6. ตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตกับสารละลาย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตตอนเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที



[1] ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

[2] ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ภาพที่ 12 การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

จากภาพที่ 3.9 เป็นการศึกษาการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยรูปที่ [1] นั้นเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ส่วนรูปที่ [2] เป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ฉ. การศึกษาค่าการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ (อภิรัช, 2545)

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน หนัก 0.5 กรัม ละลายในเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 50 มล. จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.0454 N ที่ระเหยจนเกิดสีชมพูอ่อน ซึ่งแสดงว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่

2. ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตหนัก 2.407 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มล. แล้วที่ตู้อบใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

วิธีการวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำโดยไม่ให้ตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยใช้ขวด BOD และควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือภายในเวลาไม่เกิน 2 – 3 ชม. หลังจากเก็บตัวอย่าง
2. ใช้สายยางดูดตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ใส่งในกระบอกตวงขนาด 100 มล. โดยปล่อยให้ตัวอย่างน้ำล้นออกประมาณ 50 – 75 มล. แล้วใช้ปิเปตหรือหลอดหยด ดูดส่วนที่เกินออกให้ได้ปริมาตรคงเหลือ 100 มล.
3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินลงไปในตัวอย่งน้ำ 4 – 5 หยด ถ้าตัวอย่างน้ำ เปลี่ยนเป็นสีชมพูแสดงว่ามีค่า pH มากกว่า 8.34 ซึ่งไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่ถ้าตัวอย่างน้ำไม่เปลี่ยนสีแสดงว่ายังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องรีบทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0454 N ขณะไทเทรตใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างน้ำเบา ๆ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพู (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต
4. ตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำซ้ำเหมือนเดิม แต่ทำการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาน้อยที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างน้ำ

คำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มก./ล.)} = \frac{(V_1) \times (N) \times (22) \times (1,000)}{V_2}$$

V_1 หมายถึง ปริมาตรของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต (มล.)

V_2 หมายถึง ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (100 มล.)

N หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (0.0454 N)



ภาพที่ 13 การศึกษาการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ

3.4 กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรด



[1] การอัดแท่งลำไย



[2] การตากแท่งลำไย



[3] การเผาแท่งลำไย



[4] การเผาแท่งลำไย

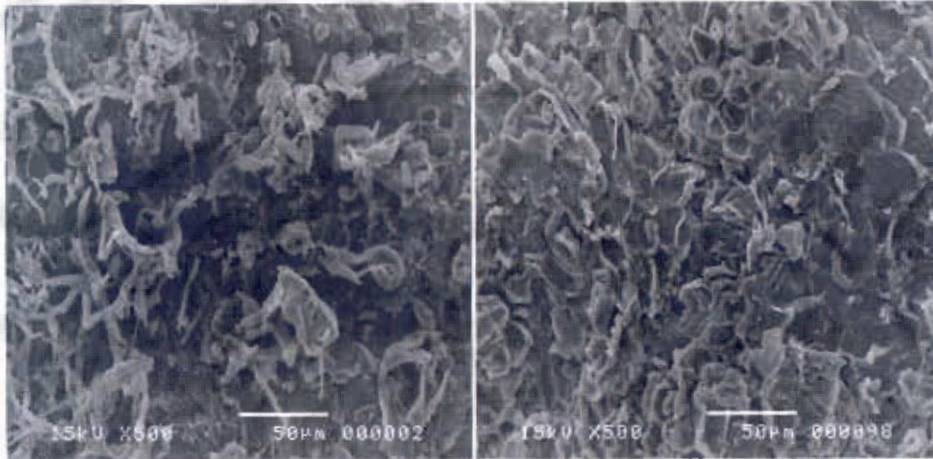
ภาพที่ 14 การผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรด

จากภาพที่ 14 เป็นกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรดอัดแท่ง โดยจะทำการเผาในเตาเผาซึ่งจะใช้ถังขนาด 150 ลิตร สำหรับบรรจุลำไยอัดแท่ง โดยจะใช้เวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปทำการกลั่นให้บริสุทธิ์ต่อไป โดยรูปที่ [1] เป็นการอัดแท่งลำไย รูปที่ [2] เป็นการนำแท่งลำไยที่ได้ไปทำการตากให้แห้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง รูปที่ [3] และ [4] เป็นการเผาแท่งลำไยเพื่อเก็บเอาน้ำส้มควันไม้

ผลการวิจัย

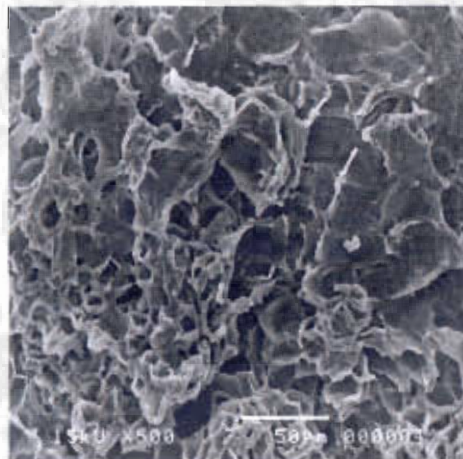
ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยทั้งลูก



พื้นผิวธรรมชาติของผิวเปลือกลำไย

พื้นผิวธรรมชาติที่ผ่านการอบไอน้ำ



ผิวธรรมชาติแช่ซิงค์คลอไรด์ + อบไอน้ำ

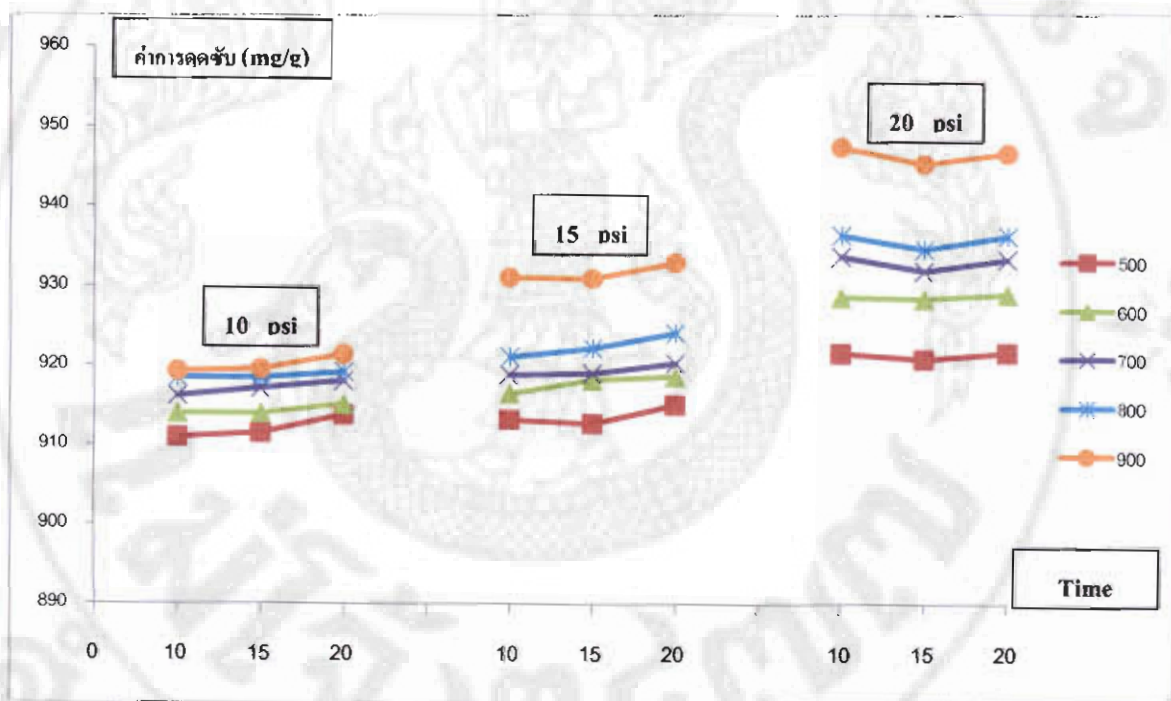
ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบพื้นผิวของเปลือกลำไยในสถานะต่างๆ

จากภาพที่ 15 พบว่า ลักษณะทั่วไปของพื้นผิวเปลือกลำไยนั้น ในสภาวะปกติจะมีลักษณะขรุขระเป็นเส้น นูน ต่ำ ไม่เท่ากัน แต่เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า มีความพรุนเพิ่มขึ้น ความแรงดันไอน้ำที่ได้รับ และเมื่อมีการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่า ความพรุนเพิ่มขึ้นมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของการผลิตถ่านกัมมันต์

จากภาพที่ 16 การกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดัน 10 15 และ 20 psi ณ ช่วงเวลา 10 ถึง 20 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นมีค่าแตกต่างกันเป็นอย่างมาก โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับ ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดจะอยู่ที่ความดัน 20 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 946 – 948

mg/g รองลงมาที่ความดัน 15 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับจะอยู่ในช่วง 936 – 937 mg/g และอันดับสุดท้าย คือที่ความดัน 10 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือจะอยู่ในช่วง 922 – 923 mg/g ซึ่งถ้าจะสังเกตจะพบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนนั้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ที่กล่าวไว้ว่าค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 mg/g ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยทั้งลูกนั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

หมายเหตุ ค่าการดูดซับไอโอดีนหมายถึง ค่าความสามารถในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอมของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดซับไอโอดีนกับเวลา ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ

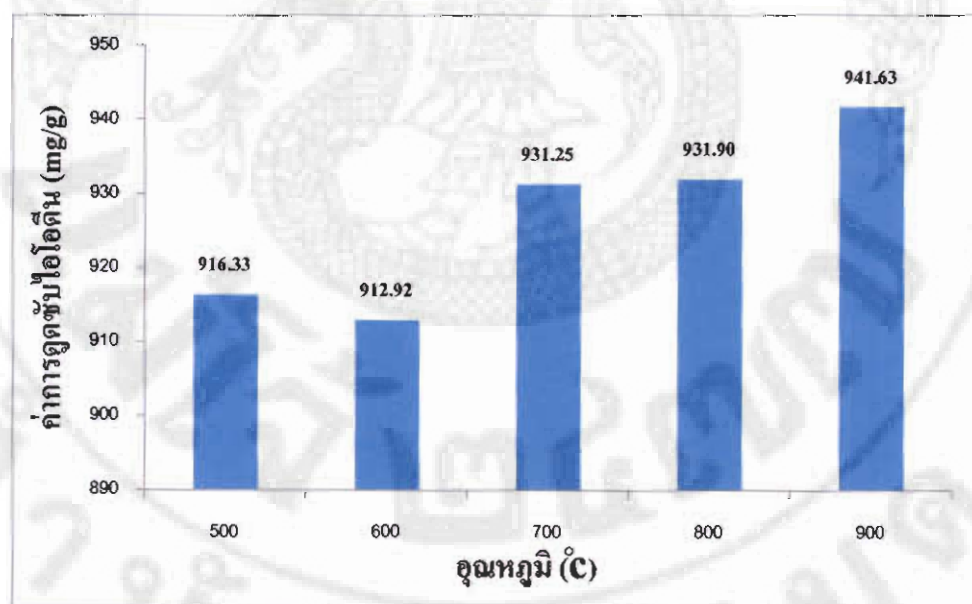
4.1.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้น 25 % และระยะเวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง โดยค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 4.5 - 6 เมื่อเทียบกับถ่านที่ไม่ถูกกระตุ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 5.87%, 5.59%, 5.26%, 5.02% และ 4.65% ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

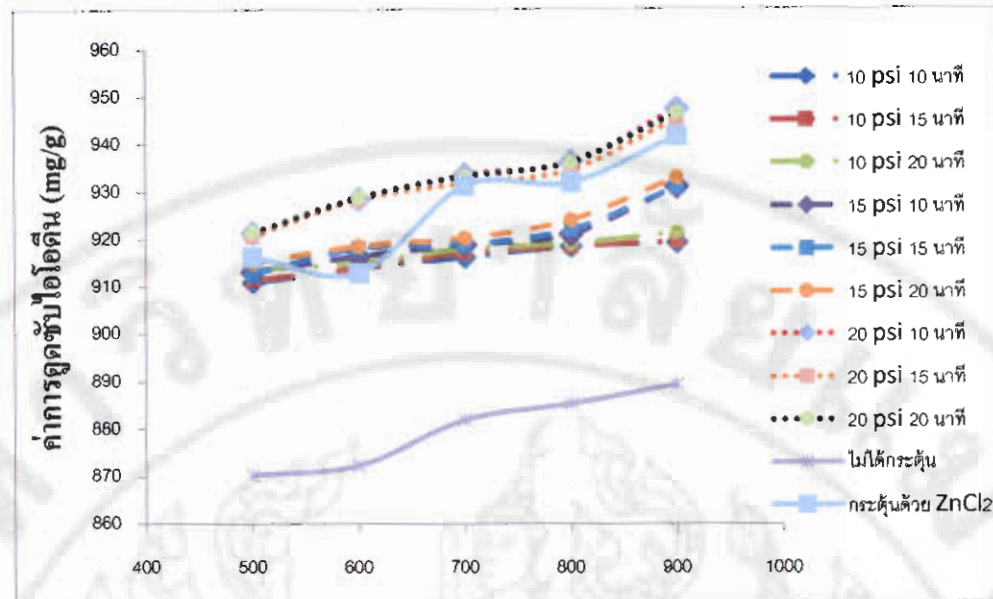
อุณหภูมิ (°C)	ไม่กระตุ้น (mg/g)	ครั้งที่ 1 (mg/g)	ครั้งที่ 2 (mg/g)	ครั้งที่ 3 (mg/g)	เฉลี่ย (mg/g)	% การเพิ่มขึ้น
500	870.30	908.54	921.68	918.76	916.33	5.02 %
600	872.31	901.24	917.30	920.22	912.92	4.65 %
700	881.92	940.16	917.30	936.28	931.25	5.59 %
800	885.31	917.30	928.98	949.42	931.90	5.26 %
900	889.40	918.76	940.66	965.47	941.63	5.87 %

จากภาพที่ 17 พบว่า ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส นั้นจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 941.63 mg/g รองลงมา คือ ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600 และ 500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 931.90, 931.25, 912.92 และ 916.33 mg/g ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์นั้น มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับไอโอดีนในระดับหนึ่ง



ภาพที่ 17 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂)

จากภาพที่ 18 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและสารเคมี คือซิงค์คลอไรด์นั้น จะมีค่าในการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือ 870 - 890 mg/g และถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการกระตุ้นจากไอน้ำและซิงค์คลอไรด์นั้น พบว่า จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 915 - 940 mg/g ซึ่งทำให้เห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากผลล้าไอน้ำ ถ้าต้องการให้มีค่าการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอมนั้น จะต้องทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือสารเคมี ชนิดซิงค์คลอไรด์



ภาพที่ 18 ภาพรวมของผลการทดลองที่มีการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

จากการศึกษาถึงคุณลักษณะที่ดีของถ่านกัมมันต์นั้น ควรจะต้องมีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงกว่า 1,000 ฉะนั้น ในกระบวนการศึกษาจึงมีการศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ที่สามารถจะบ่งบอกได้ว่า ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านแล้วนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าเพิ่มสูง ในระดับใด ดังรายละเอียดในกระบวนการทดลองในขั้นตอนที่ 2

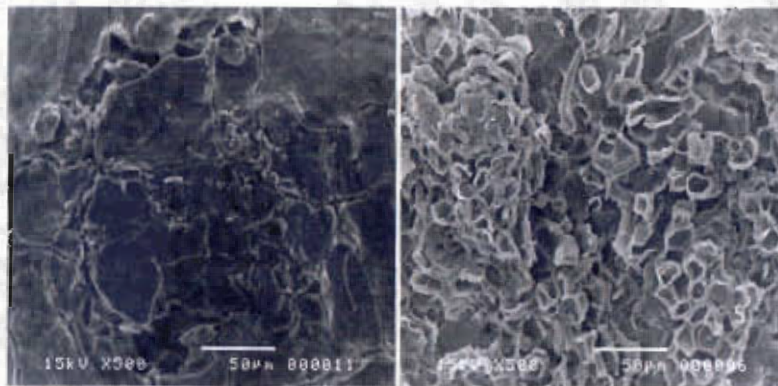
ขั้นตอนที่ 2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้อัดแท่ง

ตารางที่ 6 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไม้คกกรด

สภาวะที่	แป้ง : ถ่านไม้ : แกลบ	การเผา	สภาวะในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	เวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 85%
1	1:8:1	T=350, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
2	1:8:1	T=350, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
3	2:6:2	T=370, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
4	2:6:2	T=370, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
5	1:6:3	T=390, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
6	1:6:3	T=390, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
7	2:5:3	T=420, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
8	2:5:3	T=420, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12

หมายเหตุ Flow rate of steam = 5 ลิตรต่อนาที, Velocity of steam = 30 m/s

จากตารางที่ 6 พบว่า มวลของถ่านที่ผลิตได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้น จะมีลักษณะเป็นมวลเบา ซึ่งกระบวนการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องมีการนำไปแปรรูป โดยการอัดเป็นแท่ง เพื่อป้องกันการเผาไหม้จนเป็นถ่าน เพราะเป็นกากที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลที่มีการปั่นบดละเอียด เมื่อนำมาเข้าเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 300 องศาเซลเซียส จะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพไม่ตรงตามต้องการ ทั้งในด้านการใช้งานและทดลอง ดังนั้น จึงมีการออกแบบกระบวนการทดลองดังตารางที่ 4.2 เพื่อควบคุมในเรื่องของ การเผาไหม้ที่สูง โดยคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ดีจะต้องมีปริมาณของรูพรุนที่สูง ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

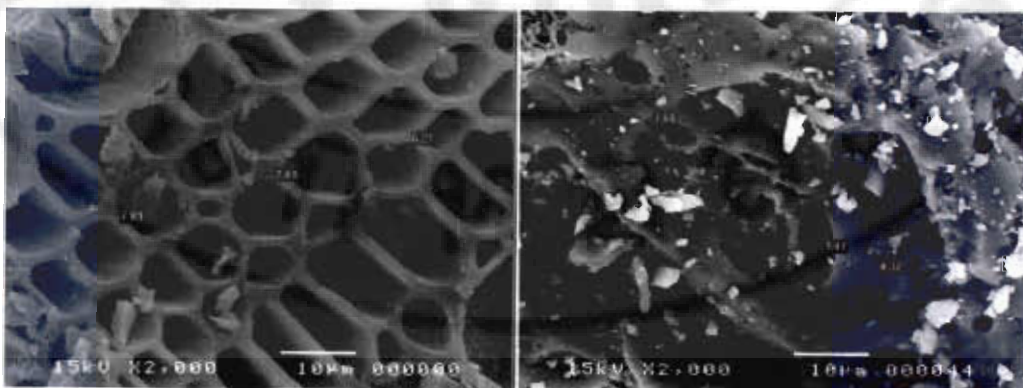


แช่กรด H_3PO_4 85%

แช่กรด H_3PO_4 85% + อบไอน้ำ

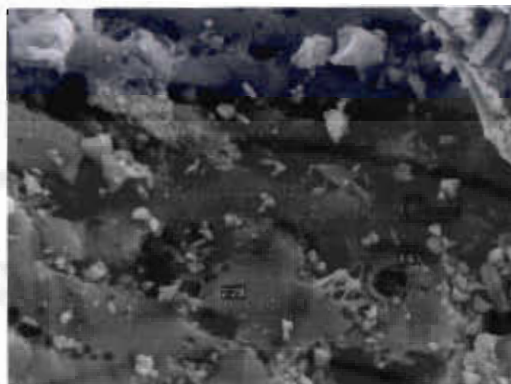
ภาพที่ 19 พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรดที่ผลิตได้

จากภาพที่ 19 พบว่า ลักษณะของพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรดที่ผ่านการแช่กรดนั้น จะมีลักษณะที่แตกกระแหงเป็นแผ่นๆ ไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อนำมากระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า จะมีลักษณะของความเป็นรูพรุนมากขึ้น ตามแรงดันของไอน้ำจากการทดลอง



พื้นผิวถ่านไม้ถ้ำไย

พื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรด



พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากอะลาไมน

ภาพที่ 20 เปรียบเทียบลักษณะและขนาดของรูพรุนของพื้นผิวถ่านชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 7 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลาโยคกเรด

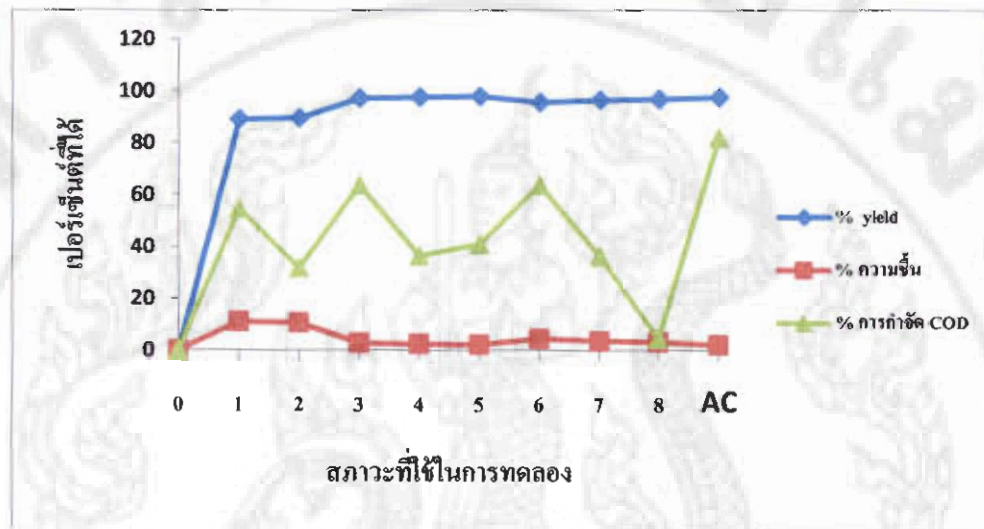
ชนิด	พื้นที่ผิว (m^2 / g)	ปริมาตรของรูพรุน (cm^3 / g)
ถ่านไม้ลำไย	1,225	0.62
ถ่านกัมมันต์จากลาโยคกเรด	1,240	0.55
ถ่านกัมมันต์จากอะลาไมน	1,255	0.52

จากภาพที่ 20 พบว่า พื้นผิวของถ่านไม้ลำไยนั้นจะมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 7.26 micrometer ในส่วนของพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลาโยคกเรดมีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 micrometer และในส่วนของพื้นผิวถ่านกัมมันต์จากอะลาไมน มีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เช่นเดียวกับพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลาโยคกเรด โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1.95 micrometer

จากภาพที่ 21 พบว่าเปอร์เซ็นต์ Yield ถ่านกัมมันต์ลำไยอัดแท่งนั้น สภาวะในการทดลองที่ 3 4 และ 5 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์ Yield ที่ต่ำสุดนั้นจะอยู่ในส่วนของสภาวะที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบ % Yield สูงสุดระหว่างถ่านกัมมันต์ลำไยอัดแท่งกับถ่านกัมมันต์จากอะลาไมน พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันที่ 97.82 และ 97.5% ตามลำดับ (เปอร์เซ็นต์ Yield หมายถึง ร้อยละผลได้ของถ่านที่เกิดขึ้นจากการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของการทดลอง) ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ความชื้น สภาวะการทดลองที่ 3 4 และ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากอะลาไมน พบว่า มีค่าที่ระดับ 2.81, 2.44, 2.18 และ 2.18% ตามลำดับ โดยในส่วนของสภาวะที่ 1 นั้นมีค่าความชื้นเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยมีค่าความชื้นอยู่ที่ 10.99 % และเมื่อนำมาทำการวัดความสามารถในการกำจัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยทำการวัดในรูปแบบของค่า COD พบว่า ถ่านกัมมันต์จากอะลาไมนทางการค้า มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ถึง 81.81% โดยเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์จากลาโยคกเรดแล้ว พบว่า สภาวะที่มีความสามารถใน

การดูดซับปริมาณสารอินทรีย์สูงสุด คือ สภาวะที่ 6 และ สภาวะที่ 3 รองลงมา คือ สภาวะที่ 1 5 4 7 และ 2 ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 63.63, 63.63, 54.54, 40.9, 36.47, 36.36 และ 31.81% ตามลำดับ โดยสภาวะที่มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ต่ำที่สุด คือ สภาวะที่ 8 โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 4.55 %

หมายเหตุ มาตรฐานอุตสาหกรรม เปอร์เซ็นต์ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8

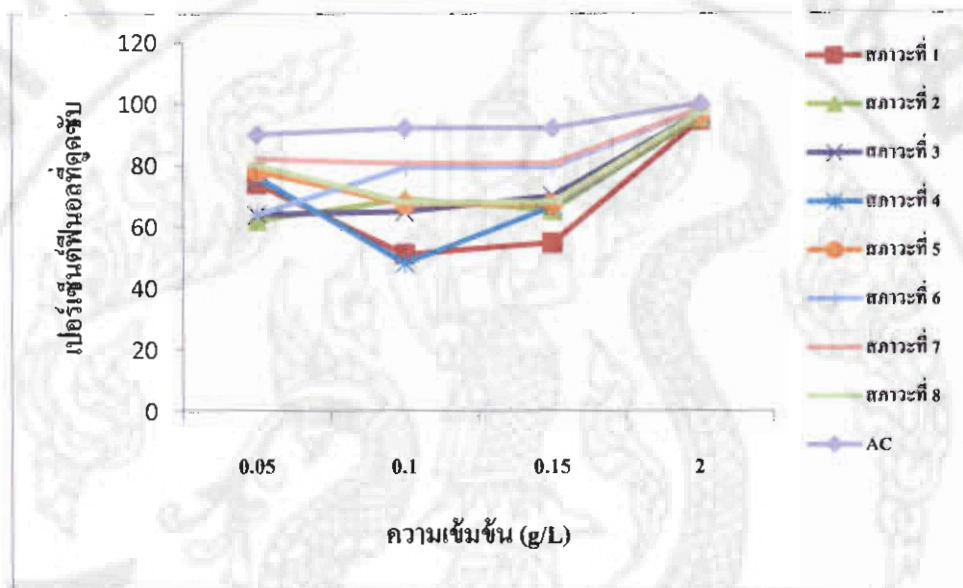


ภาพที่ 21 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไคทกเกรด ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)



ภาพที่ 22 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไคทกเกรด ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 22 พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด คือที่ระดับ 1,263.7 รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด ณ สภาวะที่ 4, 1 และ 3 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1,203.7, 1,203.6 และ 1,202.2 ตามลำดับ โดยสภาวะที่ 7 ของการทดลองนั้นจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยที่สุด คือ ที่ระดับ 1,006.8 โดยภาพรวมแล้ว ถ้าวัดค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด มีค่าอยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด และมีค่าสูงกว่าการที่นำลำไยทั้งลูกมาทำการทดลอง



ภาพที่ 23 ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ณ ความเข้มข้น 2 g/L ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 23 พบว่า ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จะมีค่าการดูดซับที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวนั้น ณ ความเข้มข้นที่ 0.05 g/L มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลที่เกิน 90 % ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นยังอยู่ในช่วง 50 – 80 % โดยประมาณ ซึ่งแสดงว่าความสามารถในการดูดซับกลิ่น 90 % ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะเริ่มที่ความเข้มข้น 0.05 g/L และความสามารถในการดูดซับกลิ่น 90 % ของถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด จะต้องเริ่มที่ ความเข้มข้น 2 g/L



ภาพที่ 24 ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ณ สถานะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 24 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากถ้ำไคคเกอร์ที่ผลิตได้ โดยมีค่าการดูดซับที่ระดับ 99.15% ในส่วนถ่านกัมมันต์จากถ้ำไคคเกอร์ที่ผลิตได้ มีค่าการดูดซับสูงสุดคือ 93.67% ณ สถานะการทดลองที่ 6 รองลงมาคือ 93.38 ณ สถานะการทดลองที่ 1 และสถานะที่มีการดูดซับต่ำที่สุดคือ สถานะการทดลองที่ 4 คือ 88.64 % เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำมาทดลองนั้น มีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากถ้ำไคคเกอร์ที่ผลิตได้ทุกสถานะการทดลอง

4.1.4 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตน้ำส้มควันไม้จากถ้ำไคคเกอร์อัดแท่ง



ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากถ้ำไคคเกอร์อัดแท่ง

ใช้ลำไยอัดแห้งจำนวน 10 กก. จะได้น้ำส้มควันไม้ปริมาณ 1.25 ลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.3 ซึ่งทางกายภาพมีสีเหลืองขุ่นและมีกลิ่นของควันเล็กน้อย ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย โดยมีน้ำประมาณ 85% และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.024

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้องในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังตารางที่ 8 ซึ่งเมื่อคิดที่ต้นทุนคงที่แล้วจะเท่ากับ 311,000 บาท และต้นทุนผันแปรจะเท่ากับ 184,800 บาทต่อปี

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร

ลำดับที่	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนผันแปร
1	ค่าสารเคมีในการตรวจสอบ ราคา 20,000 บาท (ใช้ได้หลายครั้ง)	ค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า 5,000 บาท / เดือน
2	หม้อความดันไอน้ำ 3 ชุด ราคา 36,000 บาท	ค่าเชื้อเพลิง LPG (ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ) 2,000 บาท
3	เตาเผาไฟฟ้า 3 ตัว ราคา 135,000 บาท	ค่าแรง คนงาน จำนวน 3 คน วันละ 200 บาท เป็นเวลา 14 วัน เท่ากับ 8,400 บาท
4	เครื่องอัดแห้งลำไย 3 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง ราคา 90,000 บาท	-
5	ตู้บปพลังงานแสงอาทิตย์ 5 ชุด ราคา 10,000 บาท	-
6	เครื่องคัดขนาดเมล็ดถ่าน 1 เครื่อง ราคา 20,000 บาท	-
รวม / เดือน	-	15,400 บาท / เดือน
รวม / ปี	311,000 บาท	184,800 บาท / ปี

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของการไต่เต๋ปีและการคืนทุน

น้ำหนัก วัตถุดิบ กก. / เดือน	ปริมาณถ่าน กัมมันต์ที่ผลิตได้ กก. / เดือน	ต้นทุน วัตถุดิบ (บาท/กก.)	ราคาขายต่อ กิโลกรัม (บาท/กก.)	การผลิตได้ (กก./ปี)	จุดคุ้มทุนใน การผลิต (กก./ปี)	ยอดขาย ณ จุดคุ้มทุน (บาท)	กำไร/ปี (บาท)	คืนทุนจริง (ปี)
1,000	920	16.74	93	11,040	4,078.11	379,263.97	647,456.03	0.480

จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้เต็งเกรด
ดังตาราง 9 พบว่า ในกระบวนการผลิตจากถ่านไม้ 1 ตัน/เดือน จะนำเข้าสู่กระบวนการ
คาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) ซึ่งจะได้ถ่านที่น้ำหนัก 920 กก. /เดือน และได้ถ่าน 11.040 ตัน
ต่อปี ทำการขายที่กิโลกรัมละ 93 บาท โดยมีต้นทุนวัตถุดิบเท่ากับ 16.74 บาท ซึ่งจุดคุ้มทุนในการ
ผลิตอยู่ที่ 4,078.11 กก./ปี โดยมียอดขาย ณ จุดคุ้มทุนที่ 379,263.97 บาท มีกำไรต่อปีและการคืน
ทุนจริงเท่ากับ 647,456.03 บาท และ 0.48 ปี ตามลำดับ

โดยตามท้องตลาดแล้วถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวราคาจะอยู่ที่ 120 บาทต่อ
กิโลกรัม นับได้ว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้เต็งเกรดราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าจาก
กะลามะพร้าวถึง 27 บาทต่อกิโลกรัม โดยคุณภาพในด้านต่างๆที่กล่าวมาก็ใกล้เคียงกัน ซึ่งใน
อนาคตถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดน่าจะมีคุณภาพที่ทัดเทียมกันได้แต่ราคาของถ่านกัมมันต์อาจจะมี
ราคาที่ถูกกว่าก็อาจจะเป็นได้

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดโดยใช้ลักษณะของการเผา ทั้งถุกันนั้น มีทั้งการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งยังใช้ซิงค์คลอไรด์เป็น สารเคมีในการกระตุ้น พบว่า ให้ค่า Iodine number สูงสุดเท่ากับ 941.63 ซึ่งจากกระบวนการผลิต เอทานอลนั้นเหลือกากในลักษณะบดหยาบ ซึ่งถ้านำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงจะทำให้ไหม้กลายเป็น เถ้า จึงต้องมีวิธีการที่จะทำให้ไม่เกิดการกลายเป็นเถ้า ดังนั้นจึงได้นำมาซึ่งกระบวนการอัดแท่ง และทำการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นมาเป็นกรดฟอสฟอริก เพราะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนที่ ดีกว่าด่างซึ่งก็คือซิงค์คลอไรด์ โดยได้ทำการออกแบบสภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 โดยทำการ เปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และทำการตรวจสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้ คือ % Yield, % ความชื้น, ค่า Iodine number, % การดูดซับสารอินทรีย์, % การดูดซับฟีนอล และ % การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีคุณสมบัติที่สูงกว่าถ่านกัม มันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้ ดังตารางที่ 10 โดยอาจเป็นเพราะว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นทำมา จากกะลามะพร้าว ซึ่งมีความหนาแน่นของมวลที่สูง แต่ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้มี ลักษณะเป็นมวลเบาและความหนาแน่นของมวลนั้นน้อย ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงต่ำกว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยในส่วนของ % Yield ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะมีค่า % Yield อยู่ใน ระดับที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของ % ความชื้นจะอยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด ยกเว้นสภาวะที่ 1 และ 2 ซึ่งมี % ความชื้นเท่ากับ 10.99 และ 10.57 % ในส่วนของค่า Iodine number พบว่ามีค่าสูง กว่า 1,000 ทุกสภาวะการทดลอง โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่า Iodine number สูงที่สุด ซึ่ง เท่ากับ 1,263.7 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะ มีค่า Iodine number สูงกว่าถ่านกัมมันต์ใน ชั้นตอนที่ 1 ที่ผลิตจากลำไยทั้งถุกัน โดยทั้ง 8 สภาวะจะมีค่า Iodine number อยู่ในช่วง 1,006.8 - 1,203.7 ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไอซ์เซชันที่เป็นการให้ความร้อนกับแท่ง ลำไย โครงสร้างภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดรูพรุนขึ้น ซึ่งยังมี จำนวนของรูพรุนน้อยอยู่ จึงต้องทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกรดฟอสฟอริก โดยจำนวนของรู พรุนและขนาดจะขึ้นอยู่กับกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำและสารเคมี โดยความเร็วและความแรงของไอน้ำ จะเข้าไปกระทบกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (พัชรี, 2543) ทำให้เกิดจำนวนของรูพรุนที่เพิ่มสูงขึ้น ในทางเดียวกันการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกนั้น พบว่า ความเป็นกรดเข้มข้น (H⁺) จะมีผลให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะ ถูกกัดกร่อน ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดและจำนวนของรู พรุนอีกทางด้วย โดยจากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะจะมีค่า Iodine number ที่ ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า อาจเป็นผลมาจากในการทดลองใช้ตัวกระตุ้นทางเคมีที่มีความ

เข้มข้นสูง คือ 85 % เพื่อเร่งปฏิกิริยาการกักกรองพื้นผิว โดยอาจกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะและถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 10^{-8} cm. ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะแล้วขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากลำไยดกเกรดจะเท่ากับ 3.82 micrometer และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า(จากกะลามะพร้าว)จะเท่ากับ 1.95 micrometer

ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์จากลำไยดกเกรด

สถานะที่	% Yield	% ความชื้น	ค่า Iodine number	% การดูดซับ สารอินทรีย์	% การดูดซับ ฟีนอล	% การดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์
1	89.01	10.99	1,203.6	54.54	94.5	93.38
2	89.43	10.57	1,103.1	31.81	95.45	92.8
3	97.19	2.81	1,202.2	63.63	96.85	91.22
4	97.56	2.44	1,203.7	36.47	96.25	88.34
5	97.82	2.18	1,191.1	40.9	96.3	90.18
6	95.52	4.48	1,107.3	63.63	97.95	93.67
7	96.44	3.56	1,006.8	36.36	98.15	90.82
8	96.78	3.22	1,046.9	4.55	96.75	89.6
AC	97.5	2.18	1,263.7	81.81	100	99.15

ในส่วนของการดูดซับกลิ่น ซึ่งจะทำการตรวจคุณสมบัติโดยวัดจากการดูดซับฟีนอล นั้น พบว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกลิ่นได้ถึง 100 % โดยในส่วน ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นที่ต่ำกว่า โดยอยู่ในช่วง 94.5 – 98.15 % อาจเกิดจากสารเคมีที่ใช้ซึ่งเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิต โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิต ได้ทั้ง 8 สภาวะนั้น ขนาดและจำนวนของรูพรุน นั้นมีผลต่อการดูดซับกลิ่นอย่างแน่นอน สอดคล้อง กับปริณท (2551) กล่าวว่าการมีจำนวนของรูพรุนนั้นมีผลต่อปริมาณและความสามารถในการดูดซับ อนุภาคต่างๆ ซึ่งจากการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ถ้าค่า Iodine number ยิ่งสูง แสดงถึงความสามารถใน การดูดซับสารที่มีขนาด โมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอม หรือ 10^{-8} cm. ได้เป็นอย่างดี แสดงว่า อนุภาคในอากาศที่ลอยและส่งผลให้เกิดกลิ่นนั้น สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ทั้ง 8 สภาวะได้เป็นอย่างดี ด้วยการแลกเปลี่ยนประจุซึ่งกันและกัน หรือ โมเลกุลของแก๊สที่มีขั้วกับ พื้นผิวที่ไม่มีขั้ว (พัซรี, 2543) ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่ไม่อาจควบคุมประสิทธิภาพในการดูดซับได้ก็คือ

ชนิดของอนุภาคในอากาศและอุณหภูมิ ณ เวลาการดูดซับ โดยถ้ามีอุณหภูมิที่สูงประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง

ในส่วนของ การดูดซับสารอินทรีย์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 81.81 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สถานะนั้น มีความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 4.55 – 63.63 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ทั้งนี้เป็นเพราะในกระบวนการใช้ถ่านทั้ง 8 สถานะเป็นตัวกรอง พบว่ามีลักษณะเป็นมวลเบาลอยน้ำ แต่ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความหนาแน่นของมวลที่สูง จึงสามารถที่จะดูดซับได้ดีกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณา พบว่าในน้ำเสียที่นำมาทดลองนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำหลายชนิดที่ไม่อาจควบคุมได้ ซึ่งอาจมีอนุภาคที่ใหญ่เกินกว่า 10^{-8} cm ส่งผลให้ไม่สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สถานะ และการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอนุภาคที่มีความหลากหลายกับพื้นที่ผิวอาจจะมีประสิทธิภาพลดลงในระดับหนึ่ง

ในส่วนของ การดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับสูงถึง 99.15 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 88.34 – 93.67 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด อาจจะเป็นผลมาจากการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 200 – 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยให้หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่มีความเป็นกรดบนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ (พัชรี, 2543) โดยจะแสดงคุณสมบัติของกรด เมื่ออยู่ในสารละลาย หมู่ฟังก์ชันนี้จะพบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอล ซึ่งได้จากการเผาวัตถุดิบในอากาศ ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล (Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinoniod) หมู่กรด Carboxyl Acid Group เป็นต้น ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สถานะ เมื่อนำไปดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำซึ่งมีความเป็นกรดอยู่แล้ว อาจจะมีประสิทธิภาพที่ลดลง แต่ในส่วนของถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นน่าจะมีการใช้สารเคมีที่มีความเป็นด่างในกระบวนการกระตุ้นทางเคมี และการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะปรากฏหมู่ฟังก์ชันที่มีลักษณะความเป็นด่าง ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายจะสามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ โดยการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน ได้เป็นอย่างดี (ปรินทร, 2551)

เมื่อพิจารณาการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอน ตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดในลักษณะการอัดแท่งให้คุณภาพทางด้านค่า Iodine number สูงกว่า การคาร์บอนไนซ์เซชันลำไยทั้งลูก โดยในกระบวนการทดลองนี้ มีความพยายามที่จะค้นหาคุณสมบัติ ที่เด่นในด้านต่างๆของถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด เพื่อการต่อยอดองค์ความรู้ในอนาคต ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบได้ว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดนั้นมีความสามารถที่จะ

คูคลินและคูคซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยในอนาคตอาจจะมี
การพัฒนาต่อขององค์ความรู้โดยการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นและพัฒนาชุดกระตุ้นด้วยไอน้ำ
ให้มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นไป



เอกสารอ้างอิง

- กิติโรจน์ หวันตาหลา ชยาภาส ทับทอง และสินสุภา ขุ่ยจุลเจิม. 2554. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วย ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย. วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ : กรุงเทพมหานคร.
- เกศรา นุตาลัย. 2531. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากคินพुरुในห้องปฏิบัติการ. รายงาน ฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ ๓30-14. โครงการวิจัยและพัฒนาคินพुरुเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร.
- พูนินันท์ พิงญาติ. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้. ขงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร. 2551. ไม้เพื่อการเกษตร ยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2555. Distillers Grain By – products. สืบค้นจาก. <http://www.ddgs.umn.edu>. (10 ธันวาคม, 2554)
- Ajmal, M. 2003. Adsorption studies on rice husk: removal and recovery Cd(II) from wastewater. Bioresource Technology. 86:147-149.
- จินดารัตน์ นิมพาณิช. 2546. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- วิจัย ธรรมสาธิตและเกษม ฉัตรมณีฤกษ์. 2543. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพด ด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.
- ศิริลักษณ์ นิวิจจรรยงค์. 2547. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลายสังกะสีคลอไรด์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- บุญ สุวดีชัย. 2548. การใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลสำหรับการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสีย วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร: จังหวัดพิษณุโลก.
- พิศิษฐ์ อริยเดชะวิช. 2549. การผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล่อใช้แล้ว วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- ลลิตา นิตศนจารุกุล. 2544. ความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเม็ดมะม่วงหิมพานต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ.

- นิรนาม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ มอก.900-2547. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม
- จุฑามาส จิตรต์เจริญ. 2547. การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- เทอดธรรม เย็นสบาย และวิศิษฐ์ ว่างานนท์. 2544. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์คลอไรด์ และ โพแทสเซียมคลอไรด์นำการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. มหาวิทยาลัยมหิดล : กรุงเทพมหานคร.
- ณิชนันท์ คำนวนสินธุ์. 2550. การผลิตแผ่นกรองอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์. พิษณุโลก มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- นิรนาม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1592 (พ.ศ. 2553). ประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้.
- พัชรวิระ พจนานันท์. 2543. ผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี : กรุงเทพมหานคร.
- ปริญทร เต็มถาวรศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพมหานคร.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon D2866-94**. 15.01. 707-708. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon D2867-95**. 15.01. 709-711. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon D4607-94**. 15.01. 755-759. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples D5832-95**. 15.01. 782. United State of America.
- American Water Works Association. 1995. **Standard for Activated Carbon**. AWWA B600-95. United States of America.
- Bansal, R.C., J.B. Donnet and F. Stoecki. 1987. **Active Carbon**. New York: Marcel Dekker Inc.
- Cheremisinoff, P.N. and A.C. Morresi. 1987. Carbon adsorption application. In P.N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch(eds.), **Carbon adsorption handbook**. Michigan: Ann Arbor Science.

- Culp, G.L. and R.L. Culp. 1974. **New Concepts in Water purification**. Newyork:VanNostrand Reinhold Company.
- Dubin, M.M. 1966. **Chemistry and physics of Carbon**. New York: P.L. Walker Jr.(Ed.), Vol.2, M Dekker.
- Hassler, J.W. 1697. **Activated carbon**.London:Leonard Hill.
- Hsu, L.Y. and H. Teng. 2000. Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. **Fuel Processing Technology**.64:155-166.
- Kohan, S.M. and D.M. Barkodor. 1979. Mission Analysis for Federal Fuel from Biomass Program vol IV. **Thermalchemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry**, Chapter VI, Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January.
- Kula, I., M. Ugurla, H. Karaoglu and A. Celik. 2008. Adsorption of Cd(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from olive stone by ZnCl₂ activation. **Bioresource Technology**. 99:492-501.
- Mattson, J.S. and H.B. Mark. 1971. **Activated carbon – surface chemistry and adsorption from solution**. Marcel Dekker.
- Mohanty, K., D. Das and M.N. Biswas. 2005. Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from Tectonagrandis sawdust by ZnCl₂ activation. **Chemical Engineering Journal**.115:121-131.
- Namane, A., A. Mekarzie , K. Benrachedi, B.N. Belhaneche and A. Hellal. 2005. Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl₂ and H₃PO₄. **Journal of Hazardous Material**. B119:189-194.
- Singh, K.P., A. Malik, S.Sinha and P. Ojha. 2007. Liquid-phase adsorption of phenols using activated carbons derived from agricultural waste material. **Journal of Hazardous Materials**.

ภาคผนวก

1. การเผยแพร่องค์ความรู้

ในส่วนของการเผยแพร่องค์ความรู้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด พบว่าผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยาย ส่วนมากมีความรู้ในเรื่องของการผลิตถ่านกัมมันต์น้อยมาก ส่วนใหญ่ทราบแต่วิธีการผลิตถ่านธรรมดา โดยในการบรรยายในครั้งนี้ ส่วนใหญ่ให้ความสนใจพอสมควร



ภาพผนวกที่ 1 การบรรยายภาคการบรรยายการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

ในขณะนี้ทางบ้านหนองไช ตำบลป่าสัก จังหวัดลำพูน ได้มีการจัดตั้งกลุ่มผลิตสินค้าโอท็อป ซึ่งในอนาคตทางผู้นำชุมชนจะได้มีการจัดกลุ่มชาวบ้านในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชาวบ้านในชุมชนได้อีกทางหนึ่ง



ภาพผนวกที่ 2 การถ่ายรูปร่วมกันของผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยายให้ความรู้ในเรื่องของการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

2. วิธีวัดความพรุน

ความพรุน (Porosity)

เป็นสมบัติที่แสดงสัดส่วนของ ปริมาตรของช่องว่างภายในมวลถ่าน(V_v) กับปริมาตรของมวลถ่าน(V_t) นั่นคือ

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (4-1)$$

ในการหาค่าความพรุนมีขั้นตอนต่อไปนี้คือ

1. หาน้ำหนักของถ่านที่อบแห้งสนิท อาจเป็นตัวอย่างทรงกระบอก หรือตัวอย่างแบบก้อน (W_{dry})
2. แช่ตัวอย่างให้อิ่มน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ทำการหาน้ำหนักของถ่านที่อิ่มน้ำ (W_{sat})
3. ชั่งน้ำหนักของถ่านอิ่มน้ำ โดยแทนที่น้ำเพื่อหาปริมาตรของหิน (W_{sub}) จากกฎที่ว่าน้ำหนักที่หายไปใต้น้ำเท่ากับน้ำหนักของน้ำปริมาตรเท่าวัตถุ

4. คำนวณค่าความพรุน

$$n = \frac{(W_{sat} - W_{dry})}{(W_{sat} - W_{sub})}$$

วิธีการคำนวณปริมาตรรูพรุน

1. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น D (กรัม)
2. ดมชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 5 ชั่วโมง และแช่ไว้อีกนาน 24 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกเป็น S (กรัม)
4. เช็ดผิวชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น W (กรัม)
5. นำค่าจากการทดสอบมาคำนวณตามสูตร

5.1 ปริมาตรของชิ้นงาน (Exterior Volume) = $(W - S) / d$

5.2 ปริมาตรของรูพรุนเปิด (Volume of Open Pores) = $(W - D) / d$

5.3 ร้อยละของความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity) = $[(W - D) / V] \times 100$

5.4 ร้อยละของการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) = $[(W - D) / D] \times 100$

5.5 ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Bulk Density) = D / V

d หมายถึงความหนาแน่นของน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

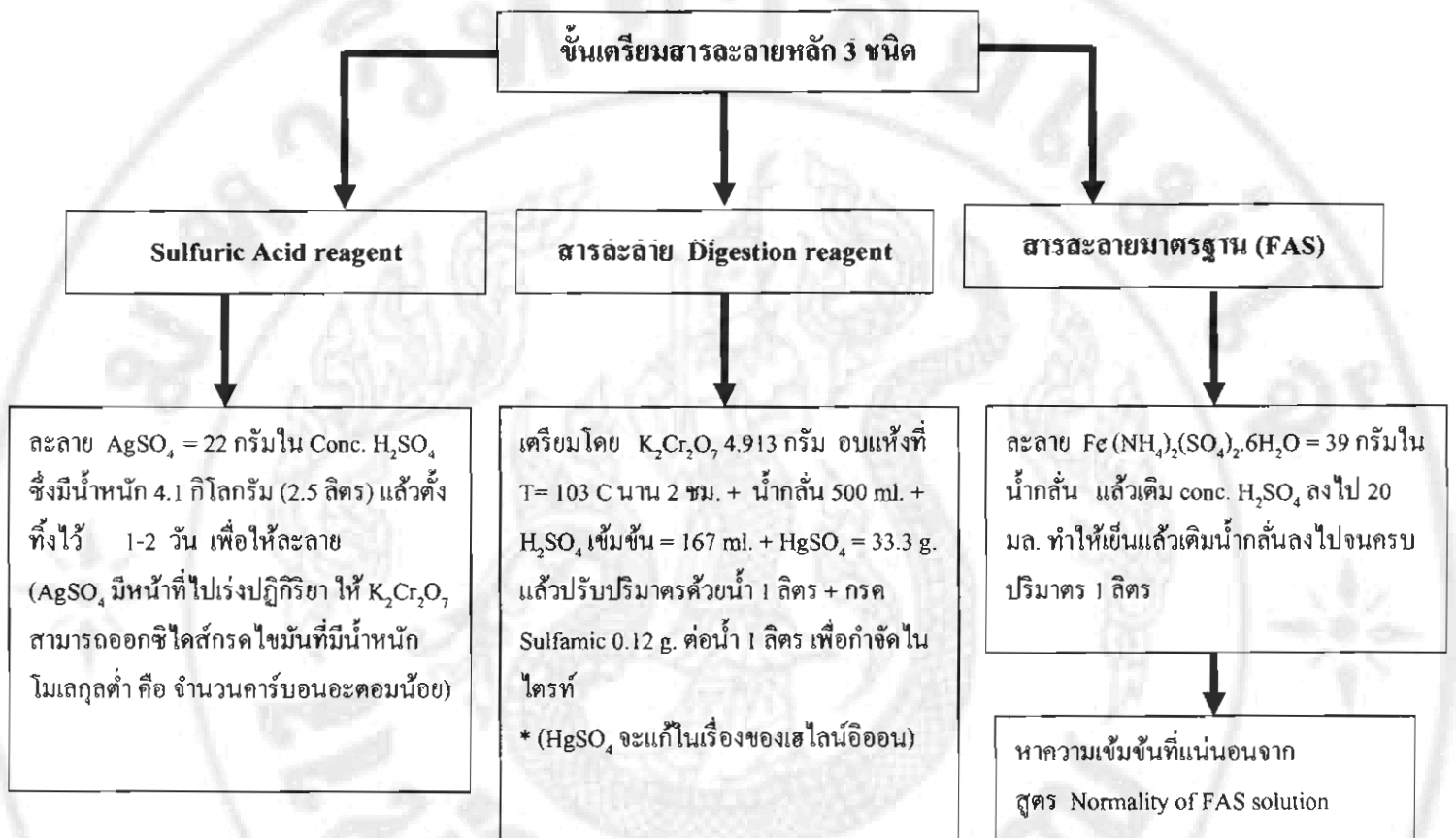
D หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)

S หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในน้ำ (กรัม)

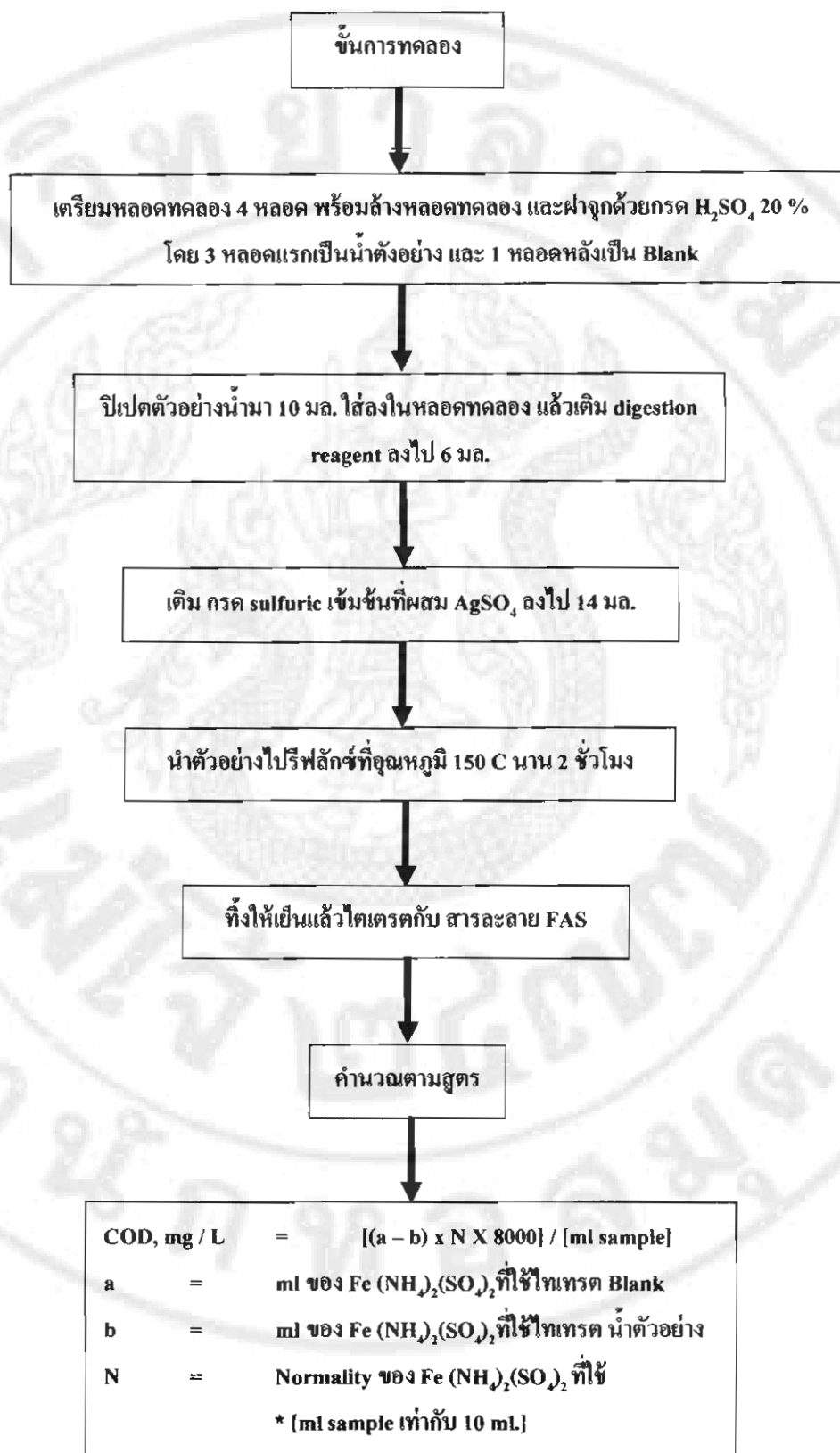
W หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในอากาศ (กรัม)

V หมายถึงปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3. วิธีการวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ



ขั้นตอนการวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ



4. การวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (อภิชัย ทิวประภากร, 2545)

4.1 สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

4.1.1 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน หนัก 0.5 กรัม ละลายในเอซิด แอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 50 มล. จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.0454 *N* ที่ละหยดจนเกิดสีชมพูอ่อน ซึ่งแสดงว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่

4.2.2 ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตหนัก 2.407 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มล. แล้วที่ตู้บัพใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2 วิธีการวิเคราะห์

4.2.1 เก็บตัวอย่างน้ำโดยไม่ให้ตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยใช้ขวด BOD และควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือภายในเวลาไม่เกิน 2 – 3 ชม. หลังจากเก็บตัวอย่าง

4.2.2 ใช้สายยางดูดตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ใสลงในกระบอกตวงขนาด 100 มล. โดยปล่อยให้ตัวอย่างน้ำล้นออกประมาณ 50 – 75 มล. แล้วใช้ปิเปตหรือหลอดหยด ดูดส่วนที่เกินออกให้ได้ปริมาตรคงเหลือ 100 มล.

4.2.3 หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไปในตัวอย่างไม่เกิน 4 – 5 หยด ถ้าตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพูแสดงว่ามีค่า pH มากกว่า 8.34 ซึ่งไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่ถ้าตัวอย่างน้ำไม่เปลี่ยนสีแสดงว่ายังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องรีบทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0454 *N* ขณะไทเทรตใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างน้ำเบา ๆ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพู (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต

4.2.4 ตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำซ้ำเหมือนเดิม แต่ทำการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาน้อยที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างน้ำ

4.2.5 คำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มก./ล.)} = \frac{(V_1) \times (N) \times (22) \times (1,000)}{V_2}$$

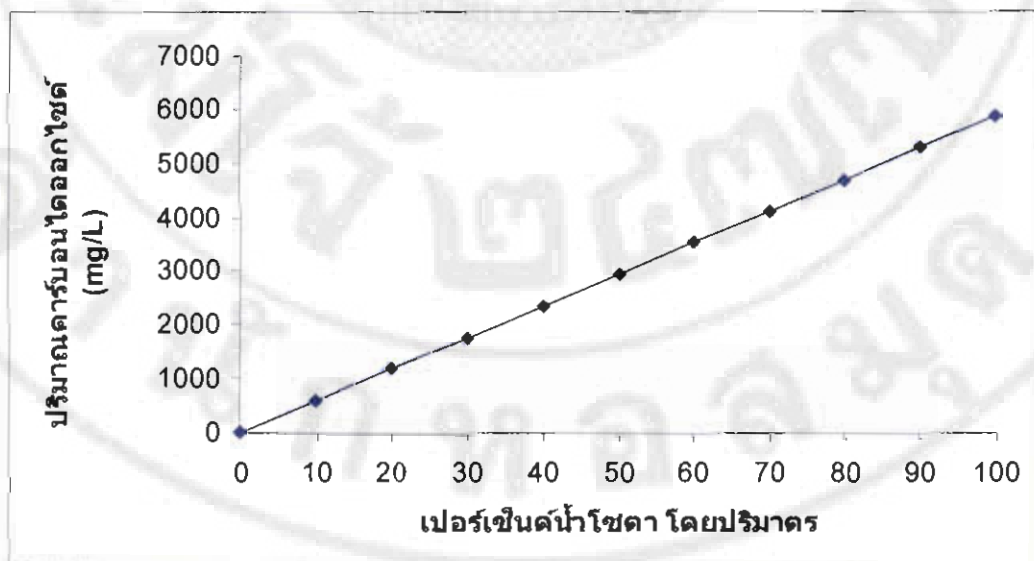
V_1 หมายถึง ปริมาตรของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต (มล.)

V_2 หมายถึง ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (100 มล.)

N หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (0.0454 N)



ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์สารเคมีและขั้นตอนการไทเทรตหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำโดยอยู่ในรูปของน้ำโซดา

ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง																		
	มวลของถ่าน (กรัม)						% phenol ที่เหลือ						% phenol ที่ถูกดูดซับ						
	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3	
1/1	0.013	0.049	0.068	0.11	0.125	0.14	26	49	45.33	5.5	5	4.67	74	51	54.67	94.5	95	95.33	
1/2	0.019	0.031	0.052	0.091	0.099	0.095	38	31	34.67	4.55	3.96	3.17	62	69	65.33	95.45	96.04	96.83	
2/1	0.018	0.035	0.045				36	35	30	3.15	2.97	2.4	64	65	70	96.85	97.03	97.6	
2/2	0.012	0.052	0.05	0.075	0.13	0.129	24	52	33.33	3.75	3.25	2.87	76	48	66.67	96.25	96.75	97.13	
3/1	0.011	0.031	0.049	0.074	0.08	0.09	22	32.67	32.67	3.70	3.20	3	78	67.33	67.33	96.30	96.80	97.00	
3/2	0.018	0.018	0.031	0.041	0.039	0.038	36	20.67	20.67	2.05	1.56	1.27	64	79.33	79.33	97.95	98.44	98.73	
4/1	0.009	0.033	0.029	0.037	0.039	0.039	18	19.33	19.33	1.85	1.56	1.30	82	80.67	80.67	98.15	98.44	98.70	
4/2	0.01	0.029	0.048	0.065	0.055	0.069	20	32	32	3.25	2.2	2.3	80	68	68	96.75	97.8	97.7	
AC	0.005	0.022	0.012	0	0	0	10	8	8	0	0	0	90	92	92	100	100	100	

ตารางผนวกที่ 2 แสดงสถานะในกระบวนการผลิตด้านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด

ตัวอย่าง แป้งลำไย:เกลือ	สถานะ	น้ำหนัก ก่อนอบ	น้ำหนัก หลังอบ 12 ชั่วโมง	% Yield	% ความชื้น	เผาที่ Step 1 และ 2	อุณหภูมิใน การเผา	เวลาในการ เผา	กระตุ้นด้วย ไอน้ำ(PSI)	เวลาในการ กระตุ้น	เวลาในการ แช่ H ₃ PO ₄ 85%
1:8:1	1	85.934	76.49	89.01	10.99	T=350,t=10	350	20	10	40	4
	2	67.31	60.17	89.43	10.57	T=350,t=20	350	30	15	20	12
2:6:2	1	77.07	74.9	97.19	2.81	T=370,t=10	370	20	10	40	4
	2	78.21	76.31	97.56	2.44	T=370,t=20	370	30	15	20	12
1:6:3	1	61.67	60.32	97.82	2.18	T=390,t=10	390	20	10	40	4
	2	80.38	76.36	95.52	4.48	T=390,t=20	390	30	15	20	12
2:5:3	1	68.6	66.19	96.44	3.56	T=420,t=10	420	20	10	40	4
	2	61.21	59.29	96.78	3.22	T=420,t=20	420	30	15	20	12