

รายงานการวิจัย

**เรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามที่เสียหายจาก
ราเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์**

**Activated carbon production from moldy damaged
tamarind-pod for commercial utilization**

โดย

ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2555

รายงานการวิจัย

**เรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามที่เสียหายจาก
ราเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์**

**Activated carbon production from moldy damaged
tamarind-pod for commercial utilization**

โดย

ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2555

ประกาศคุณูปการ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่เสียหายจากรา เพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2555 โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยใคร่ ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการ ดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหามะขามที่เสียหายจากราในจังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดใกล้เคียง ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะขามหวาน ตลอดจนวิสาหกิจชุมชนและผู้สนใจทั่วไป ในการนำเอาข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ต่อไป

ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

2555

หัวข้อวิจัย:	การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่เสียหายจากราเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์
ประเภทการวิจัย:	การวิจัยประยุกต์ (เคมี)
ชื่อผู้วิจัย:	ปิยรัตน์ มุลศรี วิไลพร ปองเพียร และ กฤษฎิญา มุลศรี
มหาวิทยาลัย:	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีการศึกษา:	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่เสียหายจากราเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์โดยการใช้เตาเผาภูมิปัญญาชาวบ้านที่ประกอบขึ้นจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอนไนเซชันฝักระยะขามให้เป็นถ่านคือที่อุณหภูมิ 400°C นาน 4 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ คือ ที่อุณหภูมิ 600°C นาน 1-2 ชั่วโมง และสารที่กระตุ้นให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดได้แก่ H_3PO_4 รองลงมาคือ H_2O , KOH , และ ZnCl_2 ตามลำดับ จากการตรวจสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้พบว่า มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง $851.58\text{-}910.31 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET Theory) มีปริมาตรรูพรุน $2.24\text{-}2.32 \text{ cm}^3/\text{g}$ มีรัศมีเฉลี่ยของรูพรุน $50.90\text{-}52.53$ อังสตรอม มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์อยู่ในช่วง $613\text{-}655 \text{ mg/g}$ สามารถดูดซับฟีนอลได้ประมาณ $61\text{-}83 \%$ และไม่พบปริมาณโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ จากการวิเคราะห์สมบัติด้านการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่า ที่พีเอช 6.0 มีค่าการดูดซับ Cu^{2+} ได้ดีที่สุดและมีค่าคงที่ของแลงเมียร์ (k) เท่ากับ 0.752 จากการศึกษาการดูดซับกรดอะซิติกของถ่านกัมมันต์โดยใช้แลงเมียร์พล็อตและฟรอยด์ลิตพล็อตพบว่าได้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับกรดอะซิติกได้ดีและการดูดซับมีความแข็งแรง นอกจากนี้การชะล้างถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ไว้ ด้วยสารละลายกรดเท่านั้นที่สามารถทำให้มีโลหะเหล่านี้หลุดออกมาเพียงเล็กน้อย จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในสเกลระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมโดยใช้เตาเผาขนาด 200 ลิตร โดยใช้สภาวะของการเตรียมถ่านกัมมันต์ข้างต้นพบว่า มีต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัมเท่ากับ 145 บาท ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 624 mg/g มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง $6.8\text{-}7.5\%$ มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง $6.5\text{-}7.3\%$ และมีความหนาแน่นปรากฏประมาณ 0.42 g/cm^3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) นอกจากนี้การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารวัสดุกรองในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็กเพื่อใช้ในการปรับสภาพน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระยะขามสามารถลดความกระด้างของน้ำและปริมาณโลหะหนักที่พบอยู่ในน้ำตัวอย่างได้ โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความกระด้างและปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในน้ำได้ดีพอ ๆ กับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

Research title: Activated carbon production from moldy damaged tamarind-pod for commercial utilization

Type of research: Applied research (Chemistry)

Researcher: Piya-rut Moonsri, Wilaiporn Pongpian, and Kristiya Moonsri

University: Phetchabun Rajabhat University

Year: 2012

ABSTRACT

This research studied the production of activated carbon derived from tamarind pods damaged by mold to use for commercial. Folk wisdom kiln which composed of the fuel tank size of 200 liters was used in this research. From the study, it was found that optimal conditions for charcoal carbonization of the tamarind pod is 400 °C for 4 hours. The optimal condition for burning to activation is 600 °C for 1-2 hours and substances that stimulate the activated carbon with have more iodine adsorption value are phosphoric acid (H₃PO₄) followed by distillation water (H₂O) potassium hydroxide (KOH) and zinc chloride (ZnCl₂) solutions, respectively. From properties investigation of the activated carbon, it found that it has specific surface area in the range. 851.58-910.31 m²/g (BET Theory), a pore volume 2.24-2.32 cm³/g with an average pore radius of 50.90 to 52.53 Å, iodine number is in the range of 613-655 mg /g, phenols adsorption approximately 61-83%, and no metals Fe, Mn, Pb and Cd residues in the activated carbon. From adsorption properties analysis of the activated carbon was found that at pH 6.0, the adsorption Cu²⁺ has the best and the Langmuir constant (k) equal to 0.752 of the study. Acetic acid adsorption investigated by the Langmuir isotherm and the Freundlich isotherm show monolayer adsorption isotherm and the activated carbon can adsorbs the acetic acid well and strength. In addition, leaching of the activated carbon which has adsorbed metals Fe, Mn, Pb and Cd can be made by using acid solution but these metals come off a little. Study on production of activated carbon in small and medium enterprise (SMEs) scale by using the kiln with the production conditions as mention above, found that production cost is 145 baht/kg to produce activated carbon which has iodine number equal to 624 mg/g, the moisture content in the range 6.8 to 7.5%, ash content in the range 6.5 to 7.3%, and apparent density 0.42 g/cm³, which is based on the industrial standard of activated carbon product (900-2457). Furthermore utilization of the activated carbon as filter material in a small water filter use for water hardness and heavy metals treatment found that the activated carbon can reduce both of water hardness and heavy metals. By effectively reducing the amount of hardness and heavy metals in the water as well as with commercial grade activated carbon that can be purchased in general market.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ประกาศคุุณูปการ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	3
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 มะขามหวาน	4
2.2 ถ่านกัมมันต์	5
2.3 กระบวนการดูดซับ	15
2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์	21
2.5 การผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	34
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	34
3.2 การเตรียมวัตถุดิบมะขามและสารละลาย	36
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	59
4.1 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝั่มะขามขึ้นรา	59
4.2 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้	67
4.3 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม	84
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการใช้เป็นสารกรองน้ำ	87

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	92
เอกสารอ้างอิง	98
ภาคผนวก	100

สารบัญตาราง

ลำดับ	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ	16
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	35
ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่าน การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิต่าง ๆ	60
ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่าน การเผาให้เป็นถ่านที่เวลาต่าง ๆ	61
ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการเผากระดูก ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	64
ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระดูกที่ 600 °C โดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ	64
ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการกระดูกด้วย สารละลายต่าง ๆ และผ่านการเผากระดูกที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง	65
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง	68
ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝัคมะขามหวาน และมะขามเปรี้ยวโดยใช้สารกระดูกต่างกัน	69
ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดซับฟีนอลของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่านการเผา กระดูกให้เป็นถ่าน กัมมันต์โดยใช้สารกระดูกที่ต่างกัน	69
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝัคมะขามขึ้นรา	70
ตารางที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Cu ²⁺ ที่พีเอช 3-6 และความยาวคลื่น 324.6 nm	71
ตารางที่ 4.11 ข้อมูลการดูดซับของ Cu ²⁺ ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu ²⁺ ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C	74
ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการดูดซับของ Cu ²⁺ ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu ²⁺ ที่ pH 4 อุณหภูมิ 30°C	74
ตารางที่ 4.13 ข้อมูลการดูดซับของ Cu ²⁺ ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu ²⁺ ที่ pH 5 อุณหภูมิ 30°C	75

ลำดับ	หน้า
ตารางที่ 4.14 ข้อมูลการดูดซับของ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 6 อุณหภูมิ 30°C	75
ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C	77
ตารางที่ 4.16 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 4 อุณหภูมิ 30°C	78
ตารางที่ 4.17 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 5 อุณหภูมิ 30°C	78
ตารางที่ 4.18 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 6 อุณหภูมิ 30°C	79
ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการดูดซับของกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝัคมะขาม ขึ้นมาจาก ที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับหาความสัมพันธ์ตามแลงเมียร์-ไอโซเทอม	81
ตารางที่ 4.20 ข้อมูลการดูดซับของกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝัคมะขาม ขึ้นมาจาก ที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับหาความสัมพันธ์ตามฟรอยด์ลิค-ไอโซเทอม	82
ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในสารละลายที่มีสภาพ พิเศษต่าง ๆ ที่ใช้ในการแช่ถ่านกัมมันต์จากมะขามขึ้นรา นาน 6 ชั่วโมง	83
ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในสารละลายที่มีสภาพ พิเศษต่าง ๆ ที่ใช้ในการแช่ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า นาน 6 ชั่วโมง	84
ตารางที่ 4.23 แสดงต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝัคมะขามขึ้นราปริมาณ 10 kg	86
ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว	87
ตารางที่ 4.25 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (บ้านนางัว หมู่ 3, 7 ก.ย 55)	88
ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำผิวดินจาก แหล่งน้ำหนองนารีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (หนองนารี หมู่ 3, 10 ก.ย 55)	88
ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำจากแหล่งน้ำ เพื่อการเกษตรโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (ลำน้ำเข็ก ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์, 15 ก.ย. 55)	88
ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจาก แหล่งน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ	89

ลำดับ	หน้า
ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจาก แหล่งน้ำหนองนารีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ	90
ตารางที่ 4.30 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจาก แหล่งน้ำสำหรับการเกษตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (ลำน้ำเข็ก ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์)	90

สารบัญรูป

ลำดับ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของฝักมะขามหวาน	4
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของฝักมะขามหวานที่เกิดรา	5
รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	9
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	11
รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เซลลูโลสกับฟอสฟอริก	11
รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ	12
รูปที่ 4.1 ลักษณะของวัตถุดิบฝักมะขามขึ้นราก่อนการนำไปเผาเพื่อทำเป็นถ่าน	59
รูปที่ 4.2 การประกอบเตาภูมิปัญญาชาวบ้านเพื่อใช้ในการเผาถ่าน	60
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของถ่านของฝักมะขามที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน	62
รูปที่ 4.4 ลักษณะของถ่านจากฝักมะขามที่ผ่านการบดและผ่านการร่อนด้วย ตะแกรงขนาดต่าง ๆ	63
รูปที่ 4.5 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นโดยใช้สารละลายต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง	66
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ (ก)-(ค) และเกรดการค้า (ง) โดยใช้เทคนิค SEM	67
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 3 และ ความยาวคลื่น 324.6 nm	71
รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 4 และ ความยาวคลื่น 324.6 nm	72
รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 5 และ ความยาวคลื่น 324.6 nm	72
รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 6 และ ความยาวคลื่น 324.6 nm	73
รูปที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C	76
รูปที่ 4.12 แลงเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์ จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C โดยมีค่า k เท่ากับ 0.391, 0.564, 0.460 และ 0.752 ตามลำดับ	76
รูปที่ 4.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจาก สารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C	79

ลำดับ	หน้า
รูปที่ 4.14 แล่งเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C โดยมีค่า k เท่ากับ 0.390, 0.354, 0.214 และ 0.885 ตามลำดับ	80
รูปที่ 4.15 แล่งเมียร์พล็อตของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จาก ฝักมะขามขี้เ็นรา ที่อุณหภูมิ 30°C	81
รูปที่ 4.16 พรอยด์ลิตพล็อตของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จาก ฝักมะขามขี้เ็นรา ที่อุณหภูมิ 30°C	82
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะของเตาเผาถ่านที่ใช้ในการศึกษาและลักษณะของถ่านที่ได้จากการเผา	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมะขามเป็นพืชเศรษฐกิจ โดยมีพื้นที่ในการปลูกมะขามที่มากที่สุดในประเทศ เนื่องจากสภาพดินและสภาพอากาศที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกมะขามหวาน จนจังหวัดเพชรบูรณ์ได้รับการขนานนามว่าเป็น “เมืองมะขามหวาน” นอกจากนี้ยังมีการปลูกมะขามเปรี้ยวอยู่ในบางพื้นที่ด้วย ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานนั้น โดยทั่วไปจะสามารถเก็บได้เมื่อฝักแก่ซึ่งอยู่ในช่วง เดือนธันวาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปัญหาของการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามที่ปลูกได้คือ การเกิดเชื้อราภายในฝักของมะขาม และแมลงที่ทำลายฝักมะขาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดเชื้อราในฝักมะขาม ซึ่งมักจะเกิดขึ้นหากมีฝนตกหนักติดต่อกัน ในช่วงก่อนการเก็บผลผลิตมะขาม ทำให้เกษตรกรชาวสวนมะขามต้องสูญเสียรายได้และอาจเกิดการขาดทุนจากการเพาะปลูก ในช่วงต้นปี 2553 ที่ผ่านมามีปัญหามะขามหวานขึ้นราเกิดขึ้นอย่างรุนแรงมากสำหรับชาวสวนผู้ปลูกมะขามหวานของจังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดใกล้เคียง ทั้งนี้เนื่องจากมีฝนตกหนักและติดต่อกันหลายวันในช่วงปลายเดือนมกราคม จนทำให้เกษตรกรผู้ทำสวนมะขามได้รับความเสียหายและขาดทุนเป็นอย่างมาก จนมีการรวมกลุ่มกันของเกษตรกรจำนวนมากเพื่อเรียกร้องให้มีการชดเชยความเสียหายที่หน้าศาลากลางของจังหวัด จากหน่วยงานภาครัฐ ดังนั้นปัญหามะขามหวานขึ้นราจึงถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ของจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ต้องการการแก้ไขโดยด่วน โดยในการแก้ไขปัญหานี้ควรมีทั้งการป้องกันและยับยั้งการเกิดเชื้อราในฝักมะขาม รวมถึงการจัดการผลผลิตที่เสียหายเหล่านั้นให้เกิดมูลค่าเพิ่มขึ้นควบคู่กันไป ในปัจจุบันผลผลิตของฝักมะขามที่ขึ้นรานั้นเกษตรกรจะทำการตัดทิ้งโดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อ ทำให้การลงทุนในการปลูกมะขามนั้นสูญเสียผลผลิตของการเพาะปลูกไปโดยไร้ค่า ดังนั้นการนำฝักมะขามที่ขึ้นราเหล่านั้นมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เช่น การใช้เป็นสารดูดซับในระบบน้ำกรอง การใช้ในการดูดซับโลหะหนัก ใช้ในระบบฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศ หน้ากากแก๊ส หรือใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ก็จะช่วยทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มให้กับฝักมะขามที่ขึ้นราเหล่านั้น เพื่อลดความสูญเสียของการปลูกมะขามแล้วผลผลิตเกิดการขึ้นราไม่สามารถขายได้ จึงเป็นการช่วยแก้ไขปัญหานี้ในระยะสั้นของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะขามได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่ขึ้นรา
2. เพื่อศึกษาการคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่ได้
3. เพื่อพัฒนาถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ได้
4. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยและข้อมูลด้านการออกแบบและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ของถ่านกัมมันต์แก่ท้องถิ่น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขาม (ทั้งระยะขามหวานและระยะขามเปรี้ยว) ที่เสียหายจากการที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
2. ได้ข้อมูลสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางด้านเคมี และสมบัติด้านการใช้เป็นสารดูดซับของถ่านกัมมันต์ดังกล่าว
3. ได้ข้อมูลการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม และประสิทธิภาพการใช้งาน ที่สามารถผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้
4. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับฝักระยะขามที่เสียหายจากการขึ้นราเหล่านั้น และช่วยบรรเทาความเดือดร้อนจากการสูญเสียการลงทุนในการปลูกมะขาม
5. กลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ หรือผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปใช้ประกอบอาชีพเพื่อเสริมรายได้ให้กับครอบครัวต่อไปได้
6. ทำให้เกิดการจัดการสินค้าเกษตรที่ด้อยมูลค่า ส่งเสริมการแข่งขันในธุรกิจเกษตร และช่วยรักษาสິงแวดล้อม
7. ได้บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารในประเทศหรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 เรื่อง หรือสามารถนำไปจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. มะขามที่ใช้ในการศึกษาจะใช้มะขามหวานที่ปลูกกันมากในจังหวัดเพชรบูรณ์ อย่างน้อย 4 พันธุ์ และมะขามเปรี้ยวที่ปลูกมากในจังหวัดเพชรบูรณ์อย่างน้อย 1 พันธุ์
2. การเตรียมถ่านกัมมันต์ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในกระบวนการคาร์บอนเซชัน และการใช้สารเคมีประเภท เกลือ กรด และเบส ในการกระตุ้นเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์
3. ทำการศึกษาสมบัติและคุณภาพของถ่านกัมมันต์ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี เช่น ลักษณะสัณฐานวิทยา สมบัติของพื้นผิว ไอโอไดีนัมเบอร์ สมบัติด้านการดูดซับ เป็นต้น

4. ทำการศึกษาการใช้เป็นสารวัสดุสำหรับการกรองน้ำโดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าภายในประเทศ
5. ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นราในเชิงปริมาณ (mass volume)
6. ทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและมูลค่าเพิ่มที่เกิดขึ้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามที่ขึ้นรา และศึกษาแนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์
7. ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลลัพธ์ของงานวิจัยแก่ตัวแทนของกลุ่มเครือข่ายเกษตรกรผู้ปลูกมะขามในจังหวัดเพชรบูรณ์ และนำเสนอในการประชุมวิชาการต่าง ๆ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่ 1 มกราคม 2555 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2556

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

- ห้องปฏิบัติการทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ที่ทำการกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะขามหวาน ภายในจังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะขามหวาน

มะขามหวาน (sweet tamarind) เป็นไม้ผลที่มีทรงพุ่มขนาดใหญ่ ปลูกได้ดีในสภาพพื้นที่ฝนตกไม่ชุกมากนัก ดินที่เหมาะสมในการปลูกมะขามหวานควรเป็นดินร่วน มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 1,200-1,800 มิลลิเมตร มะขามหวานจะเริ่มให้ผลผลิตหลังจากปลูกไปแล้ว 4 ปี และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วไม่ต่ำกว่า 30 ปี ตั้งแต่ติดดอกจนถึงดอกบานจะใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน หลังจากดอกบานจนถึงฝักแก่จะใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นอายุ 10 ปี จะให้ผลผลิตประมาณ 100 กิโลกรัม ผลผลิต 1 กิโลกรัม จะมีประมาณ 30-45 ฝัก ฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยพันธุ์มะขามหวานที่ส่งเสริมให้มีการปลูกได้แก่ พันธุ์ สีทอง ศรีชมพู ชันดี อินทผลัม ประกายทอง พื้นที่ที่มีการปลูกมะขามหวานได้แก่

ภาคเหนือ เพชรบูรณ์ แพร่ น่าน ลำปาง พิจิตร โลก อุดรดิตถ์ พะเยา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เลย มุกดาหาร นครราชสีมา อุบลราชธานี ชัยภูมิ หนองคาย สกลนคร

นครพนม อุดรธานี ขอนแก่น หนองบัวลำภู

ภาคตะวันออก จันทบุรี สระแก้ว



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของฝักมะขามหวาน

การเกิดเชื้อราในมะขามหวานเป็นปัญหาสำคัญของเกษตรกรชาวสวนมะขามหวานมาโดยตลอด พันธุ์มะขามหวานที่เกิดเชื้อรามาก คือพันธุ์ประกายทอง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ขายได้ราคาดีกว่าพันธุ์อื่นๆ เนื่องจากฝักใหญ่ เนื้อหนา รสหวานหอมเหมือนน้ำผึ้ง และออกในช่วงปีใหม่ที่ผู้คนต้องการซื้อเป็นของ

ฝาก แต่ปัญหาการเกิดเชื้อราทำให้คนไม่นิยมซื้อมะขามหวานพันธุ์นี้เท่าที่ควร เพราะไม่มั่นใจว่ามีเชื้อราหรือไม่ ซึ่งมองจากภายนอกจะดูไม่ออกมองไม่เห็นร่องรอยการทำลาย และยังพบเชื้อราในฝักอีก ส่วนใหญ่มีการศึกษาวิธีการปฏิบัติหลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น การผึ่งแดด การนึ่ง การอบในเตาพลังงานแสงอาทิตย์ อบในเตาไมโครเวฟ การรมด้วยกำมะถัน การเก็บในห้องเย็น การฉายรังสี เป็นต้น ซึ่งวิธีการต่างๆ สามารถยับยั้งเชื้อราไม่ให้ลุกลามต่อไปได้ผลดี แต่ก็ยังเหลือร่องรอยการถูกทำลาย เห็นสปอร์ของราติดอยู่ ซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเชื้อราในมะขามหวานเจริญเติบโตดี คือ ปริมาณฝน ความชื้นในดินและในอากาศ ปริมาณ น้ำตาลซูโครสในเนื้อมะขาม ความหนาของเนื้อ ดันที่เกิดเชื้อรามากมักมีร่มเงาบังแสง หรือดันที่อยู่ในที่ลุ่มและทรงพุ่มหนาแน่นที่บ่งชี้ว่าจะเกิดเชื้อราได้มาก เชื้อราที่มักพบในมะขามหวาน ได้แก่ *Pestalotiopsis* sp., *Nigrospora* sp. *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp., *Aureobasidium pullulans*, *Alternaria* sp., *Curvularia lunata*, *Cladosporium* sp., และ *Candida* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มของเชื้อราที่ไม่สร้างสารพิษ



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของฝักมะขามหวานที่เกิดรา

2.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นคาร์บอนรูปหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เนื่องจากพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีรูพรุนซึ่งมีพื้นที่ผิวมากถึง 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม จึงทำให้สามารถดูดซับ ดูดกลืน ดูดแก๊ส และดูดตัวถูกละลายออกจากของเหลวได้ดี ถ่านกัมมันต์มีชื่ออื่น ๆ อีกว่า คาร์บอนกัมมันต์ และ ถ่านดูดซับ เป็นต้น โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะเป็นอันตรูปหนึ่งของคาร์บอน จากการศึกษาด้านเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) แสดงให้เห็นถึงลักษณะความเป็นผลึก โดยคาร์บอนจะจัดเรียงตัวเป็นแผ่นซึ่งอะตอมของคาร์บอนจะยึดเกาะกันในลักษณะหกเหลี่ยม (hexagonal) และแต่ละอะตอมจะยึดเกาะกับอะตอมข้างเคียงอีก 3 อะตอมด้วยพันธะโควาเลนต์ ผลึกจะเกิดการซ้อนทับของแผ่นบางเหล่านี้ ซึ่งขนาดของผลึกขึ้นกับอุณหภูมิของ

การอบให้เป็นถ่าน ส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบที่นำมาผลิตผลึกจะเกิดขึ้นโดยกระบวนการหลายแบบในระหว่างที่มีการให้ความร้อน สารเริ่มต้นพวกอินทรีย์จะรวมตัวก่อให้เกิดโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติกแบบเฮกซะโกนอล การเปลี่ยนแปลงรูปที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นนาน ๆ ครั้ง แต่ก็ยังมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนและส่วนวงแหวนเหลืออยู่และมันสามารถที่จะสร้างพันธะกับสารอื่นที่จะเข้าไปจับกับไฮโดรเจนและคาร์บอน เช่น ออกซิเจนทำให้มีผลต่อการดูดซับซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะเกิดพันธะกับผลึกและเกิดโครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) ซึ่งความแตกต่างของขนาดรูปร่างและการเรียงตัวของผลึกในโครงสร้างทุติยภูมิก็มีผลต่อการดูดซับและสมบัติอื่น ๆ ด้วย การเตรียมถ่านกัมมันต์สามารถทำได้จากวัตถุดิบหลายชนิดที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่าง ๆ ยังสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้จากการปรับปรุงพื้นผิวและรูพรุนเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการ จากการศึกษาการดูดซับในสารละลายบนถ่านกัมมันต์ได้แก่ กรดอะซิติก กรดไขมัน สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยการวัดปริมาณการดูดซับด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ radiochemical analysis, colorimetry, refractive index measurement และ UV-visible spectrophotometry พบว่า ไอโซเทอรัมของการดูดซับในสารละลายส่วนใหญ่มักเป็นไปตามสมการของฟรอนด์ลิค (Freundlich equation) และสมการของแลงเมียร์ (Langmuir equation) นอกจากนี้การนำถ่านกัมมันต์ไปศึกษาการดูดซับแก๊สบางชนิดได้แก่ N_2 , H_2 , Ar , SO_2 , C_2H_2 และ NH_3 โดยการวัดปริมาณการดูดซับด้วยเทคนิค volumetric vacuum analysis โดยการวัดความดันและปริมาตรของแก๊สก่อนและหลังการดูดซับแล้วคำนวณออกมาในรูปของจำนวนโมลที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ พบว่าไอโซเทอรัมของการดูดซับแก๊สมักเป็นไปตามสมการของแลงเมียร์ หรือสมการของบรูนาเออร์-เอมเม็ต-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller equation) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาและรายงานการนำถ่านกัมมันต์ที่เคลือบผิวด้วยออกซิเจนไปศึกษาการดูดซับโมเลกุลที่มีสภาพขั้วต่างชนิดกัน ได้แก่ N_2 , SO_2 , CH_3OH และ H_2O พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ถูกเคลือบผิวด้วยออกซิเจนจะดูดซับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วได้ดี แต่เมื่อเคลือบผิวด้วยออกซิเจนแล้วจะดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ดีกว่า

2.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาใช้เตรียมถ่านกัมมันต์จะเป็นสารที่มีคาร์บอนสูง มีเขื่อนน้อยและราคาไม่แพง โดยสารที่มีการนำมาผลิตถ่านกัมมันต์มีดังนี้

วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น กระดูกสัตว์ต่าง ๆ หรือเนื้อเยื่อสัตว์บางชนิด เป็นต้น

วัตถุดิบจากพืช เช่น ไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เมล็ดกาแฟ เมล็ดผลไม้ กะลามะพร้าว ชานอ้อย กากน้ำตาล เปลือกไม้ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

วัตถุดิบจากแร่ธาตุ เช่น ถ่านหิน ถ่านพีท และ น้ำมันดิน เป็นต้น

2.2.2 กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์มีหลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ลักษณะ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปโดยกระบวนการดังกล่าว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนทำให้เป็นถ่านและขั้นตอนการกระตุ้น ดังนี้

2.2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว แกลบ ช้างอ้อย ไม้ไผ่ ถ่านหินและฟิท์ ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปทำให้เป็นถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีของแข็งและเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก จึงได้นำเอาวัตถุดิบนั้นไปทำให้เป็นถ่านก่อน แล้วจึงมาบดคัดขนาดต่อไปได้ นอกจากนี้หากวัตถุดิบนั้นมีน้ำหรือความชื้นอยู่ด้วย จะต้องมีการทำการกำจัดน้ำ (dehydration) ออกจากวัตถุดิบก่อน เพื่อให้วัตถุดิบนั้นมีคุณภาพที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105°C นาน 1-3 ชั่วโมง ซึ่งวัตถุดิบบางชนิดอาจใช้สารเคมีช่วยในการกำจัดน้ำออกได้ เช่น ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) เป็นต้น

2.2.2.2 การทำให้เป็นถ่าน

เมื่อนำวัตถุดิบมาอบที่อุณหภูมิ 170°C จะทำให้โมเลกุลของน้ำในวัตถุดิบถูกไล่ออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิสูงถึง $270-280^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการสลายบางส่วนพร้อมกับมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และเมทิลแอลกอฮอล์ น้ำมันดิน (tar) เกิดขึ้น และอะตอมของถ่านจะเปลี่ยนเป็นรูปผลึก (crystall formation) ซึ่งเมื่อร้อนถึงอุณหภูมิ $400-600^{\circ}\text{C}$ จะเป็นการสิ้นสุดการทำให้เป็นถ่าน โดยจะมีปริมาณคาร์บอนอยู่ประมาณ 80% ในการเผาควรจะทำให้เสร็จสิ้นโดยเร็ว เพื่อลดเวลาการสัมผัสของสารที่แตกสลายออกมาจากวัตถุดิบกับถ่าน จะทำให้ปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น อัตราการเผาให้เกิดปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบและความสม่ำเสมอของความร้อนรวมทั้งอุณหภูมิรอบ ๆ เตาเผา

การทำให้เป็นถ่านเป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์และแก๊ส อาจกล่าวได้ว่าการทำให้เป็นถ่านเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่ายโดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ $200-500^{\circ}\text{C}$ ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วนหรือจากปฏิกิริยาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสถานะที่มีออกซิเจนน้อยหรือในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของทาร์และแก๊ส

การทำให้เป็นถ่านเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนที่เริ่มต้นของการทำโครงสร้างให้มีรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านทาร์ที่ได้จากการทำให้เป็นถ่านควรมีลักษณะ ดังนี้

- มีสีดำตลอด (uniformly black)
- เมื่อหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (shiny surface)
- ปลายที่หักจะแหลมคม (sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

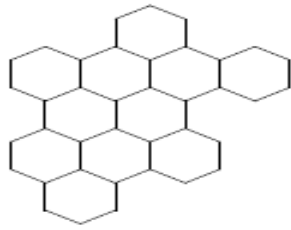
วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นวัตถุที่ผลิตถ่านกัมมันต์ โดยวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้น ต้องการคุณสมบัติที่ต้องการ ดังนี้

- สารระเหยต่ำ
- คาร์บอนคงตัวสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็ง ไม่เปราะ ทนต่อการขัดสี

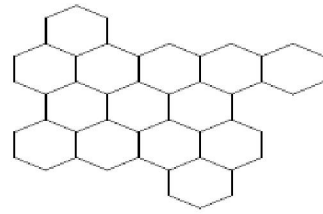
ซึ่งในกระบวนการทางธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้นการทำคาร์บอนในซ์เซชันให้เกิดการสลายตัว โดยการให้ความร้อนเป็นการไถ่ทาร์ แล้วเป็นการไถ่การคาร์บอนในซ์เซชัน ให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ทำได้โดยการปรับสภาวะของปฏิกิริยาไพโรไลซิสให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ

1) อุณหภูมิของการทำให้เป็นถ่าน

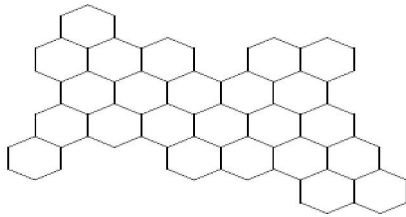
การทำให้เป็นถ่านเป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์ เพื่อเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขนาดเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยจะเกิดการหักออกตรงบริเวณที่มีพันธะอ่อนหรือหมู่ที่หลุดออกง่าย ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ จำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านทาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังรูปที่ 2.3 ส่วนโครงสร้างโมเลกุลหรือส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า จะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ



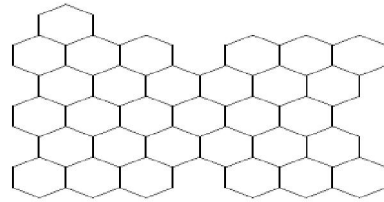
(a) 400 °C



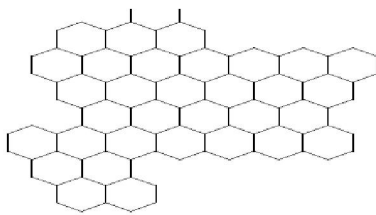
(b) 510 °C



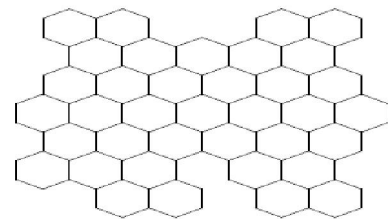
(c) 600 °C



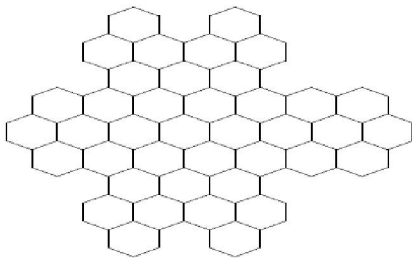
(d) 700 °C



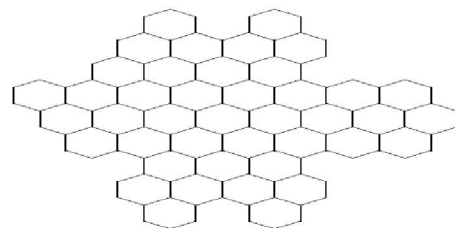
(e) 800 °C



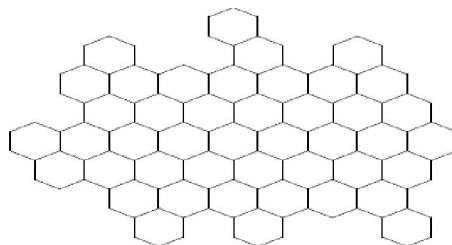
(f) 900 °C



(g) 1,000-1,100 °C



(h) 1,200 °C



(i) 1,300 °C

รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา
ที่มา : Hassle, (1974)

2) อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบอัตราการให้ความร้อน เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสถานะในการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20°C ต่อวินาที อันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็ว

3) ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction)

ตัวกลางปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดจากการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน (เพื่อการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการคาร์บอนไนซ์เซชันโดยใช้อากาศในตัวกลางในการเผาแบบฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized) จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการทำให้เป็นถ่าน ก็เพื่อจะทำให้ถ่านมีขนาดรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

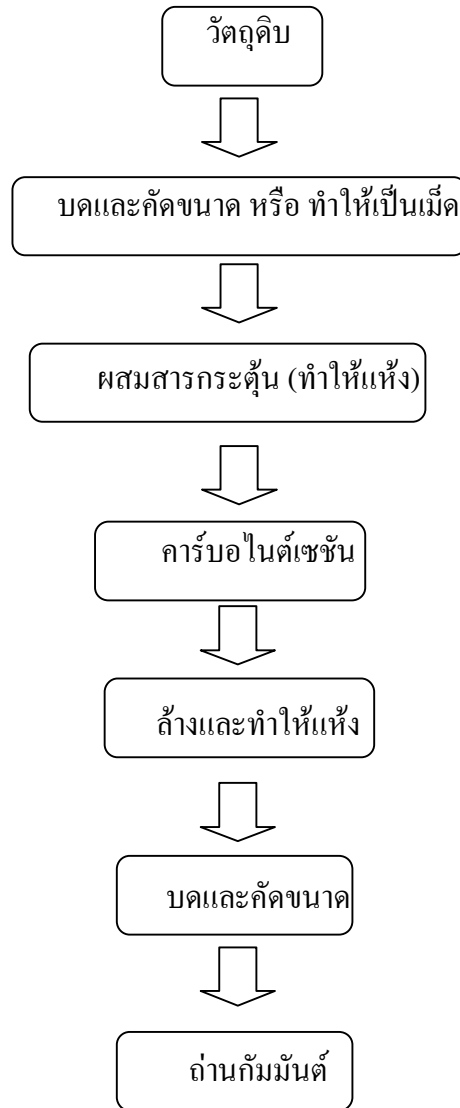
2.2.2.3 การกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวที่มีความว่องไวมากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย การกระตุ้นเพื่อทำให้ได้ถ่านกัมมันต์นั้นมีอยู่ 2 กระบวนการใหญ่ ๆ ได้แก่ กระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) และกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) หรือบางครั้งอาจใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน โดยกระทำกระบวนการทางเคมีก่อนแล้วจึงทำกระบวนการทางกายภาพ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น ทั้งสองกระบวนการต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้พลังงานความร้อนนี้ไปทำให้สารประกอบคาร์บอนที่ผิวของแท่งหลุดออกไป ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นอย่างมากภายในผิวของแท่งถ่านและมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่บนผิวและตามรูพรุนเต็มไปหมด โดยแต่ละแบบเป็นดังนี้

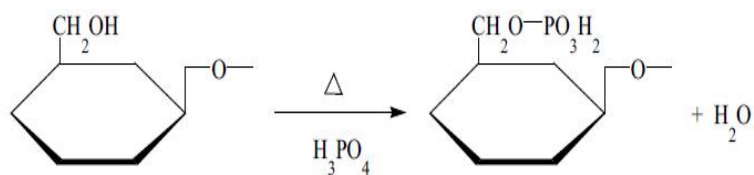
1) วิธีการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น แสดงดังรูปที่ 2.4 และข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก $400-600^{\circ}\text{C}$ แต่มีข้อเสีย คือ สารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สารเคมีส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารคลอไรด์ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของ

วัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ โดยพบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล จะทำให้โครงสร้างของเซลล์ulos เกิดความเสถียรและองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลล์ulos เกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี



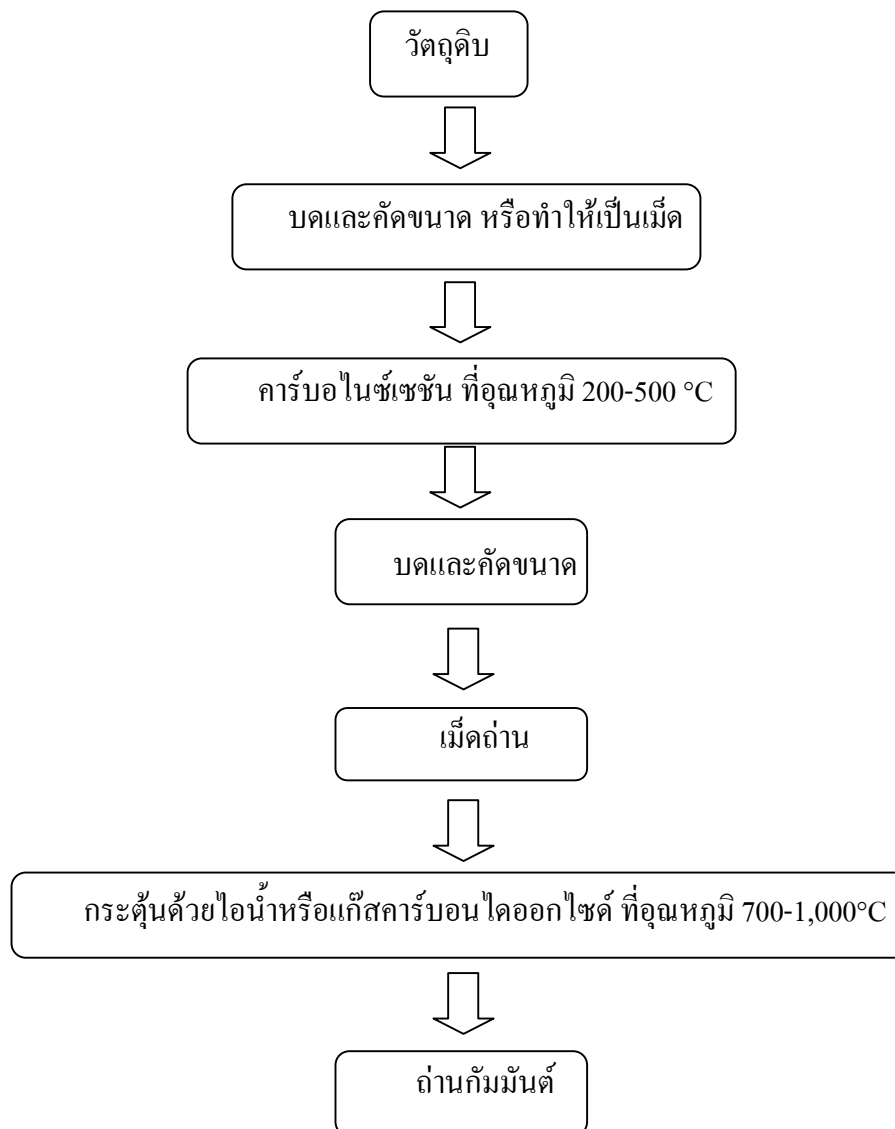
รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เซลลูโลสกับฟอสฟอริก

ที่มา : ญัฐยา พูนสุวรรณ (2545).

2) วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ฟิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่น ไอน้ำอัมตวียังยวด (steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิริยาการกระตุ้นอันเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมาก ถึง $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ได้แก่ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบคุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้ อุณหภูมิของปฏิริยา และระยะเวลาการเกิดปฏิริยา เป็นต้น

สำหรับการกระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี ($700\text{--}1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$) ขั้นตอนการกระตุ้นทางกายภาพ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

จากการกระตุ้นพบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดีกว่าการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าการกระตุ้นด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว กระบวนการกระตุ้นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวคาร์บอน เกิด *แก๊สซิฟิเคชัน* (Gasification) บางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการทำให้เป็นถ่านประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เกิดช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางโดยคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

2.2.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.2.3.1 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซีนหรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือ แต่ละอะตอมก็มีพันธะเดี่ยวอีก 3 อะตอม ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนในการเกิดพันธะนี้เป็นแบบซิกมาอิเล็กตรอน (Sigma electron) อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอน (pair electron) เพื่อทำให้โครงสร้างเสถียรมากขึ้น

2.2.3.2 รูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการทำให้เป็นถ่านมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบระหว่างเซลล์ผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสม คือ การทำให้มีรูพรุนมากขึ้น ไม่ใช่ขนาดของรูพรุนใหญ่

2.2.3.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน อะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรงได้ ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาผลาญ ออกจากช่องว่างหรือโพรงที่จะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

2.2.4 การปรับสภาพของถ่านดูดซับ (carbon regenerate)

เมื่อถ่านถูกใช้งานไปนาน ๆ วัสดุของถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรกทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด จะต้องนำถ่านที่หมดประสิทธิภาพมาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อที่จะกลับมาใช้ใหม่ โดยการนำไปกำจัดโมเลกุลสกปรกที่ติดอยู่ในรูของถ่าน ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี โดยใช้สารอนินทรีย์เคมี ทำการออกซิไดซ์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุด คือ การนำถ่านกัมมันต์ไปเผาในเตาเผา เพื่อควบคุมสถานะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ ระบบการฟื้นฟูของถ่านกัมมันต์ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพจะรวมตัวกันและถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ
- 2) ถ่านกัมมันต์จะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 1,500-1,700 °F ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป
- 3) ถ่านกัมมันต์ที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็น โดยจุ่มลงในน้ำ
- 4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออก แล้วจึงนำไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียู ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณ 2-10 กรัม

2.2.5 การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์ตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท ได้แก่

- 1) การใช้ประโยชน์ในลักษณะผงถ่านละเอียด (powder activation carbon)

ถ่านกัมมันต์ในลักษณะผงถ่านละเอียดนี้มีขนาดอยู่ในช่วง 10-50 ไมครอน หรือน้อยกว่า การใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับของเหลวและสารละลายได้แก่ ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในอาหาร ใช้ในการดูดกลิ่นดูดสีที่ไม่ต้องการในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในยาและผลิตภัณฑ์ทางเคมีอื่น ๆ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์แบบนี้มีข้อดีคือมีราคาถูก การเพิ่มหรือลดปริมาณถ่านกัมมันต์เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของคุณภาพน้ำดิบนั้นสามารถทำได้ทันทีและสะดวก นอกจากนี้การดูดซับผิวก็เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านกัมมันต์แบบนี้ก็มีข้อเสียตรงที่ใช้ได้ครั้งเดียวต้องทิ้งไปเนื่องจากการทำให้พื้นคืนสภาพ (regenerated) นั้นไม่คุ้มค่าและหากต้องการกำจัดสารปนเปื้อนที่มีปริมาณมาก ก็ต้องใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณมาก เป็นต้น

2) ชนิดเป็นเม็ดหรือเป็นเกล็ด (granular activation carbon)

ถ่านกัมมันต์ในลักษณะนี้นิยมใช้ในการดูดซับแก๊สและไอ ใช้ในการกำจัดตัวถูกละลายออกจากน้ำ ใช้ในการดูดคลอรีนออกจากน้ำ และใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ เครื่องกรองอากาศ การทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษทั้งที่ใช้ในกิจการด้านทหารและใช้ทั่ว ๆ ไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับสูง มีกำลังการดูดซับได้สูง รวมทั้งมีความคงทน สามารถคายแก๊สหรือไอที่ดูดซับไว้ได้หมดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน ในการใช้ประโยชน์เป็นสารกรองทำโดยการบรรจุถ่านกัมมันต์ดังกล่าวลงในถังแล้วทำให้น้ำไหลผ่านเหมือนการกรองน้ำ ข้อดีของประเภทนี้คือ สามารถใช้ได้หลายครั้ง ซึ่งถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้จนเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำมาทำให้ฟื้นสภาพด้วยการนำไปเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ $750-950^{\circ}\text{C}$ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

2.3 กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับ (adsorption process) เป็นการแยกโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจาก สารละลาย โดยการใช้ผิวของของแข็ง การดูดซับที่ผิวนี้จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมและโมเลกุลของตัวถูกละลายกับสารที่มาประกอบกันขึ้นมาเป็นพื้นผิว เมื่อตัวถูกละลายในของเหลวเคลื่อนที่ไปใกล้ผิวของของแข็ง กระบวนการดูดซับผิวจะเกิดขึ้นที่ระหว่างหน้าของของแข็งกับของเหลว (solid-liquid interface) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่กำหนด อัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับของพื้นผิว โดยตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของของแข็งจะเรียกว่าสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่สามารถดูดซับตัวถูกละลายไว้ที่ผิวเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ดังนั้นการดูดซับ (adsorption) จึงหมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ หรือเป็นการลดลงของความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ นั่นเอง

2.3.1 ตัวดูดซับ

ตัวดูดซับมีได้หลายชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์ ดินเหนียวประเภทต่าง ๆ แอคติเวตเต็ดซิลิกา แอคติเวตเต็ดอะลูมินา ซิลิกาเจล แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ถ่านกระดูก และถ่านจากกะลามะพร้าว เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันถ่านกัมมันต์อาจถือได้ว่าเป็นสารตัวกลางที่ดีและนิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อถ่านมาก โดยโพรงภายในถ่านกัมมันต์นี้จะมีขนาดความกว้างที่แตกต่างกัน โดยสามารถจำแนกขนาดของโพรงได้ 3 ระดับด้วยกัน คือ micropore ($d < 2\text{ nm}$), mesopore ($2 < d < 50\text{ nm}$) และ macropore ($d > 50\text{ nm}$)

2.3.2 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับที่ผิวเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า ตัวถูกละลาย (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นที่ผิวสำหรับเป็นที่เกาะติดของสารที่ถูกดูดซับนี้เรียกว่า

ตัวดูดซับ (adsorbent) การดูดซับที่ผิวนี้เป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (liquid) แก๊ส (gas) และของแข็ง (solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบระบบของเหลว-ของเหลว ระบบของแก๊ส-ของเหลว ระบบของแก๊ส-ของแข็ง และระบบของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบระบบของของเหลว-ของแข็ง เท่านั้น สำหรับการดูดซับผิวของสารละลายหรือสารแขวนลอยบนถ่านกัมมันต์ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของถ่านกัมมันต์และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาถ่านกัมมันต์เกิดขึ้นได้จนถึงสถานะสมดุล (equilibrium state) โดยที่สถานะนี้ความเข้มข้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในน้ำจะเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะติดอยู่บนถ่านกัมมันต์ ซึ่งการดูดซับนี้เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1) การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดจากความแตกต่างของพลังงาน หรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อน ๆ ที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพนี้จึงไม่ทำให้โครงสร้างของพื้นผิวดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างเกิดการดูดซับ และการดูดซับทางกายภาพนี้ตัวถูกดูดซับสามารถถูกดูดซับได้เป็นหลาย ๆ ชั้น (multilayer) ซ้อนทับกันบนตัวดูดซับได้ โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ การดูดซับทางกายภาพนี้เป็นการดูดซับที่มีค่าความร้อนของการดูดซับต่ำประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นได้น้อยมาก

2) การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ กับตัวดูดซับเกิดเป็นสารประกอบเคมี (chemical compound) โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดย้อนกลับได้และเป็นการดูดซับที่มีค่าพลังงานศักย์ของอันตรกิริยามาก ทำให้มีค่าความร้อนของการดูดซับ (heat of adsorption) สูงประมาณ 50 kJ/mol หรือมากกว่า การดูดซับชนิดนี้จะเลือก เกิดขึ้นเฉพาะกับบริเวณพื้นที่ผิวที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น และจะเกิดขึ้น ได้เพียง ชั้นเดียวซึ่งแตกต่าง จากการดูดซับทางกายภาพ ที่ไม่จำกัดบริเวณที่เกิดการดูดซับที่ผิว และสามารถเกิดขึ้นแบบหลายชั้นได้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
มีค่าความร้อนการดูดซับประมาณ 50 kJ/mol หรือมากกว่า	มีค่าความร้อนการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า
ส่วนมากไม่ผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับได้หลายชั้น
มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง	ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการ
แรงดึงดูดของตัวดูดซับกับตัวที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างแข็งแรงที่เกิดจากการสร้างพันธะเคมี	แรงดึงดูดของตัวดูดซับกับตัวที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน ๆ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์

2.3.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การดูดซับของสารตัวถูกละลายบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ ในขณะที่การดูดซับดำเนินไป ตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับที่ผิวก็มีแนวโน้มที่จะถูกคายกลับออกมาสู่สารละลายได้เหมือนเดิม ความเข้มข้นของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่จำนวนสารละลายที่ถูกดูดซับและถูกคายกลับออกมาจากการดูดซับจะมีปริมาณเท่าๆ กัน ผลที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ อัตราการดูดซับ และอัตราการคายสารออกจะมีค่าเท่ากัน ทำให้ถึงสภาวะสมดุลซึ่งเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ โดยที่จุดสมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายบนผิวถ่านกัมมันต์ หรือความเข้มข้นของตัวสารละลายเอง การเพิ่มปริมาณสารที่ถูกดูดซับจะเกิดได้เพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย การแสดงจำนวนสารละลายที่ถูกดูดซับต่อจำนวนของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิคงที่ จะเรียกว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับ (adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความดันของแก๊สที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ใด ๆ สำหรับการดูดซับโมเลกุลของแก๊สบนผิวของของแข็ง ส่วนกรณีการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวของของแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ใด ๆ โดยไอโซเทอร์มที่สำคัญและมักพบได้ในการดูดซับทั่วไปสำหรับระบบของแก๊ส-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง แบ่งได้ ดังนี้

2.3.3.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

เป็นไอโซเทอร์มการดูดซับที่ง่ายที่สุดสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption isotherm) ที่ถูกเสนอขึ้น โดย เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ในปี ค.ศ. 1916 มีสมมติฐานว่า โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับ (adsorption sites) ที่แน่นอน โดยในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับ จะบรรจุโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้เพียง 1 โมเลกุลเท่านั้น และในแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ โดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน จากการศึกษาไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับแก๊สกับสารดูดซับได้ดังสมการ

$$\frac{P}{Y} = \frac{1}{k_1 k_2} + \frac{P}{k_2}$$

เมื่อ	P	=	ความดันย่อยของแก๊ส
	Y	=	ปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับบนสารดูดซับหนัก 1 กรัม
	k_1, k_2	=	ค่าคงที่

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง P/Y กับ P จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดแกน Y (Y-intercept) คือ $1/k_1 k_2$ และมีความชัน (slope) เท่ากับ $1/k_2$

สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{C}{Y} = \frac{1}{kW_m} + \frac{C}{W_m}$$

เมื่อ Y = จำนวนโมลของตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับบนสารดูดซับ หน่วย 1 กรัม

C = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่หลังการดูดซับที่สภาวะสมดุล

W_m = จำนวนโมลของตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับที่กลุ่มผิวแบบชั้นเดียวอิ่มตัว

K = ค่าคงที่

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง C/Y กับ C จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดแกน Y คือ $1/kW_m$ และมีความชันเท่ากับ $1/W_m$

2.3.3.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรอนด์ลิค (Freundlich isotherm)

เป็นไอโซเทอร์มการดูดซับที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายสมดุลของการดูดซับโดยมีรูปแบบที่เป็นสมการอย่างง่าย ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางอีกแบบหนึ่ง เนื่องจากสมการของฟรอนด์ลิคนี้ สามารถอธิบายข้อมูลของกระบวนการดูดซับส่วนใหญ่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยฟรอนด์ลิคได้ศึกษาปรากฏการณ์การดูดซับตัวถูกละลาย และได้เสนอสมการไอโซเทอร์ม ดังนี้

$$\frac{X}{m} = k C^n$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่หลังการดูดซับที่สภาวะสมดุล

X/m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ

k, n = ค่าคงที่ (มีค่าเฉพาะที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เท่านั้น)

จากสมการของฟรอนด์ลิค เมื่อใส่ลอการิทึม จะได้ในรูปของสมการเส้นตรง ดังนี้

$$\log \frac{X}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดแกน Y คือ $\log k$ ที่สามารถนำมาคำนวณหาค่า k ได้ ส่วนความชันจะเท่ากับ $1/n$ ที่สามารถนำไปคำนวณหาค่า n ได้เช่นกัน โดยค่าคงที่ k ในสมการของฟรอนด์ลิคแสดงให้เห็นถึงค่าความสามารถเริ่มต้นของการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ ส่วนค่า $1/n$ เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรง

ของการดูดซับ (strength of adsorption) โดยหากค่า k มีค่าสูงมาก ๆ แสดงให้ทราบว่า การดูดซับที่ผิวของสารตัวถูกดูดซับมีสูง (X/m มีค่าที่สูง) ส่วนในกรณีของการกำหนดให้ค่า k และ C มีค่าคงที่ หากค่าของ $1/n$ มีค่าที่ต่ำมาก ๆ แสดงให้ทราบว่าสภาพของการดูดซับของสารตัวถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ C ทำให้กราฟของสมการไอโซเทอร์ม มีความชันที่ต่ำจนเริ่มที่จะขนานกับแนวแกน x ที่สถานะเช่นนี้แสดงให้ทราบว่าปฏิกิริยาการดูดซับที่ผิวของตัวถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ส่วนกรณีที่ค่า $1/n$ มีค่าสูงมาก ๆ จะแสดงให้ทราบถึงความไม่แข็งแรงของพันธะในการดูดซับ ดังนั้น X/m จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพิ่มหรือลดลงของค่า C อย่างไรก็ตามสมการของฟรอยด์ลิค ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับทุก ๆ ค่าของ C ที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือ เมื่อค่า C มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า X/m ก็จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน จนกระทั่งปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเริ่มเข้าสู่สถานะอิ่มตัว ค่า X/m ก็จะเริ่มมีค่าคงที่ เมื่อค่า C มีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดนี้แต่ค่า X/m จะมีค่าเกือบคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นที่สถานะนี้ สมการของฟรอยด์ลิคจะไม่สามารถใช้ทำนายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นได้อีกต่อไป ดังนั้นในการทดลองศึกษาการดูดซับโดยใช้สมการไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิคจึงต้องคำนึงถึงเรื่องนี้เป็นสำคัญ

ในกรณีที่พล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C$ แล้วไม่ได้กราฟเส้นตรง แสดงว่าเกิดการเบี่ยงเบนไปจากสมการของฟรอยด์ลิค เช่น การดูดซับในสารละลายที่ไม่ได้วัดจากน้ำหนักจริงของตัวดูดซับ แต่คำนวณจากตัวถูกดูดซับในตัวทำละลายที่มีปริมาณมาก ดังนั้นตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ที่ความเข้มข้นสูงจึงมีปริมาณลดลง

2.3.4 ขั้นตอนของกระบวนการดูดซับ

การกำจัดสารต่าง ๆ ออกจากสารละลายโดยกระบวนการดูดซับที่ผิวมักจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (bulk solution transport) โดยในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลาย (bulk solution) ไปสู่บริเวณที่ใกล้กับอนุภาคของตัวดูดซับ ซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยกระบวนการแพร่ (diffusion)

2) ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวของตัวดูดซับ (film diffusion) ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำที่อยู่หนึ่งซึ่งอยู่รอบ ๆ อนุภาคของตัวดูดซับ โดยใช้วิธีการแพร่แบบโมเลกุลาร์ (molecular diffusion) ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับ หรือการปั่นป่วนของน้ำใน bulk solution โดยเมื่ออัตราการไหลและความปั่นป่วนมีค่าที่สูง ความหนาของชั้นฟิล์มบาง ๆ นี้จะลดลง

3) ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างภายในตัวดูดซับ (pore diffusion) โดยภายหลังจากการที่โมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาคของสารตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของ

โมเลกุลภายในอนุภาคนี้อาจจะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในช่องว่างในตัวดูดซับ หรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ (surface diffusion)

4) ขั้นตอนการดูดซับที่ผิว (adsorption on surface) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้ามาถึงบริเวณที่เป็นพื้นผิวของตัวดูดซับ การสร้างแรงยึดเหนี่ยวของการดูดซับ ระหว่างสารตัวดูดซับและโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะเกิดขึ้น ซึ่งในขั้นตอนของกระบวนการดูดซับที่ผิวนี้อาจจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนของการดูดซับนั้นเป็นแบบการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) ซึ่งจะมีการเกิดปฏิกิริยาเคมีและมีการสร้างพันธะเคมีกันเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวดูดซับ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็จะต้องใช้ระยะเวลาในการเกิดขึ้นช้ากว่าการดูดซับทางกายภาพ

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ในการเกิดกระบวนการดูดซับของโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่พื้นผิวของสารตัวดูดซับนั้น ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการดูดซับ สามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.5.1 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วของการดูดซับที่ผิวนั้นจะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ เมื่อความปั่นป่วนของน้ำต่ำ ชั้นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคของตัวดูดซับจะหนา เป็นสาเหตุให้การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำเกิดขึ้นได้ช้า ดังนั้นในกรณีการแพร่ผ่านของชั้นฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวของตัวดูดซับนี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้ามถ้าหากน้ำมีความปั่นป่วนสูง ฟิล์มของน้ำที่ห่อหุ้มสารตัวกลางจะมีความหนาไม่มากนัก การแทรกตัวของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับผ่านชั้นฟิล์มของน้ำจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในช่องว่างของตัวดูดซับ ในกรณีเช่นนี้การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับผ่านไปยังช่องว่างภายในสารตัวดูดซับจึงเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ดังนั้นอัตราเร็วของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดที่เป็นผงจึงขึ้นอยู่กับ pore diffusion เนื่องจากระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงมีความปั่นป่วนสูง ในขณะที่อัตราเร็วของการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดจะขึ้นอยู่กับ film diffusion เนื่องจากการใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนั้นมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งมีระดับความปั่นป่วนของน้ำที่ต่ำ

2.3.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

โดยปกติถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราเร็วในการดูดซับผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับที่ผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนความสามารถในการดูดซับที่ผิวนั้นจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจึงเกิดการดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวดำกว่า แต่เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในช่องว่างของสารตัวดูดซับ ดังนั้นขนาดของถ่านกัมมันต์จึงมีบทบาทน้อยในการกำหนด

พื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ความสามารถในการดูดซับจึงใกล้เคียงกันด้วย

2.3.5.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารตัวถูกละลาย

สารที่ละลายน้ำได้น้อยมักจะถูกดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดีกว่าสารที่ละลายน้ำได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากการเมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากน้ำไปดูดซับที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารดังกล่าวกับน้ำก็จะมีมาก จึงทำให้ตัวทำละลายถูกดูดซับได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างต้นก็ไม่เป็นจริงเสมอไปในบางสถานการณ์ และอาจเป็นไปได้ในทางตรงกันข้ามได้

2.3.5.4 ขนาดของตัวถูกละลาย

ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ต้องการกำจัดมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดซับ เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในช่องว่าง (pore) ภายในถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาวิจัยที่มีการรายงานออกมาพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อโมเลกุลของสารตัวถูกละลายมีขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย นั่นคือมีขนาดพอดีที่จะเข้าไปภายในโพรงได้ เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและถ่านกัมมันต์จะมีค่ามากที่สุด

2.3.5.5 พิเศษของสารละลาย

เนื่องจากพิษของสารละลายมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นพิษของสารละลายจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย เช่น กรดอินทรีย์จะถูกดูดซับได้ดีที่พีเอชต่ำ เนื่องจากกรดอินทรีย์จะแตกตัวได้น้อยที่พีเอชดังกล่าว สำหรับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นหาได้จากการทดลองเท่านั้น

2.3.5.6 อุณหภูมิของสารละลาย

อุณหภูมิของสารละลายมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับที่ผิวด้วย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับที่ผิวลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาของการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

2.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard) มอก.900-2547 ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดแก๊สในก้นกรองบุหรี่ ทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงาน และใช้ในการกรองน้ำ

2.4.1 ชนิดและชั้นคุณภาพ

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.4.3.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

2.4.3.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็นสองชั้นคุณภาพ คือ

1) ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

2) ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

2.4.3.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

2.4.3.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

2.4.2 ขนาด

2.4.4.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

2.4.4.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.4.4.3 ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

โดยรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ ตลอดจนการบรรจุและการทดสอบ แสดงไว้ในภาคผนวก ก

2.5 การผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค

การผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค หมายถึง น้ำที่ผลิตหรือจัดทำขึ้นมาเพื่อใช้จะต้องปลอดภัยจากตัวการที่จะทำให้เกิดโรคภัย ได้แก่ เชื้อโรค จุลินทรีย์ และสารเคมีที่เป็นพิษและอันตราย ซึ่งบางครั้งมักจะเรียกอาการที่เกิดจากน้ำเป็นตัวนำว่า “โรคจากน้ำเป็นสื่อ” นั่นก็คือโรคที่เกิดโดยการนำของน้ำซึ่งมีสิ่งต่าง ๆ เชื้อปนอยู่ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นอาจจะเป็นจุลินทรีย์และสารเคมีที่เป็นพิษและอันตรายแฝงเข้าไปในร่างกาย โดยถ้าเกิดกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้จะทำให้ภูมิคุ้มกันภายในร่างกายไม่สามารถต่อต้านและกำจัดสิ่งแปลกปลอมได้ทัน ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ขึ้นในร่างกาย เช่น นีวไนโต ท้องร่วง อหิวาตกโรค ไตล้มเหลว โรคนี้ในกระเพาะปัสสาวะ และตับอักเสบ เป็นต้น ดังนั้นหากจะหลีกเลี่ยงต่อการรับเชื้อโรคที่มีอยู่ในน้ำ จึงควรมีการทำให้น้ำคงความบริสุทธิ์ และปราศจากเชื้อโรคสิ่งแปลกปลอม

2.5.1 ลักษณะของน้ำ

น้ำแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.5.1.1 น้ำบริสุทธิ์ คือ น้ำที่ไม่มีสารอื่นปนอยู่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำ คือ H_2O เพียงอย่างเดียว

2.5.1.2 น้ำที่ไม่เป็นพิษ คือ น้ำที่มีสารที่ไม่เป็นพิษละลายอยู่บ้างเล็กน้อย เช่น น้ำฝน ลูกเห็บ และน้ำค้างที่มีคุณภาพน้ำไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนด

2.5.1.3 น้ำที่เป็นพิษ คือ น้ำที่มีสารพิษปนอยู่ เช่น สารเคมีต่าง ๆ ไวรัส เชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยมีคุณภาพน้ำเกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนด

2.5.2 การผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค

น้ำที่ใช้เพื่อการบริโภคและอุปโภคของคนเรานั้นต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากเชื้อโรค และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ซึ่งสามารถผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภคได้หลายวิธี ดังนี้

2.5.2.1 การต้ม เป็นการผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค และเป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำอย่างง่ายที่สุดที่รู้จักกันแพร่หลายตั้งแต่อดีต โดยมีกรรมวิธีคือ ต้มน้ำให้เดือดนานประมาณ 15-30 นาที ความร้อนของน้ำขณะที่เดือดจะมีอุณหภูมิประมาณ 90-100 °C เป็นความร้อนที่พอจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่คุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี อาจเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เช่น อาจลดปริมาณความขุ่น กลิ่น และสามารถลดความกระด้างของน้ำได้ด้วย ซึ่งวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายน้อย เหมาะสำหรับการใช้ในครัวเรือน

2.5.2.2 การกลั่น เป็นการผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค และเป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ทำให้คุณภาพน้ำดีที่สุด คือ สามารถทำให้ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำดีขึ้นทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และจุลินทรีย์ปนเปื้อน แต่กรรมวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายมาก ส่วนใหญ่วิธีนี้จะทำในวงจำกัด เช่น ในวงการวิทยาศาสตร์และวงการแพทย์ เป็นต้น เนื่องจากในสองวงการดังกล่าวนี้ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพดีสูง เช่น การใช้น้ำในการผลิตยารักษาโรค การใช้น้ำกลั่นในการทดลองและการวิจัย เป็นต้น

2.5.1.3 การกรอง เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำให้สะอาด ที่สามารถลดจำนวนเชื้อโรคลงได้ 95-99 % นิยมใช้กันทั่วไปในกิจการประปา การกรองสามารถทำได้โดยผ่านเครื่องกรองสองแบบ ซึ่งสามารถเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสองแบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการและคุณภาพของน้ำที่นำมากรอง คือ

1) เครื่องกรองช้า เป็นเครื่องกรองที่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำดิบได้ถึง 98-99% เป็นการกรองโดยให้น้ำไหลผ่านทรายอย่างช้า ๆ ในอัตราไม่เกิน 50 แกลลอนต่อเนื้อที่ผิวทราย 1 ตารางฟุต ในเวลา 1 วัน การกรองในวิธีนี้ต้องบรรจุทราย กรวดและหินลงในถังกรองตามลำดับ ทรายที่ใช้ต้องเป็นทรายละเอียด ชั้นทรายมีความหนาประมาณ 2-5 ฟุต แต่จะต้องไม่ต่ำกว่า 20 นิ้ว เม็ดทรายควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.25-0.35 มิลลิเมตร ชั้นกรวดและชั้นหินหนาประมาณ 18 นิ้ว น้ำที่กรองมีความขุ่นไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน ถ้าความขุ่นเกินกว่านี้ ควรใช้สารเคมีทำให้ความขุ่นลดลงเสียก่อน มิฉะนั้นถังกรอง จะอุดตันเร็วกว่าปกติ การทำความสะอาดถังกรองทำได้โดยชักเอาทรายที่อยู่ผิวหน้าของถังกรองออกไปล้างเสียก่อน แล้วจึงนำกลับมาใส่ที่เดิม หรือจะใช้การชักเอาทรายผิวหน้าออกทิ้ง แล้วเอาทรายใหม่มาใส่แทนก็ได้ การทำความสะอาดถังกรองควรทำประมาณ 7 วันต่อครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำที่นำมากรอง

2) เครื่องกรองน้ำเร็ว เป็นเครื่องกรองที่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำดิบได้ 80-90% เครื่องกรองน้ำแบบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่องกรองช้า แต่มีอัตราการกรองสูงกว่าคือ กรองได้ในอัตรา 3 แกลลอนต่อพื้นที่ผิวทราย 1 ตารางฟุต ในเวลา 1 นาที เครื่องกรองเร็วมีวิธีการที่ยุ้งยากกว่าเครื่องกรองช้า การทำความสะอาดถึงกรองทำโดยใช้น้ำที่สะอาดปล่อยเข้ากันถึงกรอง โดยอาศัยความดันอากาศเข้าช่วย เพื่อขจัดตะกอนออกให้หมด ซึ่งวิธีนี้ทำได้ง่ายและรวดเร็ว

2.5.1.4 การใช้สารเคมี โดยสารเคมีหลายชนิดที่สามารถทำลายเชื้อโรคหรือเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ด่างทับทิม ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วจะเป็นสีชมพูหรือชมพูอมม่วง ด่างทับทิมสามารถทำลายเชื้อโรคได้เพียงบางชนิดเท่านั้นและต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมง ส่วนเชื้อโรคจำพวกแบคทีเรียที่มีสปอร์ ด่างทับทิมไม่สามารถทำลายได้ สารเคมีอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้คือ คลอรีน ซึ่งนิยมใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำมี 2 ชนิด คือ ชนิดผง และชนิดแก๊ส การใช้คลอรีนจะต้องผ่านกรรมวิธีดังนี้คือ นำน้ำที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพมาแ่งสารส้ม แล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จากนั้นนำน้ำที่ใสส่วนบนมาทำการฆ่าเชื้อโรคด้วยผงคลอรีนด้วยสัดส่วนของคลอรีนต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำไปใช้งานแต่ละชนิด แต่อย่างไรก็ตามคลอรีนอาจจะทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ด้วย จึงจำเป็นต้องเติมคลอรีนให้มีปริมาณที่พอเพียงและมักมีคลอรีนตกค้างอยู่ด้วยในรูปของคลอรีนอิสระ การใช้คลอรีนในทางสาธารณสุขมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ใช้ในการประปา การล้างบ่อ เป็นต้น

2.5.1.5 การกักเก็บหรือทำให้ตกตะกอน เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยอาศัยสภาวะที่สงบนิ่งของน้ำหรือแหล่งเก็บกักน้ำ พวกตะกอนจะค่อย ๆ ตกจมลงสู่ก้นของแหล่งเก็บกักน้ำซึ่งจะช่วยให้ความขุ่นลดลงแล้วจุลินทรีย์ที่มีเหลืออยู่ในน้ำก็จะค่อย ๆ ลดปริมาณลงด้วย

2.5.1.6 การทำให้ตะกอนรวมตัวกันตกตะกอน เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยเครื่องมือและสารเคมีช่วยทำให้น้ำตกตะกอนรวมตัวกันก่อน เช่น ให้ความร้อนแก่น้ำ การปรับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ การเติมสารเคมีแล้วจึงทำให้เกิดการตกตะกอนโดยบังคับกับตะกอนให้จับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนให้มีขนาดโต ๆ ด้วยเครื่องมือกล วิธีการนี้นิยมใช้กับกิจการประปาขนาดใหญ่ ๆ ทั่วไป เพราะมีประสิทธิภาพดี แต่ใช้ทุนสูง

2.5.3 ระบบการผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค

ในปัจจุบันน้ำที่ได้รับความนิยมเพื่อนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคมากที่สุด คือ น้ำประปา รองลงมา คือ น้ำที่ผ่านเครื่องกรอง น้ำดื่มบรรจุขวด ซึ่งน้ำแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งผลิต และกรรมวิธีการผลิต ซึ่งระบบหรือกระบวนการและขั้นตอนการผลิตน้ำสะอาด แบ่งออกเป็น

2.5.3.1 ระบบการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภค (การผลิตน้ำประปา)

น้ำที่นิยมนำมาใช้สำหรับการอุปโภค คือ น้ำประปา ซึ่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา แบ่งออกเป็น น้ำผิวดินจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำคลองต่าง ๆ และน้ำใต้ดินที่มาจากการไหลซึมของน้ำจากผิวดินผ่านชั้นหินใต้ดินต่าง ๆ เกิดเป็นน้ำบาดาล น้ำผิวดินมักมีการ

ปนเปื้อนของจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ และอนุภาคต่าง ๆ ส่วนน้ำใต้ดินจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ไอออนของแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำผ่านชั้นหิน และชะล้างแร่ธาตุต่าง ๆ ให้ละลายมากับน้ำด้วย ปริมาณการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ รวมถึงฤดูกาลต่าง ๆ การปรับปรุงหรือการบำบัดน้ำเพื่อผลิตเป็นน้ำประปาเริ่มจากขั้นตอนการตกตะกอนสารปนเปื้อนที่มากับน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบจะได้รับการเติมสารเคมี เช่น สารส้ม คาร์บอน และทำการกวนน้ำให้ตะกอนเล็ก ๆ จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น หรือเรียกว่า “ฟล็อก (flog)” แล้วตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน น้ำที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะเข้าสู่ถังกรอง ซึ่งมีชั้นกรองทรายและถ่านดักเศษตะกอนเล็ก ๆ และ flog ออกไป น้ำที่ผ่านออกจากถังกรองจะได้รับการเติมปูนขาว คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสเฟต หรือผ่านรังสียูวี หรือโอโซน เพื่อฆ่าเชื้อโรค จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดโรค ต่อจากนั้นจะเก็บไว้ในถังพัก เพื่อรอการจ่ายน้ำออกกระจายต่อแหล่งชุมชนโดยระบบประปาต่อไป

2.5.3.2 ระบบการผลิตน้ำเพื่อการบริโภค (การผลิตน้ำดื่ม)

สำหรับระบบการผลิตน้ำเพื่อการบริโภค หรือการผลิตน้ำดื่ม ในปัจจุบันที่มีอยู่ในประเทศไทย แบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 เป็นขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มแบบขุดนียม เริ่มตั้งแต่การสูบน้ำดิบ (น้ำประปา/น้ำบาดาล/น้ำบ่อ) กรองด้วยคาร์บอนหรือถ่านนั่นเอง เพื่อกรองสีและกลิ่น จากนั้นกรองต่อด้วยเรซิน เพื่อกรองแคลเซียมกับแมกนีเซียมออกไป แล้วจึงกรองหยาบด้วยฟิเตอร์ชนิดเชือกเพื่อกรองเศษผง ตะกอนขนาด 10 ไมครอนขึ้นไป ต่อจากนั้นนำไปกรองละเอียดด้วยเซรามิกที่สามารถกรองจุลินทรีย์ขนาด 0.3-1.0 ไมครอน อย่างสาหร่ายและตะไคร่น้ำได้ แล้วตามด้วยการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงยูวี หรือระบบโอโซน โดยระบบนี้เป็นขั้นตอนการกรองน้ำดื่มที่ได้มาตรฐานทั่วไป สะอาด เหมาะแก่การบริโภค

แบบที่ 2 เป็นการกรองที่เรียกว่า “รีเวอร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis, RO)” หรือแบบอาร์โอ (RO) ซึ่งเป็นการกรองโดยใช้แรงดันสูงผลักดันน้ำให้ผ่านเยื่อบาง ๆ ที่เรียกว่า เมมเบรน (membrane) โดยเยื่อนี้จะสามารถกรองน้ำสะอาดได้มากกว่า เพราะกรองได้ละเอียดถึงขนาดกรองโมเลกุล ซึ่งยังสามารถกรองอะตอมของน้ำ รวมทั้งเชื้อโรคจุลินทรีย์จะไม่มีทางหลุดผ่านเยื่อกรองนี้ได้ ระบบ RO จะทำให้น้ำที่ผ่านการกรองสะอาดมาก แต่ระบบนี้ก็มิมีข้อเสีย คือ รสชาติของน้ำไม่อร่อย ไม่เหมือนการกรองแบบธรรมดา เพราะว่าแร่ธาตุหรือสารอาหารที่อยู่ในน้ำจะถูกตัวกรอง ดักจับไว้ ทำให้น้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบนี้สูญเสียแร่ธาตุไป ซึ่งถ้าดื่มน้ำชนิดนี้เข้าไปมาก ๆ จะทำให้ร่างกายขาดสารอาหาร ขาดแร่ธาตุสำคัญ จะทำให้ร่างกายอ่อนแอ เจ็บปวดเป็นโรคต่าง ๆ ได้ง่าย โดยทั่วไปจะพบระบบการกรองแบบนี้ใช้กันในตู้ น้ำดื่มหยดหรือยูนิตนั่นเอง

แบบที่ 3 เป็นการกรองอีกระบบหนึ่งที่กรองได้ดีกว่าระบบ RO การกรองแบบนี้เรียกว่า ดีไอออนไนซ์ วอเตอร์ (Deionized water) ซึ่งน้ำสะอาดที่ได้มักจะถูกเรียกว่า น้ำปราศจากไอออน หรือน้ำดีไอ (DI water) เนื่องจากระบบการผลิตน้ำแบบนี้ไม่เพียงแต่จะกรองสิ่งสกปรก แร่ธาตุ

สารอาหารที่อยู่ในน้ำเท่านั้น ประจุไฟฟ้าที่อยู่ในน้ำยังถูกกรองออกไปด้วย ในน้ำจะมีแต่น้ำเพียงอย่างเดียว ไม่มีอะไรเจือปนเลย น้ำสะอาดบริสุทธิ์ที่ได้จากการกรองแบบนี้ ทำขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ผสมยา ใช้ในห้องทดลอง รวมทั้งใช้เติมแบตเตอรี่รถยนต์ น้ำดีโอนี้เป็นน้ำสะอาดที่ไม่ควรนำมาดื่ม ส่วนน้ำที่ได้จากการกรองแบบทั่วไปและการกรองแบบ RO สามารถนำมาใช้ดื่มกินได้

2.5.4 ประเภทของวัสดุที่ใช้ในระบบการกรองน้ำ

ในปัจจุบันสารที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุกรองน้ำเพื่อการบริโภคนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ สารกรองเรซิน (resin filter) และสารกรองแอคทีเวเตดคาร์บอน (activated carbon filter) ดังนี้

2.5.4.1 สารกรองเรซิน

การกรองน้ำด้วยวิธีนี้ จะใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินกับธาตุ หรือสารประกอบที่อยู่ในน้ำ เรียกว่า สารเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน (resinous ion exchanger) โดยมีหน้าที่หลัก คือ กำจัดไอออนต่าง ๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} และ Cl^- เป็นต้น และเรซินอาจใช้กำจัดโลหะหนักออกจากรน้ำด้วย เช่น As, Cd, Cr, Pb และ Zn เป็นต้น เรซินที่ใช้โดยทั่วไปมักมีลักษณะกลม และขนาดใกล้เคียงกับทรายกรอง แต่ไม่แข็งและไม่หนัก โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ต้องมีไอออนอิสระที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนในน้ำ ต้องไม่ละลายน้ำ และต้องมีช่องว่างภายในโครงสร้างอย่างเพียงพอ เพื่อให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านและออกได้อย่างสะดวก ประโยชน์ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถกำจัดสารละลายต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของไอออน ใช้ในการทำน้ำสะอาด เพื่อกำจัดสารมลทินเฉพาะอย่างในน้ำ เช่น กำจัดความกระด้าง กำจัดความเป็นด่างไปคาร์บอเนต และกำจัดเกลือแร่ทุกชนิดเพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น โดยประเภทของสารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ตามความเป็นกรดหรือด่าง ได้แก่

1) เรซินแบบกรดแก่ (strong acidic cationic resin) เรซินแบบนี้จะมีหมู่ซัลโฟนิค หรือ $-\text{SO}_3^-$ เป็นหมู่ไอออน ซึ่งจัดติดอยู่กับโครงสร้างไฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิคนี้อาจอยู่ในรูปของ H^+ เช่น $-\text{SO}_3^- \text{H}^+$ หรืออยู่ในรูปของ Na^+ เช่น $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ ก็ได้ โดย $-\text{SO}_3^-$ จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยน มีแต่ H^+ และ Na^+ เท่านั้นที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ เรซินแบบกรดแก่นี้จะนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือชุมชนขนาดเล็กเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ และยังสามารถกำจัดความเป็นด่างไปคาร์บอเนต โดยมีข้อดีหลายข้อได้แก่ ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว สามารถแยก Na^+ จากเกลือแกลได้ การรื้อของไอออนบวกที่ต้องการกำจัดเกิดขึ้นน้อย มีความคงทนในการใช้งาน และเหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ มีประสิทธิภาพในการทำให้อกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (regeneration) ต่ำประมาณ 25-45% ทำให้ต้องเปลี่ยนสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชัน

2) เรซินแบบกรดอ่อน (weak acidic cationic resin) เรซินแบบนี้มักนำมาใช้ในการกำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ซึ่งจะให้ H^+ เพื่อแลกเปลี่ยนกับไอออนลบของไบคาร์บอเนต ทำให้เกิดการคาร์บอนิกซึ่งจะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ง่าย เรซินแบบกรดอ่อนนี้จะมีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-COOH$ หรือ $-COONa$) เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมากเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด แต่มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% โดยมีกรดแก่หรือกรดอ่อน หรือเกลือแองเป็นตัวรีเจนเนอเรนต์ (regenerant) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ประมาณ 2 เท่า และทนต่อสารออกซิแดนท์ (เช่น คลอรีน) ได้ดีกว่าด้วย มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วนี้ได้มาก ถ้าเปลี่ยนเรซินที่มี Na^+ ให้เป็น H^+ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น และสามารถกำจัดความเป็นด่าง (alkalinity) ออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องมีการเติมกรดเลย ส่วนปฏิกิริยารีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดอ่อนเป็นเช่นเดียวกับของเรซินแบบกรดแก่

3) เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin) เรซินแบบด่างแก่มักใช้ในการกำจัดไอออนลบในน้ำ เช่น HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ออกไป โดยหมู่ไอออนของเรซินแบบด่างแก่มักเป็น ควอเตอร์นารีเอมีน (quaternary amine) สามารถใช้ได้ทั้งที่พีเอชทุกระดับ และมีความสามารถในการแยกเกลือ (salt splitting) ด้วย ซึ่งนับว่าเรซินแบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าเรซินแบบด่างอ่อน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันโดยใช้สารรีเจนเนอเรนต์เป็น $NaCl$ หรือ HCl หรือ $NaOH$ ต่ำเพียงแค่ 18-33% ทำให้ต้องเปลืองสารรีเจนเนอเรนต์มาก นอกจากนี้เรซินแบบด่างแก่มีความคงทนต่ำทำให้มีอายุการใช้งานสั้น กรดฮิวมิกที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชสามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำการรีเจนเนอเรชันได้ บางครั้งถ้าใช้งานหนักเรซินอาจใช้งานได้ไม่เกิน 3 ปี นอกจากการแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้ว เรซินแบบนี้ยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนซิลิกาและ CO_2 อีกด้วย เรซินแบบด่างแก่นำมาใช้ในการกำจัดความเป็นไบคาร์บอเนต แต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะมีความสิ้นเปลืองเนื่องจากการกำจัดไอออนลบของ SO_4^{2-} และ Cl^- ออกจากน้ำด้วย

4) เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin) เรซินแบบนี้ไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน แต่จะกำจัดเฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 ออกจากน้ำ และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2 , SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน ดังนั้น เรซินชนิดนี้จึงไม่ต้องมีไอออนอิสระก็ได้ สารรีเจนเนอเรนต์อาจเป็น $NaOH$ หรือ Na_2CO_3 หรือ NH_4OH โดยปกติ เรซินแบบด่างอ่อนมักใช้ในการกำจัด Cl^- และ SO_4^{2-} ข้อดีมีหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบ 100% ทำให้เปลืองสารเคมีน้อย และยังสามารถกำจัดไอออนได้สูง แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่ำ ทนต่อกรดฮิวมิกได้

2.5.4.2 สารกรองแอคติเวตเต็ดคาร์บอน

การกรองน้ำโดยใช้สารกรองแอคติเวตเต็ดคาร์บอน (activated carbon) จะใช้หลักการดูดซับที่ผิว หรือการดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้าย (mass transfer) จากของเหลว หรือแก๊สมายังผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็ง

ที่มีพื้นผิวเป็นที่เกาะติดของสารที่ถูกดูดซับจะเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารอาจเกิดขึ้นด้วยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) หรือแรงเคมี หรือทั้งสองอย่างรวมกัน แต่โดยทั่วไปแล้วจะเกิดการเกาะติดกันด้วยแรงทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ การดูดซับที่ผิวหรือการดูดซับนี้จะสามารถกำจัดสารมลทินที่มีขนาดเล็กจนถึงชั้น โมเลกุลซึ่งไม่อาจกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอน หรือการกรองแบบธรรมดา ประเภทของสารแอกติเวตเต็ดคาร์บอนแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก แอคติเวตเต็ดซิลิกา ฯลฯ ข้อเสียของสารประเภทนี้ คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับผิวประเภทสารอนินทรีย์มีจำกัดมาก

2) แอคติเวตเต็ดคาร์บอน เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ $750^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาวะความชื้นที่เหมาะสม วัสดุดิบที่ใช้สังเคราะห์แอคติเวตเต็ดคาร์บอนมีหลายชนิด เช่น กระดูกสัตว์ ถ่านหินบางชนิด กะลามะพร้าว เมล็ดในของผลไม้บางชนิด ซึ่งปัจจุบันนี้พบว่าสามารถทำให้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนหนัก 1 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับของแอคติเวตเต็ดคาร์บอน แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อได้เปรียบกว่า คือ สามารถรีเจนเนอเรตได้ง่ายกว่ามาก และสารรีเจนเนอเรนต์มักเป็นสารราคาถูก เช่น กรดเกลือ เป็นต้น

2.5.5 การใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนสำหรับการกรองน้ำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการนำสารกรองแอคติเวตเต็ดคาร์บอนมาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตน้ำสะอาด ซึ่งชนิดของสารกรองที่นิยมนำมาใช้ในการเป็นสารกรองน้ำ และประโยชน์จากการใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนเป็นสารกรองน้ำมีดังนี้

2.5.5.1 ชนิดของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนในระบบการกรองน้ำ

สารแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้ในระบบการกรองน้ำส่วนใหญ่มี 2 ชนิด ดังนี้

1) คาร์บอนแบบผง (powder activated carbon, PAC) มีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอน หรือน้อยกว่า การเติมคาร์บอนผงอาจกระทำพร้อมกับการเติมสารโคแอกกูแลนก็ได้ คาร์บอนที่ใช้แล้วจะรวมอยู่กับตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้ โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ดังนั้นคาร์บอนแบบผงนี้จึงนิยมเติมก่อนกระบวนการตกตะกอนหรือกระบวนการกรองน้ำ ข้อเสียของการใช้คาร์บอนแบบผงคือ การทำรีเจนเนอเรชัน (regeneration) ซึ่งเป็นการฟื้นฟูอำนาจให้กับคาร์บอนผงที่เสื่อมสภาพแล้ว มักไม่ประหยัดและไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้คาร์บอน

แบบผงนี้จึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้งเลย นอกจากนี้ยังต้องใช้ในปริมาณที่มากเพื่อให้กำจัดสารมลทินให้เหลือน้อย แต่ข้อดีของคาร์บอนแบบผงก็มีอยู่หลายข้อ เช่น มีราคาถูกกว่าคาร์บอนแบบเกร็ดประมาณ 2-3 เท่า การเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอนสามารถกระทำได้ทันทีและสะดวก ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของคุณภาพน้ำดิบ ไม่ต้องมีการลงทุนเบื้องต้นเป็นจำนวนมากเนื่องจากใช้เหมือนกันสารเคมีประเภทอื่น ๆ และการดูดซับที่ผิวเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เป็นต้น

2) คาร์บอนแบบเกร็ด (granular activated carbon, GAC) มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย คาร์บอนเกร็ดสามารถบรรจุถังและให้น้ำไหลผ่านในลักษณะที่คล้ายกับการกรองน้ำโดยปกติ คาร์บอนแบบเกร็ดที่ใช้และเสื่อมสภาพแล้ว สามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชันและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำรีเจนเนอเรชันทุกครั้งต้องมีคาร์บอนสูญเสียไปประมาณ 5% เนื่องจากการทำรีเจนเนอเรชันต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้คาร์บอนบางส่วนปนกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

2.5.5.2 ประโยชน์ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนในระบบการกรองน้ำ

1) กำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟัลวิก (fulvic acid)

2) กำจัดคลอรีนในน้ำ บางครั้งจำเป็นต้องเติมคลอรีนจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลอย่างเพียงพอในการฆ่าเชื้อโรค จึงทำให้มีคลอรีนตกค้างในน้ำมากเกินไป กรณีเช่นนี้แก้ไขได้โดยการบรรจุแอคติเวตเต็ดคาร์บอนแบบเกร็ดไว้ในถังและปล่อยให้น้ำไหลผ่านชั้นคาร์บอน

3) กำจัดโลหะหนักต่าง ๆ ถึงคาร์บอนแบบเกร็ดสามารถกำจัดปรอทและเงินได้หมด และสามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่น ๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง จะเหลือถึงระดับที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม

4) กำจัดยาฆ่าแมลง (pesticide) โดยปกติกรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาซึ่งได้แก่ โคเอกูเลชัน การตกตะกอน และการกรอง มักไม่สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ยกเว้นดีดีที ซึ่งอาจกำจัดได้เพียงบางส่วน แอคติเวตเต็ดคาร์บอนทั้งสองแบบ สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ ได้อย่างดี

5) กำจัดผงซักฟอก กรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาและคลอรีนกำจัดผงซักฟอกออกจากน้ำได้น้อยมาก แต่ถ้าต้องการกำจัดผงซักฟอกให้ได้ถึงร้อยละ 90 หรือมากกว่า จะต้องใช้ผงคาร์บอนหรือคาร์บอนแบบเกร็ดในปริมาณที่มาก

6) กำจัดสารฟีนอลและสารประกอบฟีนอล โดยทั่วไปคาร์บอนจับกับฟีนอลต่าง ๆ ได้ดีแม้กระทั่งคาร์บอนที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์จนเสื่อมสภาพแล้ว ก็ยังจับกับสารฟีนอลได้ ถ้าต้องการกำจัดฟีนอลให้หมด ต้องใช้คาร์บอนแบบเกร็ด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เบญจพร ศรีสุวรรณ และคณะ (2552) ได้ศึกษาการติดเชื้อราของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองโดยนำเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ มาเพาะเชื้อ พบว่ามะขามหวานพันธุ์ประกายทองติดเชื้อราตั้งแต่ระยะเป็นดอก และจากการสำรวจและแยกเชื้อราโดยเทคนิค BAM 2001 พบเชื้อราหลายชนิด ชนิดที่พบมาก 3 อันดับแรกคือ ราสีขาวย (*Phomopsis* sp.) ราสีเขียว (*Aspergillus* sp.) ราสีส้ม (ยังไม่ทราบชื่อวิทยาศาสตร์) ได้นำราทั้ง 3 ชนิดไปทำการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตโดยวิธีวงกระดาศกรอง พบว่า น้ำส้มควันไม้ให้ผลดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 60-90% โดยก่อให้เกิดบริเวณใสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.3 มม. และ 9.0 มม. บนราสีขาวย, ราสีเขียว และราสีส้มตามลำดับ สารสกัดสมุนไพรหมักเข้มข้น 80% เกิดบริเวณใสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 มม บนราสีเขียว และ 4.7 มม. บนราสีส้ม ไม่มีผลต่อราสีขาวย สำหรับเชื้อไตรโคเดอร์มา มีผลต่อเชื้อราสีขาวยเพียงชนิดเดียว โดยเกิดบริเวณใสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 มม. จากข้อมูลที่ได้สารทดสอบที่แนะนำให้นำไปประยุกต์ใช้จริงในสวนมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง คือน้ำส้มควันไม้ ความเข้มข้น 60% ร่วมกับการฉีดพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มาบนพื้นดินได้ต้นมะขาม

ปิยะพร บารมี (2542) ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้ง โดยการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ซึ่งมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนคือการคาร์บอนไนซ์เซชันและการกระตุ้น จากผลการทดลองได้สภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์เซชันย่าง คือ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $400^{\circ}C$ เป็นเวลา 30 นาที และขั้นตอนการกระตุ้นโดยการนำยางที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์เซชันแล้ว มาแช่ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้น ร้อยละ 70 พร้อมทั้งเขย่าเป็นเวลา 3 วัน นำไปอบแห้งและเผาที่อุณหภูมิ $500^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิววูพรุน 237.17 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าการดูดซับไอโอดีน 351.52 มิลลิกรัมต่อกรัม

พรพรกร ใจประดับเพชร (2549) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับฟิวแคดเมียม และสังกะสี โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) ในขั้นตอนการเตรียมถ่าน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาคาร์บอนไนซ์คือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ให้มีร้อยละผลผลิตสูงสุดของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขามเท่ากับร้อยละ 49.48 $\pm$ 5.88 และร้อยละ 50.57 $\pm$ 3.15 ตามลำดับ แช่สารกระตุ้นเกลือแกงตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อการกระตุ้นเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:2 และเผากระตุ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที .โดยถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดคือ ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขามจะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 651 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 609 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว และเมล็ดมะขาม มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 366.68 ตารางเมตรต่อกรัม และ 137.05 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.17 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 0.27 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 14.42 อังสตรอม และ 19.05 อังสตรอม ตามลำดับ การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับฟิวแบบฟรุนดลิช พบว่าค่าคงที่ความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับฟิวแคดเมียม (K) ของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขามเท่ากับ 6.4912 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 4.2854 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่า $1/n$ เท่ากับ 0.723 และ 0.4508 ตามลำดับ

และค่า K ของการดูดซับผิวสัมผัสของถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเมล็ดมะขามเท่ากับ 7.6839 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 5.3654 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่า $1/n$ เท่ากับ .05451 และ 0.4045 ตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับผิวแบบแท่ง เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว บรรจุลงในคอลัมน์สูง 90 เซนติเมตร แล้วบรรจุทรายลงในคอลัมน์ 30 เซนติเมตร ที่ระดับความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60 และ 90 เซนติเมตรถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว 1 กรัม สามารถกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เท่ากับ 1.784, 1.388 และ 1.058 มิลลิกรัมตามลำดับ คิดเป็น 72.23, 56.18 และ 42.79 BV ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ระดับความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ 30, 60 และ 90 เซนติเมตร โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว 1 กรัม สามารถกำจัดสังกะสีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เท่ากับ 1.785, 1.586 และ 1.265 มิลลิกรัม ตามลำดับ คิดเป็น 72.23, 64.21 และ 50.82 BV ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และได้นำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวไปผ่านการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) โดยการใช้สารละลายกรดไฮดรอกลอรিক (HCl) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนัมเบอร์ ซึ่งมีค่าไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 288 มิลลิกรัมต่อกรัม

พลัญฐ์ โสภณกิจโกศล (2544) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (Cr) ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่านและการเผากระตุ้นและวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าการดูดซับไอโอดีน พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะและหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ในสภาวะอัดอากาศและการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ 1,050 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ เท่ากับ 975 ตารางเมตรต่อกรัม และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก จากการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโครเมียม (Cr) พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโครเมียม (Cr) ได้ดีที่สุดเมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าความเป็นกรดและด่างเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 ถ่านกัมมันต์ซึ่งทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง สามารถดูดซับโครเมียม (Cr) ได้เท่ากับร้อยละ 69.80 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/40 สามารถดูดซับโครเมียม (Cr) ได้เพียงร้อยละ 56.96 เท่านั้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันจากโครเมียม (Cr) เป็นโครเมียม (Cr) ในระหว่างกระบวนการดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์

นภารัตน์ จิวาลักษณ์ (2545) ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์สมบัติถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดของสารกระตุ้น ความเข้มข้นของสารกระตุ้น อัตราการเพิ่มความร้อน ขนาดอนุภาค ชนิดของถ่านหินและปริมาณถ่านในถ่านหิน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบและวัดสมบัติต่าง ๆ เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรและขนาดรูพรุน ความสามารถในการดูดซับ เป็นต้น สำหรับสภาวะของการเตรียม

ถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ พบว่า อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ขนาดอนุภาคเล็กและปริมาณเถ้าที่น้อย ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าพื้นที่ผิวสูงขึ้น ส่วนการทดลองที่ใช้สารกระตุ้นต่างชนิดกัน (CO_2) และ (H_2O) และการใช้ถ่านหินต่างชนิดกัน (แม่เมาะและลานนา) นั้นพบว่า มีผลทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีสมบัติไม่ต่างกันมากนัก โดยถ่านกัมมันต์ที่ให้พื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด 460 ตารางเมตรต่อกรัม ได้จากการใช้ถ่านหินขนาด 40×50 mesh อุณหภูมิ 90°C และเวลา 60 นาที ส่วนในการทดลองเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีพบว่า อุณหภูมิ เวลาและอัตราส่วนความเข้มข้นของสารกระตุ้น (KOH : ถ่านหิน) มีอิทธิพลมาก โดยสถานะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากที่สุด 2236 ตารางเมตรต่อกรัมอยู่ที่ 900°C เวลา 60 นาที และอัตราส่วนความเข้มข้น 1.0:1.0 เส้นไอโซเทอมของการดูดซับสำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านหินทั้ง 2 วิธี เป็นแบบชนิดที่ 1 (Type I) การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีมีการกระจายขนาดรูพรุนเกิดขึ้นมาก ซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดเล็ก ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีสามารถในการดูดซับฟีนอลได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าและที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ การดูดซับฟีนอลเกิดขึ้นได้ดีเมื่อค่า pH ของสารละลายอยู่ระหว่าง 2-7 โดยการดูดซับเป็นแบบคายความร้อน ซึ่งสมมูลการดูดซับอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir BET และ Freundlich

นิตยา ชาอุ่น (2549) ได้ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นและประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ด้วยการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน โดยใช้เทคนิค SEM, ASTM D 4607-94 และการทดลองแบบแบทช์ ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิดมีรูพรุนและค่า iodine number สูงกว่าถ่านที่เตรียมได้ สำหรับผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟ ได้แก่ Reactive Yellow 145 Reactive Red 195 และ Reactive Blue 222 พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนได้ดีที่ pH 2 เวลาเริ่มต้นเข้าสู่สถานะสมดุลของถ่านกัมมันต์มาตรฐานเท่ากับ 30 นาที ซึ่งเร็วกว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิด ที่เริ่มเข้าสู่สถานะสมดุลที่ช่วงเวลาประมาณ 1-3 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมพบว่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมีค่าลดลง ยกเว้นถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ที่สามารถดูดซับได้ดีทุกความเข้มข้น การดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ (20°C , 30°C , 40°C และ 50°C) พบว่าสามารถดูดซับสีได้แตกต่างกันตามโทนสี และชนิดของตัวดูดซับ เมื่อนำมาศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ พบว่ามีความสอดคล้องทั้ง Langmuir model และ Freundlich model แสดงให้เห็นว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว และแบบต่อเนื่องตามลำดับ ถ่านกัมมันต์มาตรฐานมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์จากไมยราบยักษ์ เมล็ดมะขาม เปลือกมังคุด และถ่านขากไมยราบยักษ์ เมล็ดมะขาม และเปลือกมังคุดตามลำดับ และพบว่า ΔG° มีค่าเป็นลบทั้งหมด แสดงว่าการดูดซับสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ

ณรงค์ศักดิ์ อินถานนท์ และคณะ (2549) ได้ศึกษาสมบัติและสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการนำกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ $600-700^\circ\text{C}$ จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาณ

และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีของสารละลาย 3 ชนิดคือ ไอโอดีน เมธิลีนบลู และเมธิลออเรนจ์ โดยการนำถ่านแฉะในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ในเวลาที่ต่างกัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเปรียบเทียบการดูดซับสีกับถ่านธรรมชาติจากการผลิตและวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์พบว่า มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.76 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.56 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรร้อยละ 0.6533 และการดูดซับสีพบว่าถ่านกัมมันต์จะดูดซับสีได้ดีในชนิดผง และจะดูดซับสีไอโอดีนดีที่สุด รองลงมาคือเมธิลีนบลู และเมธิลออเรนจ์ ตามลำดับ

วีร จ่าลองราษฎร์ (2539) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และฟีนอลด้วยระบบเอสปีอาร์-ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบซึ่งมีสารอินทรีย์ในรูป COD เท่ากับ 3,380 มก./ล. และมีความเข้มข้นของฟีนอลเท่ากับ 1,000 มก./ล. โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ การศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม และระยะเวลาถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการทำงานของระบบ จากการศึกษพบว่า ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ได้จากระบบเอสปีอาร์มีค่าสูงกว่าที่หาได้จากวิธีมาตรฐาน ซึ่งตามวิธีมาตรฐานความสามารถในการดูดซับฟีนอลเท่ากับ 213.26 mg/gGAC และ COD เท่ากับ 685.61 mg/gGAC ส่วนในระบบเอสปีอาร์ความสามารถในการดูดซับฟีนอลเท่ากับ 240 mg/gGAC และ COD เท่ากับ 761 mg/gGAC และจากการศึกษาการดูดซับในระบบเอสปีอาร์ยังพบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงสุดในวันแรกที่เติมลงในระบบ และจะเริ่มหมดประสิทธิภาพในการดูดซับหลังจากวันที่ 3 ของการเดินระบบ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เติมลงในระบบเอสปีอาร์ทำให้ระบบสามารถกำจัด COD และฟีนอลได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนในระบบควบคุมพบว่าทั้งค่า COD และฟีนอลจะสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการถ่านกัมมันต์พบว่า ระยะเวลาถ่านกัมมันต์มีผลเพียงเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพในการกำจัด COD และฟีนอลของระบบเดิมถ่านกัมมันต์ แต่ในระบบควบคุมพบว่าการเพิ่มระยะเวลาถ่านกัมมันต์จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัด COD และฟีนอลของระบบ โดยการเติมถ่านกัมมันต์จะช่วยลดระยะเวลาถ่านกัมมันต์และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงขึ้น

Zhang, H., Yang, Y., และ Yang, L., (2010) ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เถ้าโดยใช้ zinc chloride เป็นตัวกระตุ้น มีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ผลของพารามิเตอร์คือ อัตราส่วน อุณหภูมิ และเวลา คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์มีการวัดและวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้การศึกษาทั้งผลผลิตและการดูดซับไอโอดีนและเมธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ในอัตราส่วนของ zinc chloride/ขี้เถ้า ที่อุณหภูมิ 500 °C เวลา 60-90 นาที เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer)	UV-1700	Simadzu Japan
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	JSM-6335F	JEOL Japan
เครื่องวัดพีเอช (pH meter)	GC700	EUTECH Singapore
เตาอบ (Hot air oven)	UM500	Memmert Germany
เครื่องให้ความร้อนและหมุนเวียน (Hotplate & Stirrer)	4658	Cole-Parmer USA
เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size Analyzer by Gas sorption)	Autosorb 1 MP	Quantachrome USA
เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)	CWF13/13	Carbolite England
อ่างน้ำร้อนและเครื่องเขย่า (Water & Shaker bath)	WB22	Memmert Germany
เครื่องบดสารแบบบอลมิลล์ (Ball-mill machine)	Home made	Thaiarsaco Thailand

3.1.2 สารเคมี

ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรเคมี	MW (g/mol)	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
กรดไฮโดรคลอริก 37% (v/v) (Hydrochloric acid)	HCl	36.46	AR	Merck, Germany
กรดฟอสฟอริก (ortho-Phosphoric acid 85%)	H ₃ PO ₄	98.00	AR	Carlo Erba Italy
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)	KOH	56.11	AR	Merck, Germany
ไอโอดีน (Iodine)	I ₂	253.81	AR	Fluka Switzerland
โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate)	Na ₂ S ₂ O ₃	158.11	AR	Carlo Erba, Italy
ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride)	ZnCl ₂	136.29	AR	Sigma, USA
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	40.00	Lab	Carlo Erba, Italy
โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate)	KIO ₃	214.00	AR	Fisher, USA
ไฮดราซีนซัลเฟต (Hydrazine sulfate)	(NH ₂) ₂ H ₂ SO ₄	130	AR	Merck, Germany
โพแทสเซียมโบรเมต (Potassium bromate)	KBrO ₃	167.01	AR	Merck, Germany
ฟีนอล (Phenol)	C ₆ H ₆ O	94.11	AR	Sigma USA
กรดอะซิติก (Acetic acid)	CH ₃ COOH	60.05	AR	Fluka Switzerland
คอปเปอร์ไนเตรตไตรไฮเดรต (Copper nitrate trihydrate)	Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	241.60	AR	Fluka Switzerland

3.2 การเตรียมวัตถุดิบมะขามและสารละลาย

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบมะขาม

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นรา โดยทำการศึกษาจากฝักของมะขามหวานที่ขึ้นราจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง มะขามหวานพันธุ์ศรีชมพู มะขามหวานพันธุ์อินทผลัม และมะขามหวานพันธุ์น้ำผึ้ง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะขามเปรี้ยวเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบด้วย ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบทำโดยการคัดแยกมะขามหวานที่มีฝักค่อนข้างจะสมบูรณ์ออกมา จากนั้นนำไปผึ่งแดดให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นที่หลงเหลืออยู่ แล้วนำไปใส่ลงเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อเตรียมนำไปใช้งานต่อไป

3.2.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.2.1 สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรด ความเข้มข้น 1 g/L

ชั่ง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ มาหนัก 1.9010 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized distillation water, DI) ถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 500 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐาน Cu^{2+}

3.2.2.2 สารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 1,000 mg/L

ชั่งฟีนอลหนัก 0.50 กรัม เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ลงไปที่ละน้อยประมาณ 100 มิลลิลิตร พร้อมกับกวนให้ฟีนอลละลาย จากนั้นเทสารละลายที่ได้ลงไปลงในขวดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ จนถึงขีดบอกระดับ

3.2.2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5-20 %

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 5, 10, 15 และ 20 g จากนั้นนำไปละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรขนาด 100 ml จำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรแต่ละขวดจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5-20 %

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) ปริมาตร 13.5, 27.1, 40.5 และ 54.1 ml ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วจำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร ภายหลังการเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5, 10, 15, และ 20 % ตามลำดับ

3.2.2.5 สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.025 N

ชั่งไอโอดีนประมาณ 3.1750 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 4.7750 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็ง เติมน้ำกลั่นลงไปในบีกเกอร์ประมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปกวนให้ของแข็งละลายโดยใช้เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer) เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมด จากนั้นเทสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7 จนถึงขีดบอกปริมาตร แล้วเทสารละลายที่ได้เก็บไว้ในขวดสีชา

3.2.2.6 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.025 N

ชั่งโซเดียมโซอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) หนักประมาณ 6.205 กรัม แล้วเทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นที่เดือดประมาณ 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ละลายแล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ประมาณ 0.03 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมโซอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร จากนั้นเทสารละลายนี้ลงในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิทเก็บไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาใช้งาน

3.2.2.7 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.025 N

ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) หนักประมาณ 1 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตมา 0.8918 กรัม เทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร จากนั้นเทสารละลายนี้เก็บไว้ในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิท

3.2.2.8 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 ความเข้มข้น 0.73 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 69.32 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนได้ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.50 เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.9 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1%

ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1%

3.2.2.10 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเลดไนเตรต (lead nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานเลดไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายเลดไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานเลดไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 ppm โดยทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 10 ppm มา 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 ppm ตามลำดับ

3.2.2.11 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ฟิออส 5.0 จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 10 ppm มา 0.40, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ฟิออส 5.0 จนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.40, 0.80, 1.20, 1.60 และ 2.00 ppm ที่มีฟิออสเท่ากับ 5.0 ตามลำดับ

3.2.2.12 สารละลายมาตรฐานทองแดง

ปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรต (copper nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 6.00 ppm โดยทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 ppm มา 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 6.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับฟิออสของสารละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกริมาตร ให้มีฟิออสเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

3.2.2.13 สารละลายมาตรฐานสังกะสี

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรต (zinc nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตที่มีความเข้มข้น 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 ppm โดยทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm มา 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 ppm ตามลำดับ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขี้เ็นรา

3.3.1.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านจากมะขามขี้เ็นรา

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการคัดเลือกพันธุ์มะขามหวานจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง มะขามหวานพันธุ์สีทอง มะขามหวานพันธุ์ศรีชมพู่ และมะขามหวานพันธุ์ขันติ อีกทั้งใช้มะขามเปียกพันธุ์พื้นเมืองที่มีการปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์ มาทำการศึกษาเพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขี้เ็นรา โดยมีการจัดการวัตถุดิบฝักมะขามขี้เ็นราชั้นต้น คือ การคัดเลือกฝักที่ขึ้นราและมีสภาพฝักที่ค่อนข้างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 2-3 วัน จนฝักแห้งเพื่อไล่ความชื้น นำไปใส่ในกระสอบแล้วมัดปากกระสอบให้แน่นเก็บไว้ในที่อากาศถ่ายเทสะดวกและปราศจากความชื้น โดยก่อนการนำไปเผาเพื่อเป็นถ่านให้นำฝักมะขามขี้เ็นราดังกล่าวไปทำการแตกฝัก แดเพื่อไล่ความชื้นอีกครั้งหนึ่ง ก่อนการนำไปเผาให้เป็นถ่าน

ก. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่าน

- 1) เตรียมเตาสำหรับเผาถ่านขนาดสองร้อยลิตร กว้าง 2.40 เมตร ยาว 2.40 เมตร
- 2) นำฝักมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง ใส่ลงไปในเตาเผาจนเกือบเต็มเตา จากนั้นปิดฝาแล้วเอาทรายกลบให้มิดฝาของเตา
- 3) จุดไฟเผาเชื้อเพลิงที่หน้าเตา แล้วคอยสังเกตสีของควันเพื่อให้ทราบว่าฝักมะขามที่อยู่ข้างในได้ติดไฟแล้ว อ่านอุณหภูมิภายในเตาเผาจากเทอร์โมคัปเบิล ทำการเติมไม้เชื้อเพลิงที่หน้าเตาและเป่าลมโดยใช้เครื่องโบรเวอร์ เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาอยู่ในระหว่างอุณหภูมิ 300⁰C

4) จากนั้นปิดหน้าต่างเตาจากเดิมที่เปิดให้เหลือส่วนที่เปิดประมาณ 3 ใน 4 เพื่อให้ถ่านเกิดกระบวนการคาร์บอนเซชัน

5) ทิ้งให้กระบวนการคาร์บอนเซชันเกิดขึ้นประมาณ 3-4 ชั่วโมง (สังเกตน้ำสุมควันไม้ เมื่อนำสุมควันไม่มีสีดำและขึ้นหนึ่ด) จากนั้นให้เปิดหน้าต่างประมาณ 1 ใน 2 ของเตา เพื่อไล่สารทาร์ออกจากวัตถุดิบ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นปิดปากปล่องข้างบนให้มิดชิด และก็ปิดหน้าต่างล่าง เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไป

6) ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนเซชันให้เป็นอุณหภูมิที่ 400°C และ 500°C ตามลำดับ (โดยการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงและการเป่าลมโดยใช้เครื่องโบรเวอร์)

7) นำถ่านที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์)

ข. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่าน

1) เตรียมเตาสำหรับเผาถ่านขนาดสองร้อยลิตร กว้าง 2.40 เมตร ยาว 2.40 เมตร

2) นำฝักมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง ไล่ลงไปในเตาเผาจนเกือบเต็มเตา จากนั้นปิดฝาแล้วเอาทรายกลบให้มิดฝาของเตา

3) จุดไฟเผาเชื้อเพลิงที่หน้าเตา แล้วคอยสังเกตสีของควันเพื่อให้ทราบว่าฝักมะขามที่อยู่ข้างในได้ติดไฟแล้ว อ่านอุณหภูมิภายในเตาเผาจากเทอร์โมคัปเบิล ทำการเติมไม้เชื้อเพลิงที่หน้าเตาและเป่าลมโดยใช้เครื่องโบรเวอร์ เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาอยู่ในระหว่างอุณหภูมิ 400°C

4) จากนั้นปิดหน้าต่างเตาจากเดิมที่เปิดให้เหลือส่วนที่เปิดประมาณ 3 ใน 4 เพื่อให้ถ่านเกิดกระบวนการคาร์บอนเซชัน

5) ทิ้งให้กระบวนการคาร์บอนเซชันเกิดขึ้นประมาณ 1 ชั่วโมง (สังเกตน้ำสุมควันไม้ เมื่อนำสุมควันไม่มีสีดำและขึ้นหนึ่ด) จากนั้นให้เปิดหน้าต่างประมาณ 1 ใน 2 ของเตา เพื่อไล่สารทาร์ออกจากวัตถุดิบ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นปิดปากปล่องข้างบนให้มิดชิด และก็ปิดหน้าต่างล่าง เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไป

6) ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนเซชันให้เป็น 2 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำถ่านที่ได้จากการเผาที่เวลาต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์)

ค. การลดขนาดถ่านด้วยเครื่องบดแบบบอลมิลล์

- 1) นำถ่านฝักมะขามที่ได้ไปบดลดขนาดด้วยเครื่องบดสารแบบบอลมิลล์ โดยนำถ่านฝักมะขามใส่ลงไปในภาชนะสำหรับบดประมาณ $\frac{3}{4}$ ของภาชนะ แล้วใส่ลูกบอลเซรามิกส์ลงไป จากนั้นทำการปิดฝาภาชนะและนำไปตั้งทิ้งไว้บนเครื่องบดบอลมิลล์
- 2) เปิดเครื่องบอลมิลล์เพื่อให้ทำงานและทิ้งไว้ในเกิดการบดเพื่อลดขนาดอนุภาคนานประมาณ 30 นาที
- 3) เมื่อครบกำหนดเวลานำถ่านที่ผ่านการบดแล้วเทใส่ลงในภาชนะเพื่อเตรียมนำไปคัดขนาดต่อไป
- 4) เกล็ดถ่านที่เตรียมได้จากฝักมะขาม ไปทำการร่อนผ่านร่อนแรงตะแกรงขนาด 4 เมท, 8 เมท และ 14 เมท จากนั้นนำถ่านแบบเกล็ดที่เตรียมได้ไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

3.3.1.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะขามขึ้นรา

สำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ฝักมะขามขึ้นราของมะขามหวานแต่ละพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านและทำการบดลดขนาดแล้ว จะได้ถ่านจากมะขามขึ้นราแต่ละพันธุ์ที่มีการคละกันของแต่ละส่วนของฝักมะขามหวาน ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 4-8 เมท ซึ่งในการศึกษาเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนนี้ จะทำในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการเผากระตุ้นโดยใช้เตาเผาที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำการศึกษาถึงอุณหภูมิในการเผากระตุ้นระยะเวลาในการเผากระตุ้น และการใช้สารเคมีกระตุ้น 3 ชนิด ได้แก่ กรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ เปรียบเทียบกับการใช้เพียงน้ำกลั่นเป็นสารกระตุ้น

ก. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

1. ชั่งถ่านมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีชมพู พันธุ์ขันดี และมะขามเปรี้ยว มาอย่างละประมาณ 500 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร แต่ละใบ จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปในแต่ละบีกเกอร์จนท่วมเนื้อถ่าน แล้วแช่ทิ้งไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิห้อง
2. เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการกรองแยกเอาถ่านมะขามแต่ละชนิดโดยใช้เครื่องกรองแบบสุญญากาศ แล้วนำถ่านของมะขามแต่ละชนิดไปอบที่อุณหภูมิ 110°C นาน 3 ชั่วโมง
3. ชั่งถ่านมะขามแต่ละชนิดมาอย่างละ 300 กรัม ใส่ลงไปในตัวเซรามิกส์สำหรับเผา แล้วนำไปไว้ในเตาเผา โดยตั้งอุณหภูมิของการเผาของเตาไว้ที่ 500°C
4. ทำการ pyrolysed ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น
5. ทำการล้างถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว ด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งวัดค่าความเป็นฟิเอช (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าเท่ากับ 7 แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1-2 ครั้ง

6. นำถ่านที่ได้ไปทำการอบด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

7. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 3-6 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการ pyrolysed เป็น 600, 700, และ 800°C ตามลำดับ

8) นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์)

ข. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

1. ชั่งถ่านมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีชมพู พันธุ์ขันตี และมะขามเปรี้ยว มาอย่างละประมาณ 500 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร แต่ละใบ จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปในแต่ละบีกเกอร์จนท่วมเนื้อถ่าน แล้วแช่ทิ้งไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิห้อง

2. เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการกรองแยกเอาถ่านมะขามแต่ละชนิดโดยใช้เครื่องกรองแบบสุญญากาศ แล้วนำถ่านของมะขามแต่ละชนิดไปอบที่อุณหภูมิ 110°C นาน 3 ชั่วโมง

3. ชั่งถ่านมะขามแต่ละชนิดมาอย่างละ 300 กรัม ใส่ลงไปในถ้วยเซรามิกส์สำหรับเผา แล้วนำไปไว้ในเตาเผา โดยตั้งอุณหภูมิของการเผาของเตาไว้ที่ 600°C

4. ทำการ pyrolysed ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น

5. ทำการล้างถ่านที่ผ่านการกระตุ่นแล้ว ด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งวัดค่าความเป็นพีเอช (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าเท่ากับ 7 แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1-2 ครั้ง

6. นำถ่านที่ได้ไปทำการอบด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

7. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 3-6 แต่เปลี่ยนเวลาในการ pyrolysed เป็น 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ

8) นำถ่านที่ได้จากการเผาที่เวลาต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์)

ค. การศึกษาการใช้สารตัวกระตุ้นสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

1. ชั่งถ่านมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีชมพู พันธุ์ขันตี และมะขามเปรี้ยว มาอย่างละประมาณ 500 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร แต่ละใบ จากนั้นเติม 60 % v/v กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ลงไปในแต่ละบีกเกอร์จนท่วมเนื้อถ่าน แล้วแช่ทิ้งไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิห้อง

2. เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการกรองแยกเอาถ่านมะขามแต่ละชนิดโดยใช้เครื่องกรองแบบสุญญากาศ แล้วนำถ่านของมะขามแต่ละชนิดไปอบที่อุณหภูมิ 110°C นาน 3 ชั่วโมง

3. ชั่งถ่านมะขามแต่ละชนิดมาอย่างละ 300 กรัม ใส่ลงไปในถ้วยเซรามิกสำหรับเผา แล้วนำไปไว้ในเตาเผา โดยตั้งอุณหภูมิของการเผาของเตาไว้ที่ 600 °C
4. ทำการ pyrolysed ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น
5. ทำการล้างถ่านที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว ด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งวัดค่าความเป็นพิษ (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าเท่ากับ 7 แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1-2 ครั้ง
6. นำถ่านที่ได้ไปทำการอบด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศ
7. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-6 แต่เปลี่ยนสารกระตุ้นที่ใช้เป็น สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายซิงค์คลอไรด์และน้ำกลั่น ตามลำดับ
- 8) นำถ่านที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (ค่าไอโอดีนนัมเบอร์)

3.3.2 การศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

3.3.2.1 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94)

ก) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.1 ปิดสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์หนัก 2.0 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย

1.3 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร

1.4 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.5 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S}$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ข) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของไอโอดีน

1.1 ปิเปตสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยใช้แป้งเป็นอินดิเคเตอร์

1.3 ทำการไทเทรตจนได้สารละลายใสไม่มีสี และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน จากสมการ

$$N_2 = \frac{N_1 \times S}{I}$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน

ค) การหาค่าการดูดซับไอโอดีน

1.1 อบถ่านที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งและบันทึกน้ำหนักถ่านตัวอย่างใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด โดยชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่าง 3 ค่าตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีนหลักจากการดูดซับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.02 N

1.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แกว่งขวดเบา ๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย จากนั้นนำไปต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.4 เติมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าแรง ๆ นาน 30 วินาที

1.5 กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกออกไป เมื่อกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลายแล้ว จึงรองรับสารละลายที่กรองได้ด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.6 ปิเปตสารละลาย 50.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.7 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.10 N จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลือง

1.8 เติมน้ำเป้งลงไป 2-3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงิน จากนั้นทำการไทเทรตต่อไปจนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ คำนวณหาความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลืออยู่และค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักถ่าน จากสมการ

$$C = \frac{N_1}{50 \times S}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลืออยู่
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

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

เมื่อ X/M = ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักถ่าน (mg/g)
 $A = 12693N_2$
 $B = 126.93N_1$
 DF = ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง (dilution factor)
 $= (\text{ปริมาตร } I_2 \text{ เริ่มต้น} + \text{ปริมาตร HCl}) / \text{ปริมาตร } I_2 \text{ ที่ปิเปต}$
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต
 M = น้ำหนักถ่าน

1.9 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนต่อกรัมถ่าน กับความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังการดูดซับ จะได้เป็นกราฟเส้นตรง

1.10 คำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตรงตำแหน่งที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนเหลืออยู่เท่ากับ 0.02 N

3.3.2.2 การศึกษาค่าการดูดซับฟีนอล (ตามมาตรฐาน AWWA B600-96)

ก) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.1 ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย

1.3 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร

1.4 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.5 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S}$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ข) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟีนอล

1.1 ปิเปตสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1.0×10^3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 เติมสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.10 N ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน

1.3 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 12.5% ปริมาตร 8.0 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที

1.4 นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลือง จากนั้นเติมน้ำแข็ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ทำการไทเทรตต่อไปจนกระทั่งได้สารละลายสีไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

1.5 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล โดยใช้สมการ

$$M_p = \frac{(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2) \times 15.685}{V_p}$$

เมื่อ M_p = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (กรัมต่อลิตร)

V_p = ปริมาตรของสารละลายฟีนอล (มิลลิลิตร)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (นอร์มอล)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

ค) การหาค่าการดูดซับฟีนอล

1.1 ชั่งถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด

1.2 เปิดสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีพีเอชเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ 3 ขวดแรก

1.3 เปิดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ที่มีพีเอชเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ที่ 4

1.4 นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาที นาน 30 นาที

1.5 กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกออกไป เมื่อกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลายแล้ว จึงรองรับสารละลายที่กรองได้ด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.6 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.7 นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดฟีนอล

1.8 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.1-1.7 โดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.05 กรัม จนกระทั่งความเข้มข้นที่สามารถดูดซับได้ มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น

1.9 คำนวณหาร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือ (% residual filtrate phenol) และร้อยละของฟีนอลที่ถูกดูดซับ (% adsorbed phenol) จากสมการ

$$\text{ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ} = \frac{100 \times \text{ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลเริ่มต้น}}$$

$$\text{ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับ} = 100 - \text{ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ}$$

$$\text{ปริมาณถ่านที่ใช้ (g/L)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักถ่านที่ชั่ง (g)}}{\text{ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้ (ml)}}$$

1.10 คำนวณหาค่า X/M ในแต่ละปริมาณถ่านที่ใช้

1.11 เขียนกราฟระหว่างร้อยละของสารละลายฟีนอลที่เหลือกับค่า X/M โดยใช้เป็นลอการิทึม จะได้กราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดต่าง ๆ

1.12 หาค่า X/M ที่เปอร์เซ็นต์ของสารละลายฟีนอลที่เหลือเท่ากับ 10 จากไอโซเทอมที่ได้เพื่อใช้คำนวณหาค่าฟีนอล (phenol value) จากสมการ

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

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (proximate analysis)

3.3.3.1 การหาปริมาณความชื้น (moisture)

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173-95 มีวิธีการดังนี้

1.1 ทำการอุ่นเตาเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C

1.2 อบด้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ปลดออกทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.3 ชั่งถ่านหนัก 1.0 กรัม (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระเบื้อง แล้วนำไปอบจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A และ B = น้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ ตามลำดับ

3.3.3.2 การหาปริมาณสารระเหยในตัวอย่าง (volatile matter)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175-95 มีวิธีการดังนี้

1.1 เฝ้ายด้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ปลดออกทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งถ่านที่แห้งสนิท หรือ ใช้ถ่านตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้วหนัก 1.0 กรัม (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระเบื้องและปิดฝา

1.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C นาน 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทันที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในสภาพบรรยากาศประมาณ 20 นาที แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.4 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา ทำซ้ำจนกระทั่งถ่านตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

1.5 คำนวณหาปริมาณสารระเหยในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

เมื่อ A และ B = น้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผา ตามลำดับ

3.3.3.3 การหาปริมาณเถ้า (ash)

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของถ่านตัวอย่างโดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174-95 มีวิธีการดังนี้

1.1 เผาด้วยกระบี่พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ปลดออกทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.2 ชั่งถ่านที่แห้งสนิท หรือ ใช้ถ่านตัวอย่างที่ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้วหนัก 1.0 กรัม (โดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปในถ้วยกระบี่และปิดฝา

1.3 เผาถ่านตัวอย่างที่อุณหภูมิ 650 °C (เปิดฝาด้วยกระบี่ขณะเผา) แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

1.4 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา ทำซ้ำจนกระทั่งถ่านตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

1.5 คำนวณหาปริมาณเถ้าในถ่านตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3.3.3.4 การหาความหนาแน่นปรากฏ

การหาความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ทำโดยนำถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 5 กรัม ไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ทั้งหมดนั้นไปหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำในถ้วยยูเรก้า จากนั้นนำน้ำหนักที่ชั่งได้หารด้วยปริมาตรของถ่านกัมมันต์ ค่าที่ได้คือความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

3.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในถ่านตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เช่น Fe, Mn, Pb และ Cd ทำโดยใช้เครื่องอะตอมมิกส์ แอปซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer, AAS) ณ ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ก) การเตรียมสารละลายปนเปื้อนโลหะหนักจากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

1.1 ชั่งถ่านกัมมันต์ตัวอย่างมาหนัก 6.0 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 600 มิลลิลิตร นำไปกวนโดยใช้เครื่องกวนสารละลายนาน 4 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 คืน

1.2 เมื่อครบกำหนดเวลานำสารผสมที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 เพื่อแยกเอาถ่านกัมมันต์ของแข็งออกไป จากนั้นนำเฉพาะสารละลายที่ได้มากรองซ้ำด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยกเอา insoluble matter ออกไป และเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้ใส่ในขวดพอลิเอทิลีน (ขวด PE) ขนาด 1 ลิตร ปิดฝาให้แน่น

1.3 เปิดสารละลายตัวอย่างมา 500 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิลิตร นำไประเหยบนเตาให้ความร้อน (hot plate) จนมีปริมาตรเหลือน้อยกว่า 10 มิลลิลิตร (เพื่อเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในสารละลาย) แล้วทิ้งไว้ในให้เย็น

1.4 นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 อีกครั้ง จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายให้เป็น 10 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% แล้วเก็บสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวด PE ขนาด 30 มิลลิลิตร สำหรับนำไปวัดโดยเครื่อง AAS ต่อไป

ข) การหาปริมาณโลหะหนัก Fe, Mn, Pd และ Cd

นำสารละลายที่ปนเปื้อนโลหะหนักที่เตรียมได้ข้างต้น ไปวัดหาปริมาณ Fe, Mn, Pd และ Cd ด้วยเครื่อง AAS โดยใช้สารละลายมาตรฐานของแต่ละสารที่ต้องการหาปริมาณ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่อยู่ในน้ำตัวอย่าง โดยใช้สมการ

$$\text{ปริมาณของโลหะหนัก (mg/L)} = \frac{A \times B}{C}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของโลหะหนักของสารละลายที่ย่อยสลายแล้ว (mg/L)

B = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่ย่อยสลายแล้ว (ml)

C = ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (ml)

3.3.5 การวิเคราะห์สมบัติด้านการดูดซับ

การศึกษาสมบัติด้านการดูดซับ ทำโดยศึกษาความสามารถในการดูดซับ (adsorption) โลหะคอปเปอร์ ไอโซเทอมของการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์และการปลดปล่อย (desorption) โลหะหนักสังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดหรือเบส โดยทำการเปรียบเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่มีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ภายในประเทศ อย่างน้อย 1 ชนิด ดังนี้

3.3.5.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะคอปเปอร์

ก) การสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ Cu^{2+}

1) นำสารละลายมาตรฐาน Cu^{2+} ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 6.00 ppm และมีพีเอชเท่ากับ 3 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS

2) สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย Cu^{2+} ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Cu^{2+} ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

3) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนไปใช้สารละลาย Cu^{2+} ที่มีพีเอชเท่ากับ 4.00, 5.00 และ 6.00 ตามลำดับ

ข) การหาปริมาณการดูดซับและผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

1) เปิดสารละลาย Cu^{2+} ทุกความเข้มข้น ทุกพีเอช (pH 3, 4, 5 และ 6) ใส่ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 150 ml

2) เติมถ่านกัมมันต์ประมาณ 0.5 กรัม ลงไปในสารละลาย Cu^{2+} ทุกขวด ปิดจุกทุกขวด แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 30°C เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง

3) เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการกรองถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลาย Cu^{2+} แต่ละขวด และเก็บสารละลายไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์

4) นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS โดยวิธี ten fold dilution และทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

6) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟตามทฤษฎีของแลงเมียร์และฟรอยด์ลิช เพื่อหาไอโซเทอรั่มของการดูดซับ

7) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่างที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ตัวอย่างเกรดการค้า 1 ชนิด

3.3.5.2 การศึกษาการดูดซับกรดอะซิติก

- 1) นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว ชั่งถ่านประมาณ 2 ± 0.01 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 7 ใบ
- 2) ปิเปตสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นต่างๆ กัน ดังนี้ 0.5 , 0.4 , 0.2 , 0.1 , 0.04 และ 0.02 M ปริมาตรอย่างละ 100 ml ใส่ลงไปในแต่ละขวด ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ในเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง โดยเปิดเครื่องเขย่าเป็นครั้งคราว
- 3) เมื่อครบกำหนดเวลา กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายไป ในช่วงแรกทิ้งไปและเก็บสารละลายที่ได้ต่อนั้นด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 4) เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3 M (โดยการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมพธาลเลต) ทำการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายกรดอะซิติกที่เตรียมได้ในข้อ 2 โดยใช้ฟีนอล์ฟธาลินเป็นอินดิเคเตอร์
- 5) ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3 M ใส่ลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ใบ ละ 10 มิลลิลิตร แล้วหยดฟีนอล์ฟธาลินอินดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยด
- 6) นำไปไทเทรตกับสารละลายกรดอะซิติกที่เหลืออยู่จากการดูดซับ
- 7) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟโดยใช้หลักการของแลงเมียร์ไอโซเทอม และ ฟรอยลิชไอโซเทอม
- 8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

3.3.5.3 การศึกษาการปลดปล่อย (desorption) ของโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd

- ก) การหาปลดปล่อยโลหะจากถ่านกัมมันต์เมื่อแช่ทิ้งไว้ในน้ำกลั่น
 - 1) นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว ชั่งถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม ใส่ลงไปในแต่ละขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด
 - 2) ปิเปตสารละลายเหล็กความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในแต่ละขวด แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm นาน 3 ชั่วโมง
 - 3) กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายไป และเก็บส่วนของถ่านที่มีการดูดซับโลหะเหล็กไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงไปในบีกเกอร์ดังกล่าว 100 มิลลิลิตร
 - 4) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ทำการปิเปตสารละลายที่ได้จากการแช่ถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโลหะเหล็กในข้อ 3 มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทิ้งสารละลายช่วงแรกไป เมื่อกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลอง

5) นำสารละลายนี้ไปกรองได้ไปหาความเข้มข้นของโลหะ Fe ที่ถูกปลดปล่อยออกมา ที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่อง AAS

6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนสารละลายที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe เป็นสารละลายที่แช่ทิ้งไว้นาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างปริมาณของโลหะ Fe ที่วิเคราะห์ได้ ต่อเวลาที่ผ่านไปสำหรับการแช่ถ่าน

8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดสารละลายโลหะที่ใช้ในการศึกษาเป็น Mn, Pb และ Cd ตามลำดับ

9) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 โดยเปลี่ยนชนิดของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ข) การหาการปลดปล่อยโลหะจากถ่านกัมมันต์เมื่อรบกวนด้วยกรด

1) นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว ชั่งถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด

2) ปิ่เปิดสารละลายเหล็กความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำลงไปในแต่ละขวด แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm นาน 3 ชั่วโมง

3) กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายไป และเก็บส่วนของถ่านที่มีการดูดซับโลหะเหล็กไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงไปในบีกเกอร์ดังกล่าว 100 มิลลิลิตรและปรับพีเอชของสารละลายให้มีพีเอชเท่ากับ 4 ด้วยกรด HCl

4) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ทำการปิ่เปิดสารละลายที่ได้จากการแช่ถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโลหะเหล็กในข้อ 3 มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทิ้งสารละลายช่วงแรกไป เมื่อกระดาษกรองอิมมิดีด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลอง

5) นำสารละลายนี้ไปกรองได้ไปหาความเข้มข้นของโลหะ Fe ที่ถูกปลดปล่อยออกมา ที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่อง AAS

6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนสารละลายที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe เป็นสารละลายที่แช่ทิ้งไว้นาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างปริมาณของโลหะ Fe ที่วิเคราะห์ได้ ต่อเวลาที่ผ่านไปสำหรับการแช่ถ่าน

8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดสารละลายโลหะที่ใช้ในการศึกษาเป็น Mn, Pb และ Cd ตามลำดับ

9) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 โดยเปลี่ยนชนิดของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ค) การหาการปลดปล่อยโลหะจากถ่านกัมมันต์เมื่อรบกวนด้วยค่า

1) นำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว ชั่งถ่านกัมมันต์หนัก 0.5 กรัม ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่จำนวน 3 ขวด

2) ปิเปตสารละลายเหล็กความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในแต่ละขวด แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 rpm นาน 3 ชั่วโมง

3) กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายไป และเก็บส่วนของถ่านที่มีการดูดซับโลหะเหล็กไว้ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงไปในบีกเกอร์ดังกล่าว 100 มิลลิลิตรและปรับพีเอชของสารละลายให้มีพีเอชเท่ากับ 10 ด้วย NaOH

4) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ทำการปิเปตสารละลายที่ได้จากการแช่ถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับโลหะเหล็กในข้อ 3 มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายนี้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกไป จนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลายจึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลอง

5) นำสารละลายนี้ไปกรองได้ไปหาความเข้มข้นของโลหะ Fe ที่ถูกปลดปล่อยออกมา ที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่อง AAS

6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนสารละลายที่ทำ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe เป็นสารละลายที่แช่ทิ้งไว้นาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างปริมาณของโลหะ Fe ที่วิเคราะห์ได้ ต่อเวลาที่ผ่านไปสำหรับการแช่ถ่าน

8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดสารละลายโลหะที่ใช้ในการศึกษาเป็น Mn, Pb และ Cd ตามลำดับ

9) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 โดยเปลี่ยนชนิดของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

3.3.6 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับเปลี่ยนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นราจากระดับสเกลขนาดเล็ก (ระดับห้องปฏิบัติการ) เป็นสเกลขนาดใหญ่ (ระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก) โดยการใช้เตาเผาจากภูมิปัญญาชาวบ้านในการเผากระดุนถ่านจากฝักมะขามที่ได้ให้เป็นถ่านกัมมันต์ และใช้ไม้เนื้อแข็งเป็นเชื้อเพลิงในการจุดเตา การทำอุณหภูมิสูงยิ่งยวด (super heat temperature) ทำโดยการควบคุมการเปิดปิดหน้าเตา และการเป่าอากาศเข้าไปภายในเตา เพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในเตาสูงที่สุด และทำการควบคุมอุณหภูมิของเตาให้คงที่โดยการอ่านอุณหภูมิของเตาจากเทอร์โมคัปเปิล

3.3.6.1 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม

นำถ่านมะขามที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกลั่น แช่ด้วยสารละลายกรด แช่ด้วยสารละลายด่าง และแช่ด้วยสารละลายเกลือ $ZnCl_2$ เพื่อกระตุ้นเป็นเวลา 1 คืน ไล่ลงไปในส่วนของเขาเผาที่ใช้ในการเผาถ่านมะขาม จากนั้นทำการจุดเตาด้วยฟืนในเตานึ่ง เติมน้ำเชื้อเพลิงเพื่อไล่ความชื้นในเนื้อถ่าน เพื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านเริ่มคงที่ (สังเกตได้จากการอ่านเทอร์โมคัปเปิล) ทำการเติมน้ำเชื้อเพลิงลงไปอีกจนเต็มเตานึ่งและเป่าอากาศจากเครื่องโบรเวอร์เข้าไปเพื่อให้มีอุณหภูมิของเตาสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นทำการปิดหน้าเตาโดยให้มีอากาศเข้าไปเล็กน้อยเพื่อทำอุณหภูมิสูงขยดยิ่ง ทิ้งไว้ด้วยเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการปิดปล่องเตาและหน้าเตาไม่ให้อากาศเข้าไป ทิ้งถ่านมะขามที่ผ่านการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์นี้ไว้ในเตาเผาเพื่อทิ้งไว้ให้เย็น 1 คืน แล้วเก็บถ่านกัมมันต์ที่ได้ออกมาแล้วนำไปเก็บไว้ในที่ปราศจากความชื้น

3.3.6.2 การคำนวณหาต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม

ทำการคำนวณหาต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝัคมะขามขึ้นราโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมที่หาได้จากการดำเนินงานที่ผ่านมาข้างต้น เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนการผลิตที่แท้จริงในการทำถ่านกัมมันต์จากฝัคมะขามขึ้นราเพื่อให้ได้ข้อมูลในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางพาณิชย์ต่อไป

3.3.7 การศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

เพื่อเป็นการตรวจสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นที่สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อนำสภาวะนั้นมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เตาภูมิปัญญาชาวบ้านที่ผ่านการดัดแปลงให้มีความเหมาะสมขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จึงต้องมีการศึกษาตรวจสอบสมบัติอีกครั้ง โดยรายละเอียดในการศึกษา มีดังนี้

3.3.7.1 การศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ก) การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (morphology) ของอนุภาคไฟโบรอินที่เตรียมได้ ทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ซึ่งชิ้นงานจะทำการให้สามารถนำอิเล็กตรอนได้โดยการนำไปเคลือบด้วยทอง (gold sputting) ก่อน และการวิเคราะห์ของเครื่องมือจะดำเนินการที่ความต่างศักย์ 15 keV โดยการดำเนินงานดังกล่าวนี้ได้จัดทำที่ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ข) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ทำโดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน Autosorb 1 MP ยี่ห้อ Quantachrome ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ surface area determination P/P_0 : 99 points Adsorption-desorption (BJH Theory) P/P_0 : 3 points (BET) ภายใต้สภาวะของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 40 °C โดยจัดทำที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ค) การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

ทำการการวิเคราะห์ตามวิธีการในข้อ 3.3.2.1

ง) การศึกษาสมบัติแบบประมาณ

ทำการการวิเคราะห์ตามวิธีการในข้อ 3.3.3

3.3.8 การศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์เป็นสารกรอง

3.3.8.1 การศึกษาคุณภาพของน้ำตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ทำการเก็บมาจากแหล่งน้ำตัวอย่าง 3 แห่ง ได้แก่ น้ำประปาที่ใช้ในการบริโภคภายในมหาวิทยาลัย (ผลิตโดยระบบประปาของมหาวิทยาลัย) น้ำบาดาล (เก็บตัวอย่างในบ่อบาดาลภายในหมู่บ้านโฮมแลนด์ จังหวัดเพชรบูรณ์) และน้ำผิวดิน (เก็บ ณ อ่างเก็บน้ำหนองนารี) โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างและวิเคราะห์ระหว่างเดือน ธันวาคม 2555-มีนาคม 2556 โดยคุณภาพของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี โดยมีวิธีการดังนี้

ก) การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

1.1 ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง แล้วปรับเครื่องพีเอชมิเตอร์ให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่อง ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัด

1.2 ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง แล้วใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง แล้วค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างแต่ละประเภท

1.3 บันทึกค่าพีเอชที่อ่านได้

ข) การวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมด (Total hardness)

1.1 นำน้ำตัวอย่างที่เก็บมาได้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วเก็บน้ำตัวอย่างไว้ในขวดพอลิเอทิลีนขนาด 1 ลิตร ปิดจุดให้แน่น

1.2 ทำ standardize โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ลงไป 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ (Eriochrome black T) ลงไปเล็กน้อยจนได้สารละลายสีชมพูใส แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA ความเข้มข้น 0.01 M จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส (การไทเทรตควรต้องทำเสร็จภายในเวลา 5 นาที) บันทึกปริมาตรที่ใช้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

1.3 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ทำโดยปิเปตน้ำตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ลงไป 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ ลงไปเล็กน้อยจนได้สารละลายสีชมพูใส แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส (การไทเทรตควรต้องทำเสร็จภายในเวลา 5 นาที) บันทึกปริมาตรที่ใช้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

1.4 ทำ blank โดยปิเปตน้ำกลั่นมา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ลงไป 1 มิลลิลิตร แล้วเติมอินดิเคเตอร์ลงไปเล็กน้อยจนได้เป็นสารละลายสีชมพูใส นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA ความเข้มข้น 0.01 M จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส (การไทเทรตควรต้องทำเสร็จภายในเวลา 5 นาที) บันทึกปริมาตรที่ใช้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

1.5 การทำมิลลิกรัมของ CaCO_3 ที่สมมูลกับสารละลายมาตรฐาน EDTA 1 มิลลิลิตร ทำโดยปิเปต EDTA มา 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ ลงไปเล็กน้อยจนได้สารละลายสีชมพูใส แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส (การไทเทรตควรต้องทำเสร็จภายในเวลา 5 นาที) บันทึกปริมาตรที่ใช้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ความกระด้างทั้งหมด (mg/L as CaCO}_3\text{)} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณมิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สมมูลกับสารละลายมาตรฐาน EDTA 1 มิลลิลิตร

3.3.8.2 การศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นสารกรองน้ำ

ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากมะขามหวานหนักปริมาณที่ต้องใช้ในการบรรจุลงในถังเครื่องกรองน้ำสำหรับการบริโภคในครัวเรือน แล้วนำไปบรรจุลงในคอลัมน์สำหรับการกรองน้ำ ทำการต่อชุดอุปกรณ์และระบบท่อน้ำให้เหมาะสม จากนั้นทำการเปิดวาล์วด้วยอัตราการไหลประมาณ 2

ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่ต้องการบำบัดผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ นานประมาณ 15 นาที โดยยังไม่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ เมื่อระบบของการกรองคงที่แล้วให้ทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับการทดลองในข้อ 3.3.8.1 ทำการศึกษาทดลองซ้ำเช่นเดิมแต่เปลี่ยนถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากมะขามเปรี้ยว และถ่านกัมมันต์เกรดการค้า ตามลำดับ

3.3.8.3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นสารกรองน้ำ

ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการบำบัดคุณภาพน้ำประปาของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ น้ำบาดาล และน้ำผิวดิน โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายอยู่ในตลาดทั่วไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามจันรา โดยมะขามที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วยมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง พันธุ์ศรีชมพู พันธุ์อินทผลัม และพันธุ์น้ำผึ้ง โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้มะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมืองด้วย โดยในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามจันรา ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม ขั้นตอนที่ 4 เป็นการศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในระดับอุตสาหกรรม และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษานำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์เป็นสารกรองน้ำ ซึ่งรายละเอียดของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในแต่ละขั้นตอน เป็นดังนี้คือ

4.1 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามจันรา

ในขั้นตอนนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ต่าง ๆ ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านจากมะขามจันรา และขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะขามจันรา โดยผลจากการศึกษาที่ได้จากแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านจากมะขามจันรา

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านจากฝักระยะขามจันรา ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยการใช้เตาภูมิปัญญาชาวบ้านที่ประกอบขึ้นจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร และมีการจัดการวัตถุดิบฝักระยะขามจันราก่อนการนำไปเผาเพื่อทำเป็นถ่านโดยการผึ่งแดดไล่ความชื้น 2-3 วัน จนฝักแห้ง ซึ่งภาพแสดงลักษณะของวัตถุดิบฝักระยะขามที่ใช้ในการศึกษา และการประกอบเตาสำหรับเผาถ่าน แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ลักษณะของวัตถุดิบฝักระยะขามจันราก่อนการนำไปเผาเพื่อทำเป็นถ่าน



รูปที่ 4.2 การประกอบเตาภูมิปัญญาชาวบ้านเพื่อใช้ในการเผาถ่าน

4.1.1.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาถ่าน

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาถ่าน โดยใช้เตาขนาด 200 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการคาร์บอนไนเซชันคงที่คือ 4 ชั่วโมง ของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองและมะขามเปรี้ยว ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่านการเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการเผาให้เป็นถ่าน (°C)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)	
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามเปรี้ยว
300	184.5	225.7
400	370.5	354.2
500	385.3	368.5

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการเผาจาก 300 °C เป็น 400 °C และ 500 °C ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 400 °C และ 500 °C มีค่าที่แตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาให้เป็นถ่านของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว จึงเลือกอุณหภูมิที่ 400 °C เป็นอุณหภูมิของการเผาให้เป็นถ่าน

4.1.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเผาถ่าน

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเผาถ่านโดยใช้เตาขนาด 200 ลิตร โดยใช้อุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชันคงที่คือ 400 °C ของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองและมะขามเปรี้ยว ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่านการเผาให้เป็นถ่านที่เวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาในการเผาให้เป็นถ่าน (ชั่วโมง)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)	
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามเปรี้ยว
1	NA	NA
2	188.3	154.8
4	381.5	364.4
8	411.6	442.5

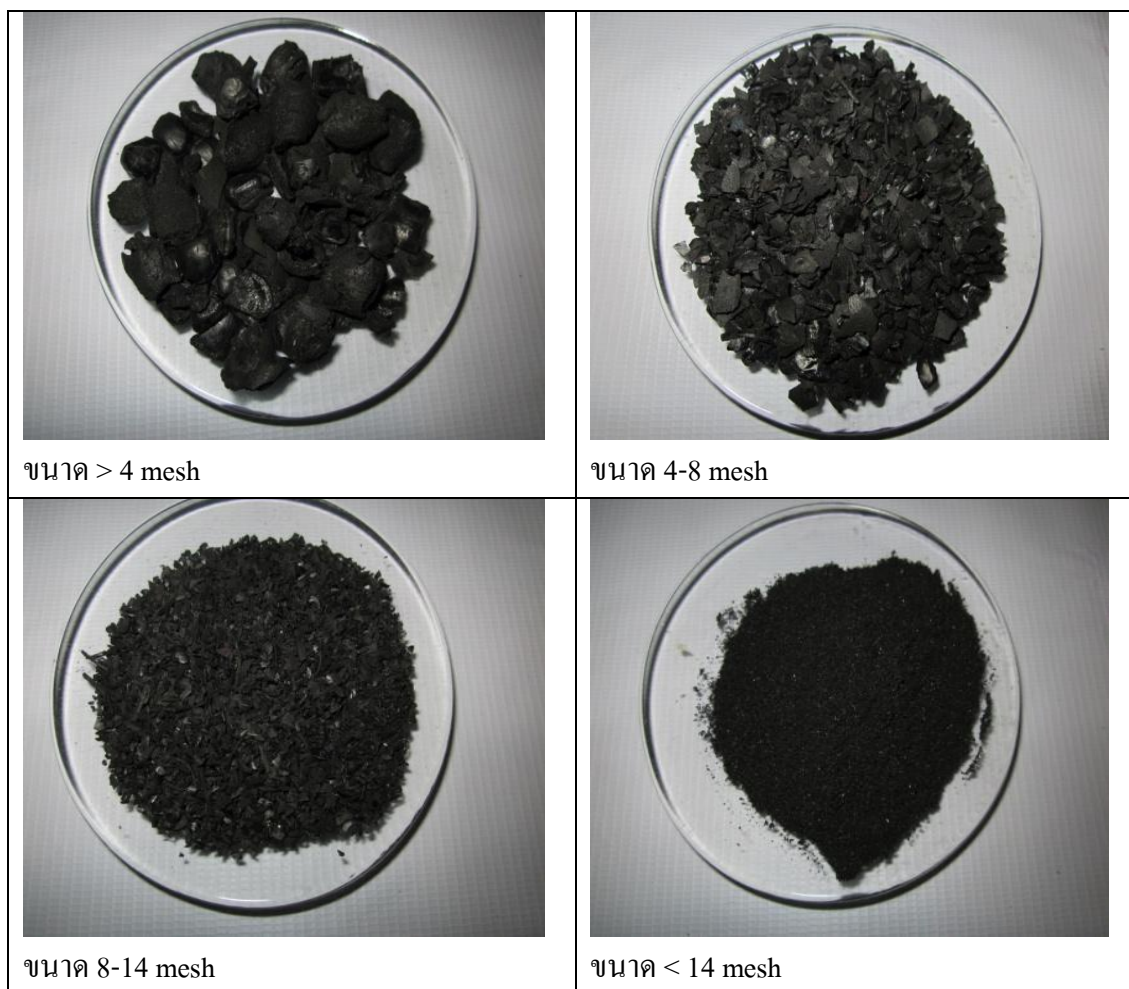
จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าที่ระยะเวลาการเผา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 400 °C ฝักมะขามที่ได้จากการเผาให้เป็นถ่านที่ระยะเวลาดังกล่าวยังมีลักษณะที่เป็นถ่านไม่สมบูรณ์ คือ ยังมีส่วนของเปลือกบางส่วนที่ยังไม่ถูกเผาไหม้เป็นถ่านทำให้ไม่สามารถวัดค่าการดูดซับไอโอดีนได้ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเผาคาร์บอนไนเซชันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง ทำให้ถ่านที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ที่การใช้เวลาในการเผาที่ 4 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง มีค่าที่แตกต่างกันไม่มากนักของทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเผาให้เป็นถ่านของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว จึงเลือกที่เวลา 4 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเผาให้เป็นถ่าน

4.1.1.3 การลดขนาดถ่านด้วยเครื่องบดแบบบอลมิลล์

จากการลดขนาดของถ่านฟีกมะขามขึ้นราโดยการนำไปบดลดขนาดด้วยเครื่องบดสารแบบบอลมิลล์นาน 30 นาที จากนั้นจึงนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 เมท 8 เมท และ 14 เมท ผลจากการศึกษาที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของถ่านของฟีกมะขามที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน



รูปที่ 4.4 ลักษณะของถ่านจากฝักระดากที่ผ่านการบดและผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาดต่าง ๆ

4.1.2 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะขามขี้แร

การหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระดากแต่ละพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการเผาให้เป็นถ่านและผ่านการบดลดขนาดแล้ว โดยถ่านที่ผ่านการบดซึ่งมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 4-8 เมท จะนำมาใช้ในการศึกษาการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผากระตุ้นที่มีผลต่อการเผาเพื่อกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ตลอดจนได้ศึกษาถึงการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี คือ กรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ เปรียบเทียบกับการใช้เพียงน้ำกลั่นเป็นสารกระตุ้น ผลที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นดังนี้

4.1.2.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการไพโรไลซิสถ่านมะขามหวานและถ่านมะขามเปรี้ยวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ระยะเวลาในการเผากระตุ้นคงที่คือ 1 ชั่วโมง จากการนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการ เผากระตุ้น(°C)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)				
	มะขามหวานพันธุ์ ประกายทอง	มะขามหวาน พันธุ์ศรีชมภู	มะขามหวาน พันธุ์สีทอง	มะขามหวาน พันธุ์ขันดี	มะขามเปรี้ยว พันธุ์พื้นเมือง
500	428.4	436.5	448.8	411.3	467.5
600	644.0	637.2	627.5	615.7	624.5
700	621.8	614.5	608.2	595.4	635.3

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นเพิ่มขึ้น จาก 500 °C เป็น 600 °C ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นของการเตรียมจากถ่านที่ได้จากฝักมะขามหวานทุกสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง แต่หากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 700 °C พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไม่แตกต่างจากการใช้อุณหภูมิการเผากระตุ้นที่ 600 °C มากนัก และในบางตัวอย่างจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง ดังนั้นสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามนี้คือที่อุณหภูมิ 600 °C

4.1.2.2 ผลการศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการไพโรไลซิสถ่านมะขามหวานและถ่านมะขามเปรี้ยวที่อุณหภูมิประมาณ 600 °C ในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ระยะเวลาในการเผากระตุ้นต่างกัน จากการนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนของการไพโรไลซิสโดยใช้เวลาต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นที่ 600 °C โดยใช้ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาการ เผากระตุ้น(hrs)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)				
	มะขามหวานพันธุ์ ประกายทอง	มะขามหวาน พันธุ์ศรีชมภู	มะขามหวาน พันธุ์สีทอง	มะขามหวาน พันธุ์ขันดี	มะขามเปรี้ยว พันธุ์พื้นเมือง
0.5	484.6	465.4	456.0	474.8	443.5
1.0	635.7	622.5	615.3	605.5	615.7
2.0	648.9	642.7	628.1	612.0	621.0
4.0	612.8	620.4	588.2	595.4	605.4

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.4 พบว่าการเผากระดุนถ่านที่เตรียมได้จากฝัคมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว โดยใช้การเผากระดุนที่อุณหภูมิ 600 °C ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเผากระดุนที่ต่างกันนั้น จากผลที่ได้พบว่าการใช้ระยะเวลาในการเผากระดุนนานประมาณ 1-2 ชั่วโมง จะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงกว่าการใช้ระยะเวลาในการเผากระดุนนาน 0.5 ชั่วโมง และที่ 4 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เวลาในการเผากระดุนนาน 0.5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นเกินไปจนทำให้การกระดุนถ่านจากฝัคมะขามให้เป็นถ่านกัมมันต์เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ส่วนการใช้ระยะเวลาในการเผากระดุนนาน 4 ชั่วโมงนั้น อาจเป็นระยะเวลานานจนทำให้ถ่านจากฝัคมะขามบางส่วนมีสภาพความพรุนที่ลดลง และบางส่วนกลายเป็นขี้เถ้า จึงทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ลดลงเมื่อทำการเผาโดยใช้เวลานานเกินไป

4.1.2.3 ผลการศึกษาการใช้สารตัวกระดุนสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระดุนได้แก่ 60% กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลาย 60% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สารละลาย 60% ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) เปรียบเทียบการใช้เพียงน้ำกลั่นเป็นสารตัวกระดุน โดยนำมะขามที่ผ่านการกระดุนด้วยสารละลายต่าง ๆ ไปทำการเผากระดุนที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการกระดุนด้วยสารละลายต่าง ๆ และผ่านการเผากระดุนที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง

สารที่ใช้ในการกระดุน	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)				
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	มะขามหวานพันธุ์สีทอง	มะขามหวานพันธุ์ขันดี	มะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง
H_3PO_4	662.3	644.8	635.7	621.4	654.8
KOH	638.0	624.7	628.0	611.5	633.5
ZnCl_2	624.3	607.5	615.0	608.7	618.4
H_2O	642.3	635.4	630.4	614.8	625.1

จากตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อนำถ่านที่เตรียมได้จากฝัคมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว ไปกระดุนโดยการแช่ทิ้งไว้ในสารกระดุนต่างกัน จะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระดุนที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 1 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่แตกต่างกัน โดยการใช้สารกระดุนเป็นกรดฟอสฟอริก (60% $\text{H}_3\text{PO}_{4(aq)}$) ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด รองลงมาได้แก่ การใช้ น้ำกลั่น (H_2O) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (60% $\text{KOH}_{(aq)}$) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ (60% $\text{ZnCl}_{2(aq)}$) ตามลำดับ

4.1.2.4 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการศึกษา

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นได้แก่ 60% กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลาย 60% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลาย 60% ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) และการใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวกระตุ้น เมื่อทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.5



แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 60%



แช่ด้วยเบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 60%



แช่สารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์เข้มข้น 60%



แช่ด้วยน้ำกลั่น

ที่ 4.5 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นโดยใช้สารละลายต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง

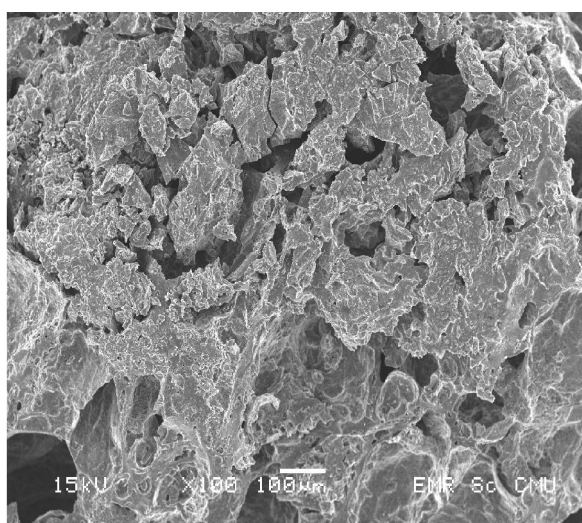
4.2 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักมะขาม ได้แก่ การศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา การวิเคราะห์พื้นผิวและรูพรุน การศึกษาค่าการดูดซับ ไอโอดีน ค่าการดูดซับฟีนอล การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง การวิเคราะห์สมบัติด้านการดูดซับ โดยผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

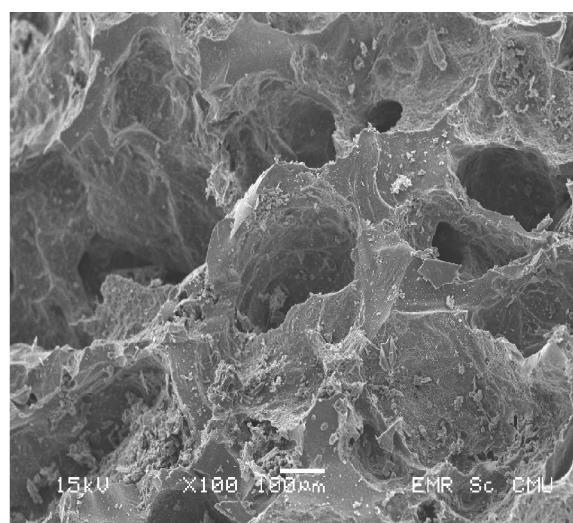
4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม

4.2.1.1 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์

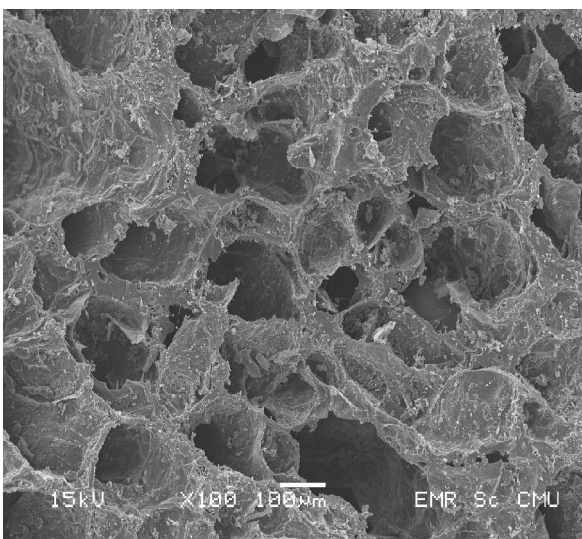
จากการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทำการศึกษาที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6



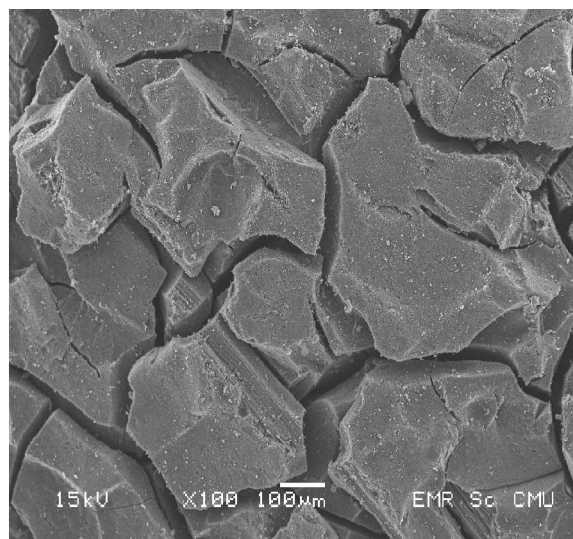
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ (ก)-(ค) และถ่านกัมมันต์เกรดการค้า (ง) โดยใช้เทคนิค SEM

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาสมบัติด้านพื้นที่ผิวและสภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยการส่งตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและสภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่เตรียมได้จากฝักมะขามหวานขึ้นรา โดยการเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400°C ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดและผ่านการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600°C จากการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยผลการศึกษาที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวอย่าง		การวิเคราะห์รูพรุนของตัวอย่าง		
	พื้นที่ผิวจำเพาะ, S_t (m^2/g) BET Theory	พื้นที่ผิวต่อกรัม สารตัวอย่าง (m^2/g)	ปริมาตร รูพรุน V_p , (cc/g)	รัศมีเฉลี่ย ของรูพรุน ($\text{\AA}$)	รูพรุน มีขนาดรัศมี เล็กกว่า ($\text{\AA}$)
ถ่านกัมมันต์เตรียม จากฝักมะขามหวาน	851.58	6202.33	2.23668	52.53	2522.8
ถ่านกัมมันต์เตรียม จากฝักมะขามเปรี้ยว	910.31	6644.59	2.31626	50.90	15919.2

จากผลการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ผิวและสภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่เตรียมได้จากการกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามหวาน และถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามเปรี้ยว ในการศึกษาวิจัยนี้ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง $851 - 910 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET Theory) มีพื้นที่ผิวต่อกรัมสารตัวอย่างอยู่ในช่วง $6202 - 6644 \text{ m}^2/\text{g}$ มีปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง $2.23 - 2.31 \text{ cc/g}$ และมีรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนอยู่ในช่วง $50 - 53$ อังสตรอม ซึ่งจากการสำรวจถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่ใช้เป็นสารกรองน้ำ ซึ่งมีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ $1100 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET Theory) ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นี้จึงมีพื้นที่ผิวที่ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

4.2.2 ผลการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

จากการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว โดยใช้สภาวะในการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600°C ใช้เวลานาน 1 ชั่วโมง โดยก่อนการเผากระตุ้นนั้น ถ่านของฝักมะขามแต่ละชนิดได้ถูกนำไปแช่โดยใช้สารละลายกระตุ้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปทำการตรวจสอบหาค่าไอโอดีน ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักมะขามหวาน และค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักมะขามเปรี้ยว และได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระยะขามหวานและมะขามเปรี้ยวโดยใช้สารกระตุ้นต่างกัน

สารที่ใช้ในการกระตุ้น	ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) (mg/g)	
	เตรียมจากฝักระยะขามหวาน	เตรียมจากฝักระยะขามเปรี้ยว
H ₃ PO ₄	641.1	654.8
KOH	625.6	633.5
ZnCl ₂	613.9	618.4
H ₂ O	630.7	625.1

จากการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ตามกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร้อยู่ในช่วง 613-655 mg/g ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ที่กำหนดไว้ว่าให้มีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร้มากกว่า 600 mg/g แต่จากการสำรวจถ่านกัมมันต์สำหรับใช้เป็นสารกรองน้ำ เกรดการค้าที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปจะมีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร้มากกว่า 1000 mg/g ขึ้นไป ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระยะขามของการวิจัยนี้ มีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร้มากกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่มีค่าต่ำกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไป

4.2.3 ผลการศึกษาค่าการดูดซับฟีนอล

ได้ทำการศึกษาค่าการดูดซับฟีนอล ตามมาตรฐาน AWWA B600-96 โดยการหาปริมาณของฟีนอลที่เหลืออยู่โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมตรี ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าการดูดซับฟีนอลของมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวที่ผ่านการเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นที่ต่างกัน

สารที่ใช้ในการกระตุ้น	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับ	
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง
H ₃ PO ₄	83.1	81.5
KOH	65.6	61.7
ZnCl ₂	68.2	67.8
H ₂ O	72.4	70.5

จากการศึกษาการดูดซับฟีนอลโดยการเปรียบเทียบปริมาณของความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากการแช่ทิ้งไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอลที่ใช้ โดยเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 สารละลาย KOH สารละลาย ZnCl_2 และผ่านการกระตุ้นโดยการใช้ น้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว ผลที่ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการใช้สารกระตุ้นชนิดต่าง ๆ มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้ปริมาณ 61-83% โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับมากที่สุด รองลงมาได้แก่การกระตุ้นด้วย H_2O , ZnCl_2 และ KOH ตามลำดับ

4.2.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่เตรียมได้

จากการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นรา โดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักดังกล่าวจากสารละลายที่แช่ถ่านกัมมันต์ทิ้งไว้ 1 คืน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นรา

โลหะหนักที่ตรวจวัด	ปริมาณโลหะหนัก (mg/L) ที่ตรวจพบในถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก	
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง
Fe	ไม่พบ	ไม่พบ
Mn	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นรา พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นรา โดยศึกษาจากตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ได้จากมะขามหวานพันธุ์ประกายทองและมะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง ไม่พบปริมาณของโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เลย

4.2.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่เตรียมได้

โดยในการศึกษาสมบัติด้านการดูดซับ ทำโดยศึกษาความสามารถในการดูดซับ (adsorption) โลหะคอปเปอร์ ไอโซเทอมของการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์และการปลดปล่อย โลหะหนักสังเคราะห์ด้วยสารละลายกรดหรือเบส โดยทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ภายในประเทศ 1 ชนิด ผลจากการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

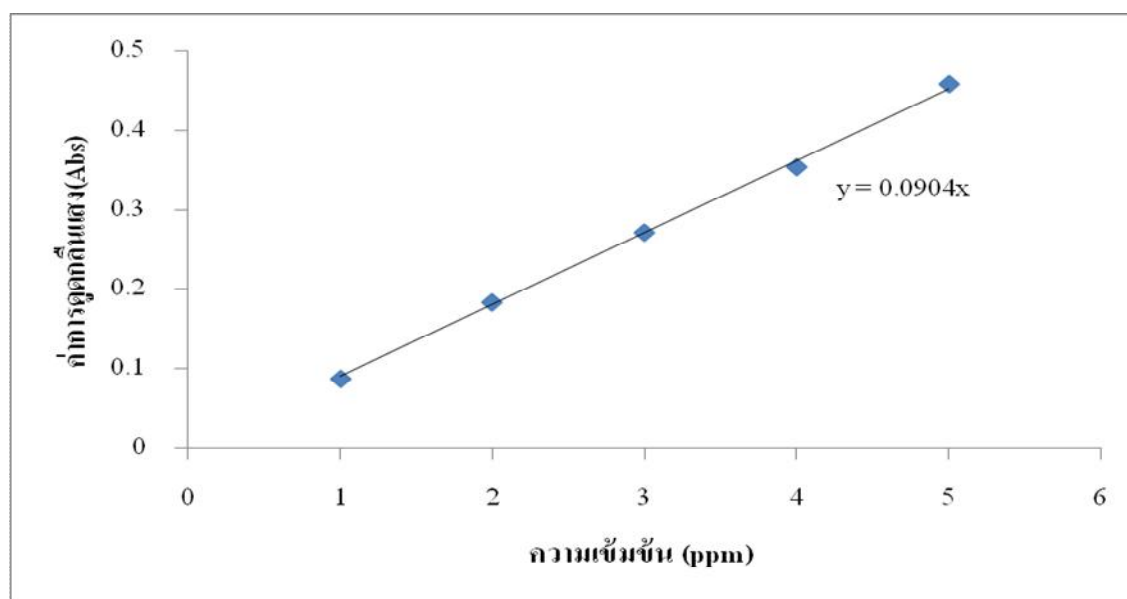
4.2.5.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะคอปเปอร์

(ก) กราฟมาตรฐานของ Cu^{2+}

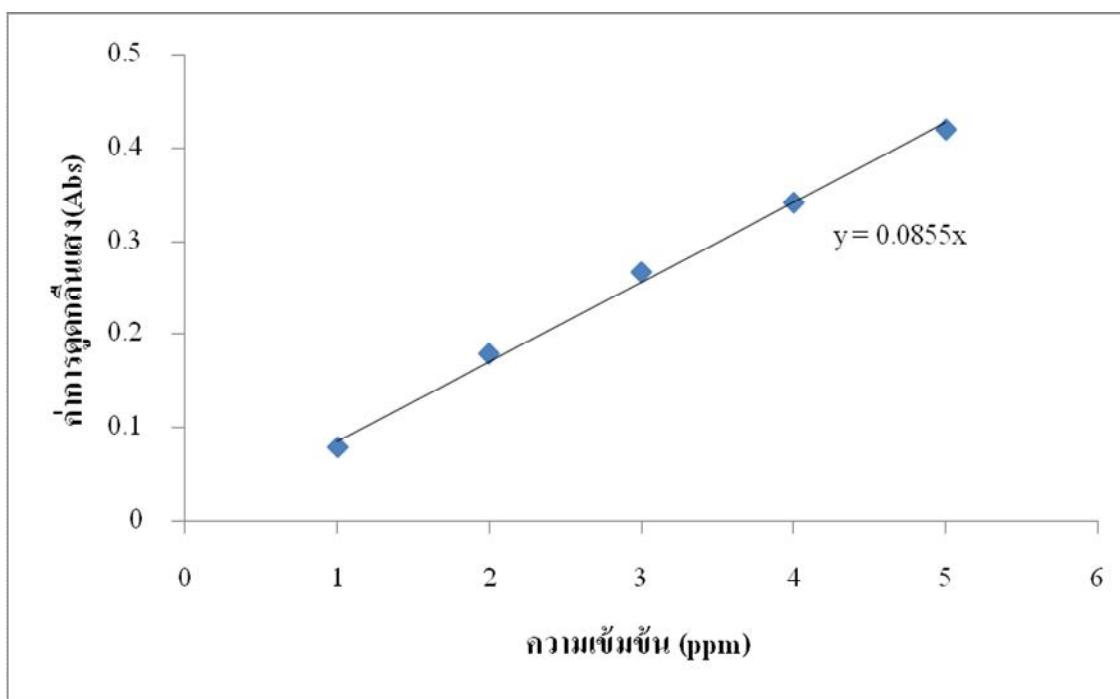
จากผลการทดลองเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของ Cu^{2+} ค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลาย Cu^{2+} ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.7-4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Cu^{2+} ที่พีเอช 3-6 และความยาวคลื่น 324.6 nm

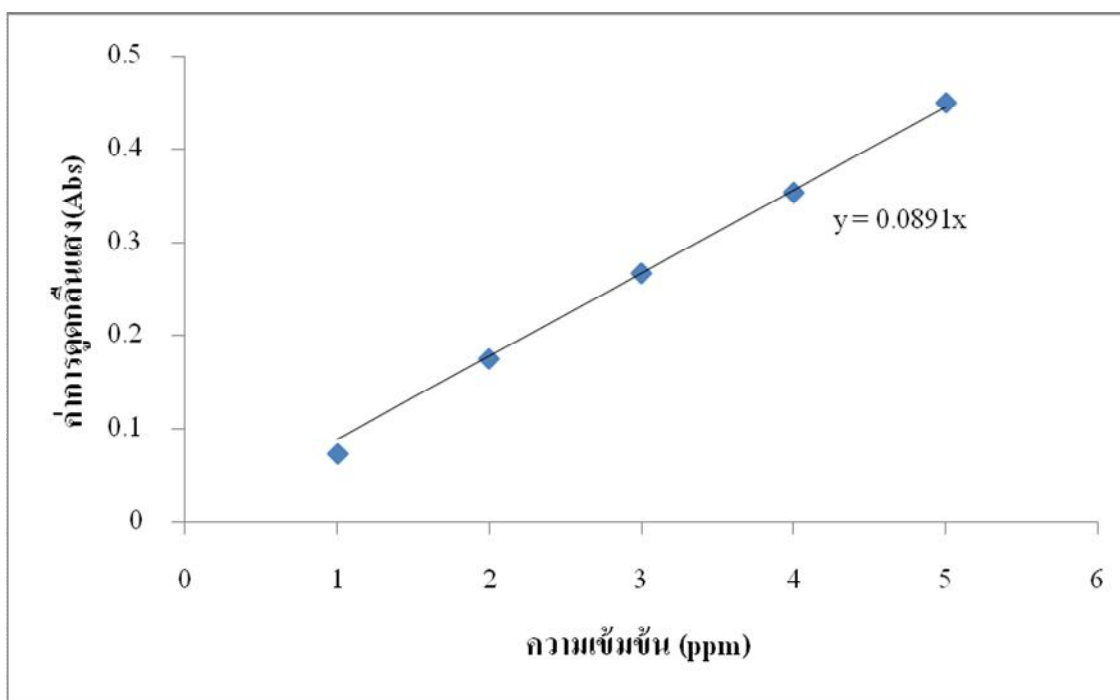
ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)			
	ที่ pH3	ที่ pH4	ที่ pH5	ที่ pH6
1	0.087	0.079	0.073	0.072
2	0.184	0.179	0.175	0.164
3	0.271	0.268	0.268	0.254
4	0.354	0.341	0.354	0.355
5	0.458	0.420	0.451	0.461



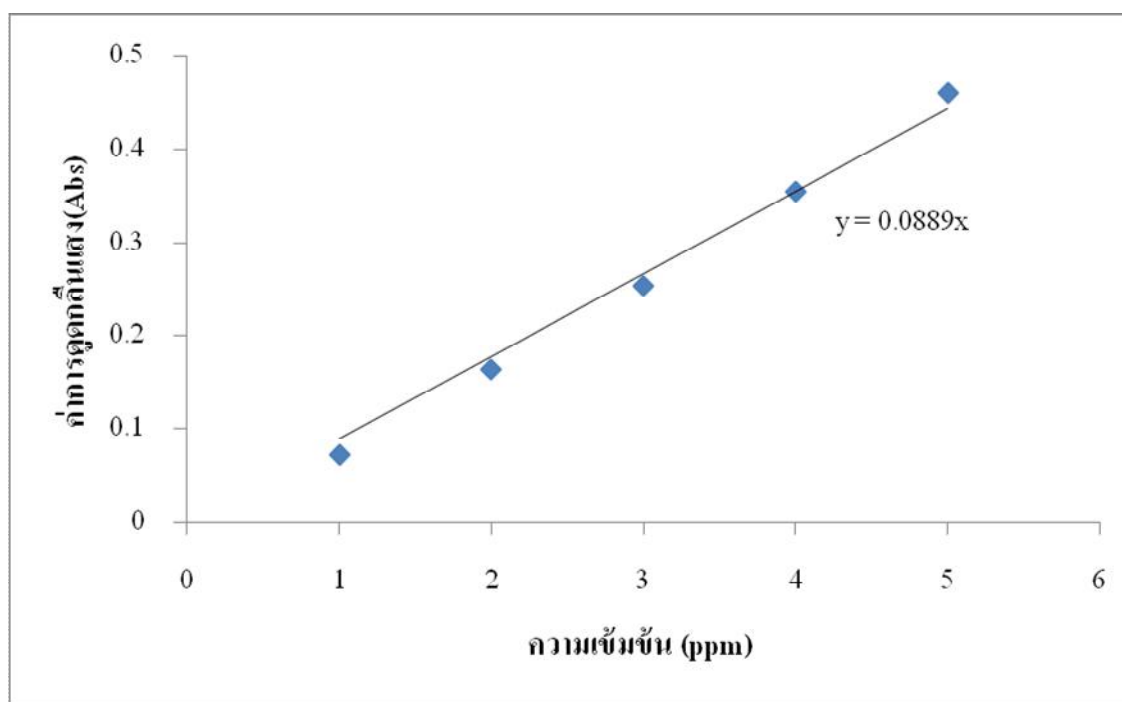
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 3 และความยาวคลื่น 324.6 nm



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 4 และความยาวคลื่น 324.6 nm



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 5 และความยาวคลื่น 324.6 nm



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของ Cu^{2+} ที่พีเอช 6 และความยาวคลื่น 324.6 nm

(ข) ผลของ pH และอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ Cu^{2+}

1) ผลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ Cu^{2+} จากสารละลาย Cu^{2+}

จากการนำสารละลาย Cu^{2+} ที่มี pH เท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นต่าง ๆ ไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับที่อุณหภูมิ 30°C โดยการนำผลต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นหลังการทดลองและความเข้มข้นก่อนการทดลอง แล้วเปลี่ยนเป็นปริมาณที่ถูกดูดซับของสารละลาย Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11-4.14 เมื่อพล็อตกราฟระหว่างปริมาณการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ $[q_c]$ และความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือจากการทดลอง $[C_c]$ ได้ผลดังรูปที่ 4.11

จากความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ เมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่เหลือจากการดูดซับต่อปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ $[C_c/q_c]$ และความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่เหลือจากการทดลอง $[C_c]$ ที่ pH เท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C ได้ผลการทดลองดังตารางที่ และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลการดูดซับของ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C

ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.884	0.290	0.305
2	3.76	0.384	9.78
3	6.41	0.497	12.9
4	9.61	0.553	17.4
5	13.0	0.593	22.0
6	16.5	0.626	26.3
7	20.1	0.639	31.5
8	23.8	0.651	36.5
9	27.4	0.667	41.1
10	31.3	0.656	47.7

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการดูดซับของ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 4 อุณหภูมิ 30°C

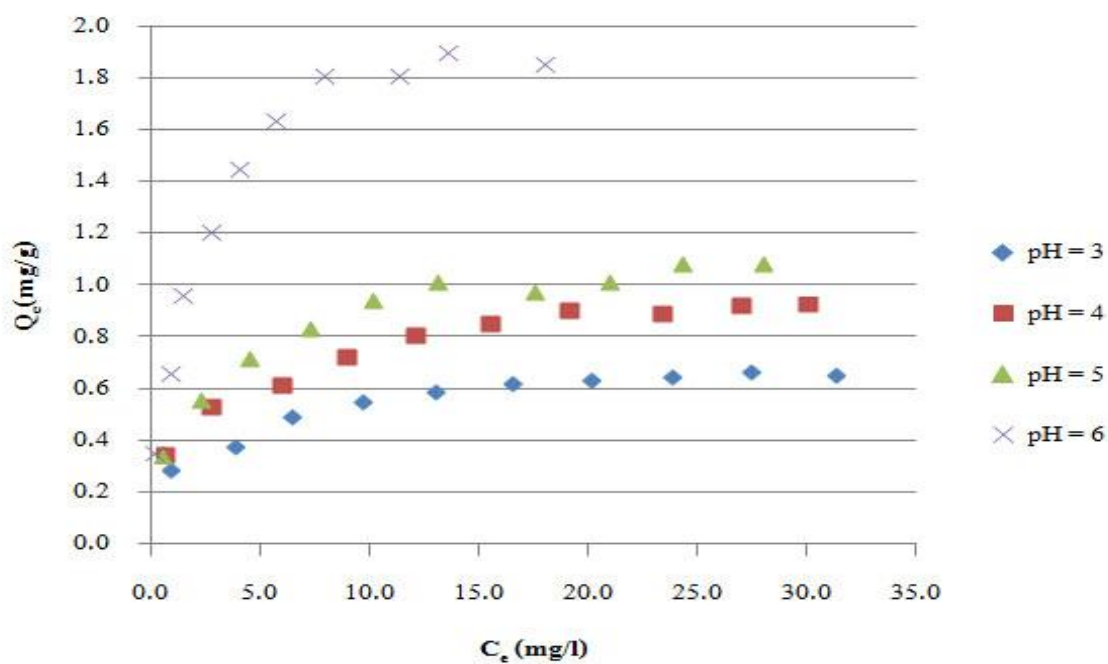
ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.59	0.342	1.73
2	2.72	0.529	5.13
3	5.90	0.615	9.60
4	8.85	0.722	12.3
5	12.0	0.809	14.9
6	15.5	0.855	18.1
7	19.1	0.906	21.1
8	23.3	0.892	26.1
9	26.9	0.922	29.2
10	30.9	0.926	33.4

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลการดูดซับของ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 5 อุณหภูมิ 30°C

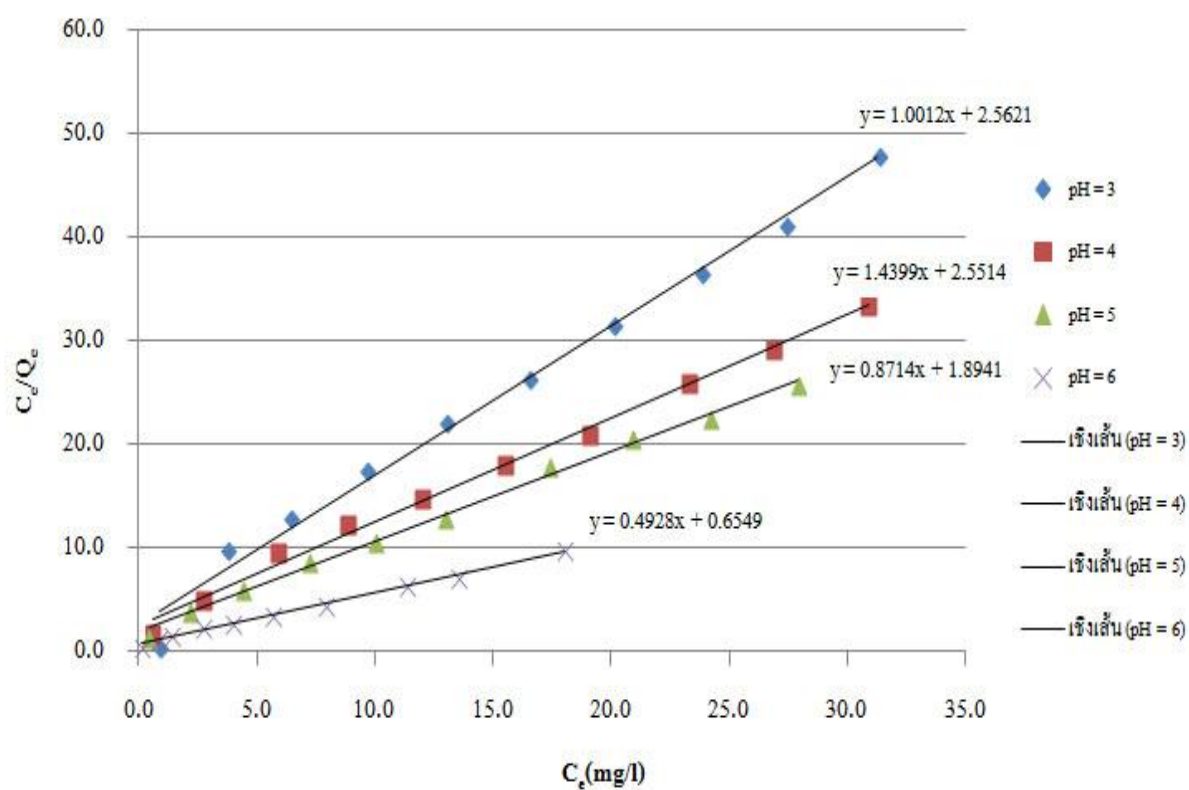
ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.45	0.340	1.32
2	2.14	0.559	3.82
3	4.39	0.719	6.10
4	7.20	0.830	8.67
5	10.0	0.940	10.6
6	13.0	1.01	12.9
7	17.4	0.974	17.9
8	20.9	1.01	20.6
9	24.2	1.08	22.5
10	27.9	1.08	25.7

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลการดูดซับของ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 6 อุณหภูมิ 30°C

ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.113	0.356	0.317
2	0.788	0.664	1.19
3	1.35	0.962	1.41
4	2.70	1.21	2.23
5	3.94	1.45	2.73
6	5.63	1.64	3.43
7	7.88	1.81	4.36
8	11.3	1.81	6.24
9	13.5	1.90	7.10
10	18.0	1.86	9.67



รูปที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.12 แล่งเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์ จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C โดยมีค่า k เท่ากับ 0.391, 0.564, 0.460 และ 0.752 ตามลำดับ

2) ผลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับ Cu^{2+} จากสารละลาย Cu^{2+} สำหรับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

จากการนำสารละลาย Cu^{2+} ที่มี pH เท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นต่าง ๆ ไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับที่อุณหภูมิ 30°C โดยการนำผลต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นหลังการทดลองและความเข้มข้นก่อนการทดลอง แล้วเปลี่ยนเป็นปริมาณที่ถูกดูดซับของสารละลาย Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15-4.18 เมื่อพล็อตกราฟระหว่างปริมาณการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ [q_e] และความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือจากการทดลอง [C_e] ได้ผลดังรูปที่ 4.13

จากความสัมพันธ์ของแลงเมียร์ เมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่เหลือจากการดูดซับต่อปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ [C_e/q_e] และความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่เหลือจากการทดลอง [C_e] ที่ pH เท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C ได้ผลการทดลองดังตารางที่ และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C

ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.875	0.312	2.80
2	3.57	0.396	9.02
3	6.11	0.488	12.52
4	9.42	0.566	16.64
5	12.8	0.611	20.95
6	15.8	0.628	25.16
7	19.34	0.645	29.98
8	22.5	0.658	34.19
9	27.1	0.692	39.16
10	31.1	0.708	43.93

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 4 อุณหภูมิ 30°C

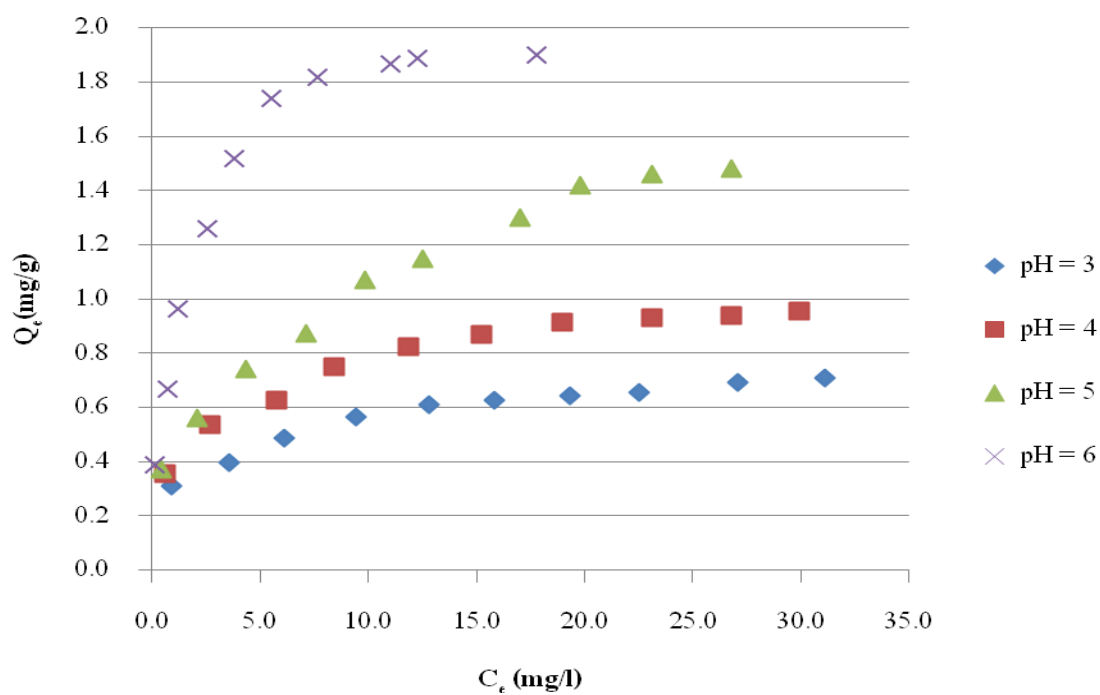
ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.577	0.356	1.62
2	2.68	0.538	4.98
3	5.76	0.627	9.19
4	8.44	0.749	11.27
5	11.83	0.826	14.32
6	15.23	0.871	17.49
7	18.95	0.914	20.73
8	23.1	0.93	24.84
9	26.82	0.941	28.50
10	29.93	0.958	31.24

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 5 อุณหภูมิ 30°C

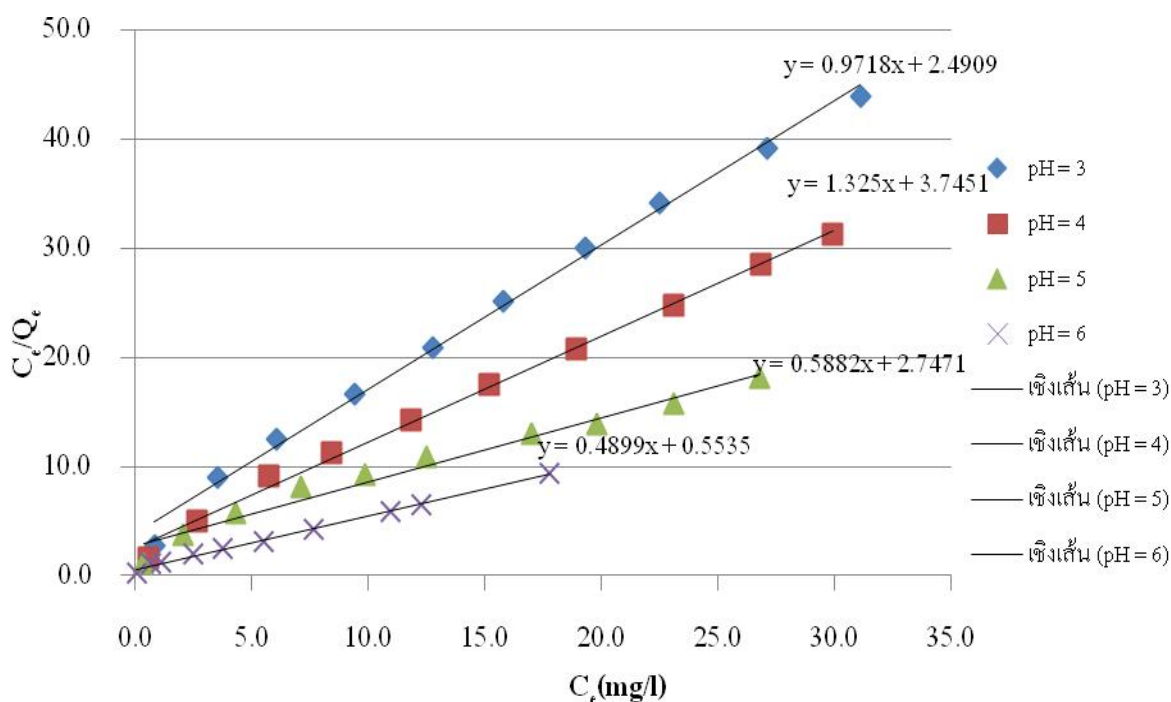
ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.41	0.372	1.10
2	2.08	0.561	3.71
3	4.32	0.744	5.81
4	7.14	0.874	8.17
5	9.87	1.07	9.22
6	12.5	1.15	10.87
7	17.0	1.30	13.08
8	19.8	1.42	13.94
9	23.1	1.46	15.82
10	26.8	1.48	18.11

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลการดูดซับ Cu^{2+} ของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 6 อุณหภูมิ 30°C

ชุดที่	C_e (mg/l)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
1	0.105	0.387	0.27
2	0.716	0.668	1.07
3	1.17	0.966	1.21
4	2.54	1.26	2.02
5	3.77	1.52	2.48
6	5.52	1.74	3.17
7	7.67	1.82	4.21
8	11.0	1.87	5.88
9	12.3	1.89	6.51
10	17.8	1.90	9.37



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 4.14 แลงเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C โดยมีค่า k เท่ากับ 0.390, 0.354, 0.214 และ 0.885 ตามลำดับ

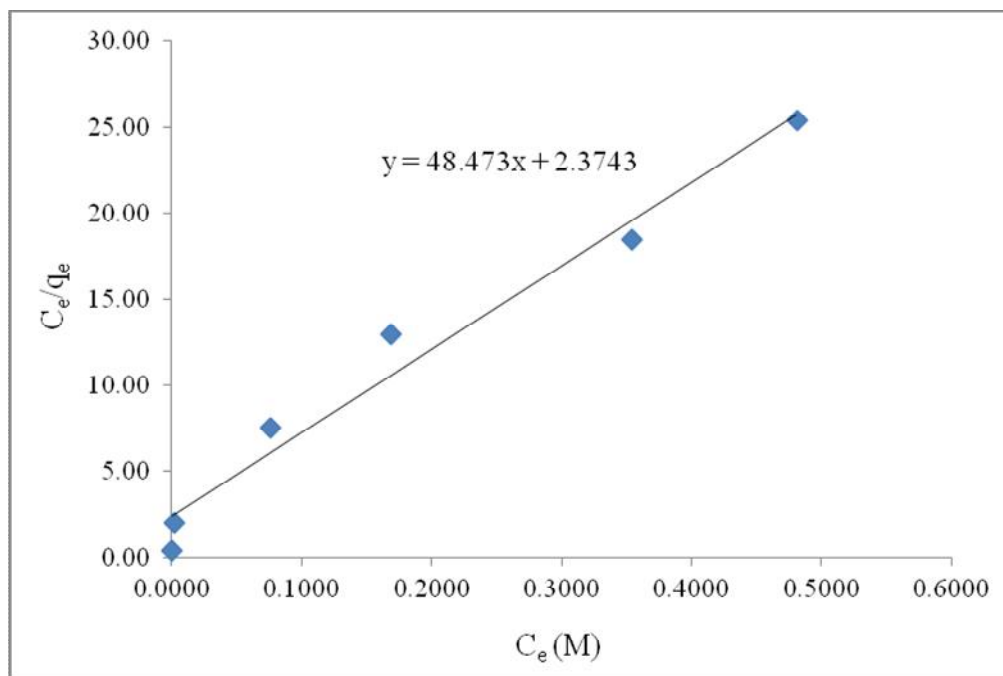
จากผลการศึกษาพบว่ากราฟพล็อตระหว่างปริมาณการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ทั้งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระงับขึ้นรา และถ่านกัมมันต์เกรดการค้า กับความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือ ดังรูปที่ 4.11 และ 4.13 จะได้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบชั้นเดียว คือ ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และที่พีเอช 6 มีการดูดซับของ Cu^{2+} มากที่สุด เมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือต่อปริมาณการดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (C_e/Q_e) กับความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือ (C_e) พบว่ากราฟที่ได้เป็นเส้นตรงตามไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งจากการศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระงับขึ้นรา กราฟของแลงเมียร์พล็อตจากการใช้สารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C ดังรูปที่ 4.12 มีค่า k เท่ากับ 0.391, 0.564, 0.460 และ 0.752 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะคอปเปอร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่าแลงเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C ดังรูปที่ 4.14 มีค่า k เท่ากับ 0.390, 0.354, 0.214 และ 0.885 ตามลำดับ โดยค่าคงที่ k คือค่าคงที่ของแลงเมียร์ที่แสดงถึงอัตราการดูดซับ หากค่าคงที่ของแลงเมียร์มีค่าสูงจะทำให้มีปริมาณการดูดซับสูงขึ้น

4.2.5.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดอะซิติก

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาใช้กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นต่างกันและใช้ผงถ่านกัมมันต์หนัก 2 กรัม ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการดูดซับของกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระงับขึ้นราจาก ที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับหาความสัมพันธ์ตามแลงเมียร์-ไอโซเทอม

ชุดที่	C_e (M)	q_e (M/g)	C_e/q_e
1	0.4811	0.0189	25.3879
2	0.3541	0.0192	18.4909
3	0.1687	0.0130	12.9769
4	0.0766	0.0102	7.5468
5	0.0024	0.0012	2.0000
6	0.0006	0.0017	0.3636



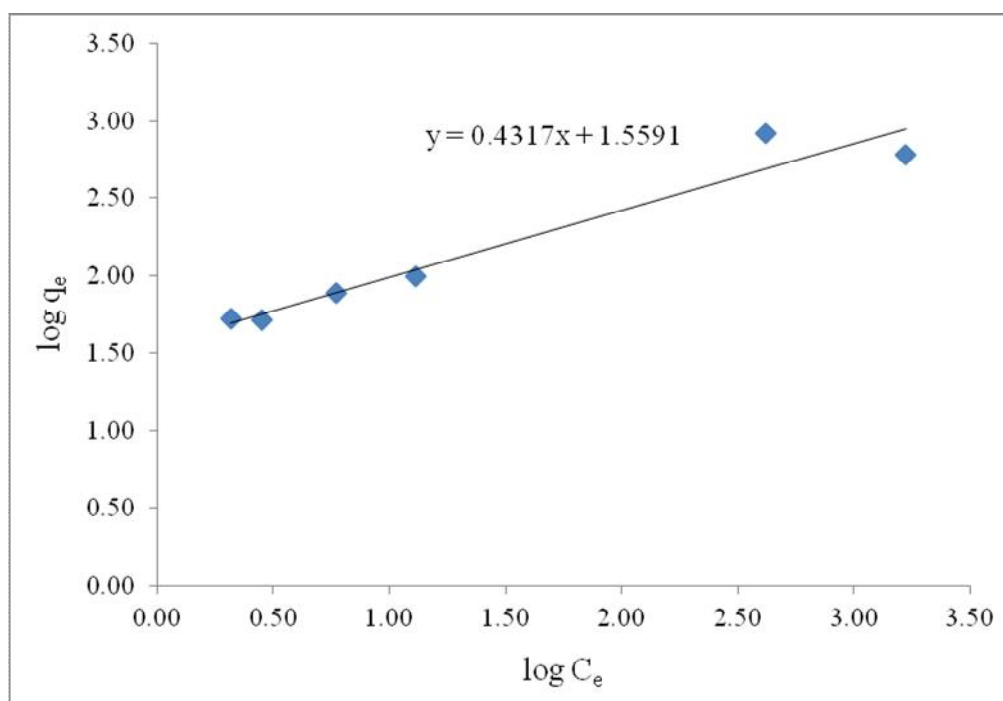
รูปที่ 4.15 แลงเมียร์พล็อตของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระงับขึ้นรา ที่อุณหภูมิ 30°C

จากกราฟที่ได้มีค่าความชันเท่ากับ 48.47 ซึ่งคือค่าของ $1/N_m$ เมื่อ N_m คือ จำนวนโมเลกุลสูงสุดของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ 1 กรัม ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_m ได้เท่ากับ 0.0206 ที่สามารถ

ลองไปหาค่าพื้นที่จำเพาะของตัวดูดซับ (A) ได้จากสมการ $A = N_m N_0 \delta \times 10^{-20} \text{ m}^2$ เมื่อ N_0 คือ ค่าคงที่ของโวคาโด และ δ คือ พื้นที่ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับมีหน่วยเป็นอังสตรอม ถ้าหากกำหนดให้ δ ของกรดอะซิติกมีค่า 21 อังสตรอม ดังนั้นจะคำนวณหาค่าพื้นที่จำเพาะของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษาได้เท่ากับ 2608 m^2

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลการดูดซับของกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระงับขึ้นราจาก ที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับหาความสัมพันธ์ตามพรีดิกทีฟไอโซเทอม

ชุดที่	C_e (M)	q_e (M/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.4811	0.0189	0.3178	1.7224
2	0.3541	0.0192	0.4509	1.7178
3	0.1687	0.0130	0.7729	1.8861
4	0.0766	0.0102	1.1158	1.9935
5	0.0024	0.0012	2.6198	2.9208
6	0.0006	0.0017	3.2218	2.7825



รูปที่ 4.16 พรีดิกทีฟไอโซเทอมของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระงับขึ้นรา ที่อุณหภูมิ 30°C

จากกราฟที่ได้สามารถหาค่าคงที่ k ได้เท่ากับ $\log k = 1.5591$ โดยค่า k ในสมการของฟรอยด์ลิค แสดงให้ทราบถึงความสามารถเริ่มต้นของการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ หากค่า k มีค่าสูงมาก ๆ แสดงให้ทราบว่า การดูดซับที่ผิวของสารตัวถูกดูดซับมีสูง (X/m มีค่าสูง) ส่วนค่า $1/n$ แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ (strength of adsorption) ซึ่งจากกราฟสามารถหาได้เท่ากับ 0.4317 แสดงให้ทราบว่าสภาพของการดูดซับของสารตัวถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ C และ แสดงให้ทราบถึงพันธะในการดูดซับมีความแข็งแรงด้วย อย่างไรก็ตามสมการของฟรอยด์ลิค ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับทุก ๆ ค่าของ C ที่ใช้ในการทดลอง นั่นคือเมื่อค่า C เพิ่มขึ้น ค่า X/m ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ค่า X/m ก็จะเริ่มมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่า C จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า X/m มีค่าเกือบคงที่ ทำให้ไม่สามารถใช้สมการของฟรอยด์ลิคใช้ทำนายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นได้อีกต่อไป

4.2.5.3 การศึกษาการปลดปล่อยโลหะหนักสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาการปลดปล่อยโลหะหนักสังเคราะห์ ได้แก่ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์จากมะขามขี้เ็นราและถ่านกัมมันต์เกรดการค้า โดยใช้สภาวะของสารตัวกลางที่ใช้ชะล้างที่มีสภาพเป็นกรดพีเอชเท่ากับ 4 (ปรับพีเอชโดยใช้ HNO_3) มีสภาพเป็นด่างพีเอชเท่ากับ 10 (ปรับพีเอชโดยใช้ NaOH) และมีสภาพเป็นกลาง (H_2O) โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักเท่ากันคือ 20 mg/L และใช้น้ำหนักถ่านกัมมันต์เท่ากันคือ 5 กรัม ภายหลังจากการเขย่าและแช่ทิ้งไว้นาน 3 ชั่วโมง จึงทำการกรองแยกถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับโลหะหนักออกจากสารละลาย จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในสารละลายที่กรองได้ ไม่พบปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดหลงเหลืออยู่ในสารละลายเลย แสดงว่าปริมาณโลหะทั้งหมดสามารถดูดซับได้บนถ่านกัมมันต์ จากนั้นเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักไปทำการชะล้างด้วยสารตัวกลางที่มีสภาพพีเอชต่าง ๆ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยการเขย่าและปล่อยแช่ทิ้งไว้นาน 6 ชั่วโมง ภายหลังจากกรองแยกถ่านกัมมันต์ออกไป สารละลายที่ได้เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในแต่ละการทดลอง ผลที่ได้เป็นดังดังนี้

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในสารละลายที่มีสภาพพีเอชต่าง ๆ ที่ใช้ในการแช่ถ่านกัมมันต์จากมะขามขี้เ็นรา นาน 6 ชั่วโมง

โลหะหนักที่ตรวจวัด	ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบ (mg/L) ในถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก		
	พีเอชเป็นกรด	พีเอชเป็นด่าง	พีเอชเป็นกลาง
Fe	2	ไม่พบ	ไม่พบ
Mn	4	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	6	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	1	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในสารละลายที่มีสภาพพีเอชต่าง ๆ ที่ใช้ในการแช่ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า นาน 6 ชั่วโมง

โลหะหนักที่ตรวจวัด	ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบ (mg/L) ในถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก		
	พีเอชเป็นกรด	พีเอชเป็นด่าง	พีเอชเป็นกลาง
Fe	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Mn	2	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	4	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

4.3 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

4.3.1 ผลการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เตาเผาขนาด 200 ลิตร

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม โดยการเผาเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านมะขามนั้นทำได้โดยใช้เตาเผาดังรูปที่ 4.17 โดยทำการศึกษาถึงการควบคุมอุณหภูมิในการเผาให้คงที่ ซึ่งจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเผากระตุ้นถ่านมะขามให้เป็นถ่านกัมมันต์นั้นใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม 2 ชั่วโมง โดยทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 600 °C ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.3.1.1 ขั้นตอนของการเตรียมถ่านจากมะขามขึ้นรา

1. ตัดไม้พินแห้งยาวขนาดประมาณ 15-20 เซนติเมตร วางรองเป็นหมอน 3 ท่อน วางขวางด้านล่างของตัวเตาโดยให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน เพื่อให้มีการไหลเวียนของลมร้อนภายในเตา (ท่อนที่อยู่บริเวณหน้าเตาควรจะมีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากจะโดนความร้อนมากกว่าส่วนอื่น)

2. วางแผ่นตะแกรงเหล็กหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร บนท่อนพินที่วางขวางไว้ด้านล่างของตัวเตา

3. ชั่งมะขามหวานขึ้นร่าหนักประมาณ 10 กิโลกรัม จากนั้นเทลงไปกองบนในแผ่นตะแกรงเหล็กหนานั้นแล้วเกลี่ยให้กระจายเป็นชั้น โดยพยายามให้ฝักมะขามที่จะเผายู่อบริเวณกลางเตา ปิดฝาถึงเตาเผาแล้วกลับด้วยทราย

4. เริ่มจุดไฟหน้าเตาที่ช่องใส่ไฟ (เตาน้อง) เมื่อจุดไฟติดแล้ว ให้เติมพินเชื้อเพลิงเข้าไปอีกทีละน้อยโดยความร้อนกระจายเข้าไปในเตาเผาเพื่อไล่อากาศเย็นและความชื้นที่อยู่ในเตา โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลานานประมาณ 2-4 ชั่วโมง

5. เมื่อไล่ความชื้นภายในเตาแล้วอุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นจนทำให้ฝักมะขามและเนื้อไม้ภายในเตารักษาอุณหภูมิภายในได้เอง ซึ่งจะมีควันที่ออกจากปล่องด้านหลังพุ่งแรงกว่าปกติและมีควันสีขาวขุ่น (ควันบ้ำ) ในช่วงนี้อุณหภูมิปากปล่องประมาณ 80-85 °C ให้หยุดใส่เชื้อเพลิงและปิดหน้าเตาลงครึ่งหนึ่ง

6. จากนั้นประมาณ 1 ชั่วโมง หรือสังเกตเห็นควันที่ปากปล่องเป็นสีขาวอมเหลืองและมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ให้หรีหน้าเตาลงอีก (ช่วงนี้สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้และหยุดเก็บเมื่อน้ำที่หยดมามีลักษณะเป็นยางเหนียวสีดำ) เมื่ออุณหภูมิปากปล่องอยู่ที่ 150°C อุณหภูมิในเตาจะอยู่ที่ประมาณ 400°C

7. การทำถ่านให้บริสุทธิ์ โดยการทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อสังเกตเห็นควันที่ปากปล่องกลายเป็นสีฟ้าให้เริ่มเปิดหน้าเตา เพื่อให้อากาศร้อนเข้าไปไล่สารตกค้างหรือแก๊สที่ค้างในเตา โดยเปิดหน้าเตาออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1 ใน 3 ของพื้นที่หน้าเตาทั้งหมด

8. เมื่อควันมีสีฟ้าใส ทำการตรวจสอบว่าวัสดุทั้งหมดภายในเตากลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้วหรือยัง โดยวางกระเบื้องที่ปากปล่องไว้ 1 นาที เพื่อทดสอบดูความชื้นในเตา หากจับกระเบื้องแล้วยังเปียกอยู่แสดงว่ายังปิดเตาไม่ได้ แต่ถ้าหมาด ๆ ให้ปิดเตาได้เลย แสดงว่าวัสดุทั้งหมดกลายเป็นถ่านแล้วจึงปิดหน้าเตาให้สนิท โดยเอาทรายหรือดินทรายผสมน้ำปิดรอยต่อให้สนิทเพื่อไม่ให้อากาศเข้า

9. จากนั้นให้เอาผ้าห่อทรายเป็นลูกประคบจุ่มน้ำให้เปียกไปอุดปากปล่องควันไม่ให้อากาศเข้าในเตาได้เด็ดขาด จากนั้นรอนเตาเย็นจึงเปิดเอาถ่านออกมาใช้ได้ (ห้ามนำน้ำไปรดเตา)

4.3.1.2 ขั้นตอนของการกระตุ้นด้วยความร้อนเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์

1. ตัดไม้พินแห้งยาวขนาดประมาณ 15-20 เซนติเมตร วางรองเป็นหมอน 3 ท่อน วางขวางด้านล่างของตัวเตาโดยให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน เพื่อให้มีการไหลเวียนของลมร้อนภายในเตา (ท่อนที่อยู่บริเวณหน้าเตาควรจะมีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากจะโดนความร้อนมากกว่าส่วนอื่น)

2. วางแผ่นตะแกรงเหล็กที่หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร บนท่อนพินที่วางขวางไว้ด้านล่างของตัวเตา

3. นำถ่านมะขามประมาณ 10 กิโลกรัม (ที่ผ่านการแช่กระตุ้นด้วยสารกระตุ้น แล้วตากทิ้งไว้ให้แห้งแล้ว) เทลงไปกองบนในแผ่นตะแกรงเหล็กหนานั้นแล้วเกลี่ยให้กระจายเป็นชั้น โดยพยายามให้ฝักมะขามที่จะเผาอยู่บริเวณหน้าเตา ปิดฝาถังเตาเผาแล้วกลบด้วยทราย

4. เริ่มจุดไฟหน้าเตาที่ช่องใส่ไฟ (เตาน้อง) เมื่อไฟติดแล้ว ให้เติมพินเชื้อเพลิงเข้าไปทีละน้อยโดยความร้อนกระจายเข้าไปในเตาเผาเพื่อไล่อากาศเย็นและความชื้นในเตา ใช้เวลา 2-4 ชั่วโมง

5. เมื่อไล่ความชื้นภายในเตาแล้วอุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นจนทำให้ฝักมะขามและเนื้อไม้ภายในเตารักษาอุณหภูมิภายในได้เอง (สังเกตจากควันที่ออกจากปล่องด้านหลังจะพุ่งแรงกว่าปกติ มีควันขาว เกิดขึ้น) ช่วงนี้ให้หยุดใส่เชื้อเพลิงและให้หรีหน้าเตาลงครึ่งหนึ่ง

6. เมื่อสังเกตเห็นควันที่ปากปล่องเป็นสีขาวอมเหลืองและมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ทำการกระตุ้นให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (ทำ super heat) โดยการเปิดหน้าเตา ใส่เชื้อพินเชื้อเพลิง และใช้โบร์เวอร์เป่าลมร้อนจากภายนอกเข้าไปยังเตาน้องเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาเผาสูงขึ้น อ่านอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลที่ปากปล่องและภายในเตา จนได้ใกล้เคียงอุณหภูมิที่ต้องการ ($\pm 50^{\circ}\text{C}$) จึงหยุด

ใส่เชื้อเพลิงและปิดหน้าต่างเตาครั้งหนึ่ง ทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้คงที่กับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยทำการหรี่หน้าต่างจนได้อุณหภูมิภายในเตาที่ต้องการ (อ่านจากเทอร์โมคัปเบิลทุก 15 นาที)

7. เมื่อเวลาผ่านไปตามเวลาที่กำหนด และสีของควันมีสีฟ้าใส ให้ปิดหน้าต่างให้สนิท เอาทรายหรือดินทรายผสมน้ำปิดรอยต่อให้สนิทเพื่อไม่ให้อากาศเข้า เอาผ้าห่อทรายเป็นลูกประคบจุ่มน้ำ ให้เปียกไปอุดปากปล่องควันไม่ให้อากาศเข้าในเตาได้เด็ดขาด

8. จากนั้นรอนเตาเย็นจึงเปิดเอาถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ออกมา



(ก) ลักษณะเตาและการเผา



(ข) ลักษณะของถ่านที่ได้จากการเผา

รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะของเตาเผาถ่านที่ใช้ในการศึกษาและลักษณะของถ่านที่ได้จากการเผา

4.3.2 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม

จากการศึกษาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม โดยใช้เตาเผาถ่านที่ประดิษฐ์ขึ้นจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร เมื่อคำนวณต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระงับขึ้นราตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ สามารถคำนวณต้นทุนเฉลี่ยได้ดังนี้

ตารางที่ 4.23 แสดงต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระงับขึ้นราปริมาณ 10 kg

ปัจจัยการผลิต	ต้นทุนผันแปรของการผลิตถ่านกัมมันต์ (บาท)
1. ค่าน้ำ	100
2. ค่าสารเคมี	450
3. ค่าฟืนเชื้อเพลิง	300
4. ค่าแรง	600
รวม	1,450

หมายเหตุ : ข้อมูลการคำนวณราคาต้นทุนการผลิตสินค้า ณ เดือน ตุลาคม 2555 ราคาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามการขึ้น-ลงของราคาของปัจจัยในการผลิต ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา

ดังนั้นจากการคำนวณต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นราพบว่า สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นราจำนวน 10 กิโลกรัม ใช้ต้นทุนทั้งหมดประมาณ 1,450 บาท จึงใช้ต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัมละ 145 บาท ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากฝักระยะขามที่ขึ้นรามาเพิ่มมูลค่าโดยการนำไปเผาให้เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเมื่อกลุ่มเกษตรกรได้นำไปใช้ผลิตจริงก็จะช่วยเพิ่มรายได้ อีกทางหนึ่ง

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์และสมบัติแบบประมาณของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

จากการตรวจสอบคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 624 mg/L และจากการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (proximate analysis) นี้ ทำโดยการหาปริมาณความชื้น การหาปริมาณเถ้า และความหนาแน่นปรากฏ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว

สมบัติที่วิเคราะห์	ถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก	
	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง	มะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง
ปริมาณความชื้น (%)	7.54	6.81
ปริมาณเถ้า (%)	6.58	7.31
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm ³)	0.4528	0.4542

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.8-7.5% มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 6.5-7.3% และมีความหนาแน่นปรากฏประมาณ 0.42 g/cm³ ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์ให้มีความชื้นได้ไม่เกิน 8% มีความหนาแน่นปรากฏไม่น้อยกว่า 0.20 g/cm³ ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยวิธีการตามกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของการวิจัยนี้ มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการใช้เป็นสารกรองน้ำ

จากการเตรียมถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนที่ผ่านมา ได้ศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารกรองน้ำ โดยการใช้บรรจุในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็กโดยใช้อัตราเร็วในการไหลผ่านสารกรองเท่ากับ 2 ลิตรต่อ นาที ซึ่งจากการศึกษาเพื่อใช้เป็นสารกรองน้ำ ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.4.1 ผลการศึกษการบำบัดความกระด้างของน้ำ

ในการศึกษานี้ทำโดยการนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระยะขามหวานและฝักระยะขามเปรี้ยวไปใช้ในการบำบัดความกระด้างของน้ำเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าอีก 3 ชนิด โดยความกระด้างก่อนการบำบัดและหลังจากการบำบัดเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.25 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (บ้านนางัว หมู่ 3, 7 ก.ย 55)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำก่อน บำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ หลังบำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)
ถ่านจากฝักมะขามหวาน	353.33	68.37
ถ่านจากฝักมะขามเปรี้ยว	353.33	73.88
ถ่านเกรดการค้า A	353.33	71.56
ถ่านเกรดการค้า B	353.33	64.87
ถ่านเกรดการค้า C	353.33	58.45

ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำผิวดินจากแหล่งน้ำผิวดินโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (แหล่งน้ำหนองนารี หมู่ 3, 10 ก.ย 55)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำก่อน บำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ หลังบำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)
ถ่านจากฝักมะขามหวาน	155.76	67.33
ถ่านจากฝักมะขามเปรี้ยว	155.76	65.54
ถ่านเกรดการค้า A	155.76	60.12
ถ่านเกรดการค้า B	155.76	57.43
ถ่านเกรดการค้า C	155.76	46.87

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดความกระด้างของน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (ลำน้ำเข็ก ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์, 15 ก.ย 55)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำก่อน บำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)	ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ หลังบำบัด (as CaCO ₃ , mg/L)
ถ่านจากฝักมะขามหวาน	236	70.23
ถ่านจากฝักมะขามเปรี้ยว	236	72.35
ถ่านเกรดการค้า A	236	68.54
ถ่านเกรดการค้า B	236	62.47
ถ่านเกรดการค้า C	236	58.41

จากการศึกษาการบำบัดความกระด้างของน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นสารวัสดุกรองในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็ก เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. แบ่งระดับความกระด้างของน้ำตามค่าปริมาณความกระด้างทั้งหมด (total hardness as CaCO_3) แบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ น้ำอ่อน (0-75 ppm as CaCO_3) , น้ำกระด้างปานกลาง (75-150 ppm as CaCO_3) , น้ำกระด้าง (150-300 ppm as CaCO_3) และน้ำกระด้างมาก (>300 ppm as CaCO_3) ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระงับขึ้นราสามารถใช้ในการลดความกระด้างของน้ำได้ดี โดยสามารถปรับสภาพของน้ำจากน้ำที่เป็นน้ำกระด้างและน้ำกระด้างมาก ให้เป็นน้ำที่มีความกระด้างอยู่ในระดับน้ำอ่อนได้ภายหลังจากการบำบัดด้วยการกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ซึ่งผลที่ได้นี้ก็ยังมีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระงับและมะขามเปรี้ยวนี้สามารถใช้ในการลดความกระด้างของน้ำได้จากการใช้ประโยชน์เป็นสารวัสดุกรองในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็กเพื่อใช้ในการปรับสภาพน้ำจากแหล่งน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินเพื่อใช้เป็นน้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคได้

4.4.2 ผลการศึกษาการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำ

การศึกษานำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 3 แหล่ง ได้แก่ แหล่งน้ำบาดาล แหล่งน้ำหนองนารี และแหล่งน้ำที่ใช้ในการเกษตร เพื่อเปรียบเทียบการบำบัดโลหะหนักที่สำคัญในแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภค บริโภคได้ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจำนวน 3 ตัวอย่าง ผลที่ได้แสดงดังนี้

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจากแหล่งน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบก่อน การบำบัด (mg/L)				ปริมาณโลหะหนักที่พบภายหลัง การบำบัด (mg/L)			
	Fe	Mn	Pb	Cd	Fe	Mn	Pb	Cd
ถ่านจากฝักระงับหวาน	0.24	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	0.008	0.001	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านจากฝักระงับเปรี้ยว	0.24	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	0.010	0.006	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า A	0.24	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า B	0.24	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า C	0.24	0.15	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจากแหล่งน้ำหนองนารี โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบก่อน การบำบัด (mg/L)				ปริมาณโลหะหนักที่พบภายหลัง การบำบัด (mg/L)			
	Fe	Mn	Pb	Cd	Fe	Mn	Pb	Cd
ถ่านจากฝักระฆาหวาน	0.14	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านจากฝักระฆาเปรี้ยว	0.14	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า A	0.14	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า B	0.14	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า C	0.14	0.12	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 4.30 การเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำจากแหล่งน้ำสำหรับการเกษตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ (ถ่านน้ำแข็ง ต.หนองแม่นา อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบก่อน การบำบัด (mg/L)				ปริมาณโลหะหนักที่พบภายหลัง การบำบัด (mg/L)			
	Fe	Mn	Pb	Cd	Fe	Mn	Pb	Cd
ถ่านจากฝักระฆาหวาน	0.17	0.10	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านจากฝักระฆาเปรี้ยว	0.17	0.10	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า A	0.17	0.10	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า B	0.17	0.10	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ่านเกรดการค้า C	0.17	0.10	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

โดยทั่วไปแล้วคุณลักษณะทางเคมีของโลหะ Fe และ Mn มีเกณฑ์กำหนดสำหรับน้ำที่ใช้ในการบริโภคไม่เกิน 0.5 ppm และ 0.3 mg/L ตามลำดับ ซึ่งมีเกณฑ์อนุโลมสูงสุดไม่เกิน 1.0 ppm และ 0.5 ppm ตามลำดับ สำหรับโลหะ Pb และ Cd ต้องไม่มีเลยในน้ำ แต่มีเกณฑ์อนุโลมสำหรับ Pb ไม่เกิน 0.05 mg/L ดังนั้นจากปริมาณของโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่พบในแหล่งน้ำบาดาล และแหล่งน้ำผิวดิน พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักระฆาขึ้นราของทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว เป็นวัสดุสารกรอง สามารถ

ลดปริมาณโลหะหนักที่พบอยู่ในน้ำดาบาลและแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการศึกษาได้ โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในน้ำได้ดีพอ ๆ กับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการใช้เป็นสารวัสดุกรองน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่เสียหายจากราเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่ขึ้นรา 2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 3) เพื่อพัฒนาถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ และ 4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยและข้อมูลด้านการออกแบบและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ของถ่านกัมมันต์แก่ท้องถิ่น ซึ่งการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่ขึ้นรา ระยะที่ 2 เป็นการศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ และระยะที่ 3 เป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมและศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการใช้เป็นสารกรองน้ำ โดยการทำวิจัยตามระยะต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

5.1 การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่ขึ้นรา

ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามที่ขึ้นราโดยมะขามพันธุ์ประกายทอง พันธุ์ศรีชมพู พันธุ์สีทอง และพันธุ์ขันตี นอกจากนี้ยังทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากมะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดเพชรบูรณ์อีก 1 ชนิด โดยการจัดการวัตถุดิบฝักระยะขามขึ้นร่าก่อนการนำไปเผาเพื่อทำเป็นถ่านทำโดยการนำไปผึ่งแดดไล่ความชื้น 2-3 วัน จากนั้นจึงนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านจากฝักระยะขามขึ้นราโดยใช้เตาเผาภูมิปัญญาชาวบ้านที่ประกอบขึ้นจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการคาร์บอนไนเซชันฝักระยะขามให้กลายเป็นถ่านฝักระยะขาม โดยการใช้เตาเผาที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ คือ การใช้อุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชันที่ 400°C โดยใช้ระยะเวลาในการเผาคือ 4 ชั่วโมง ซึ่งถ่านที่เตรียมจากฝักระยะขามขึ้นราทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวนั้นมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 354 mg/g ซึ่งถึงแม้ว่าจะใช้การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิหรือใช้เวลามากกว่านี้แล้วค่าการดูดซับไอโอดีน (หรือค่าไอโอดีนนัมเบอร์) ที่ตรวจสอบได้ก็มีค่าที่สูงขึ้นอีกไม่มากนัก โดยค่าการดูดซับไอโอดีนที่ตรวจสอบได้นี้จะแสดงให้เห็นโดยคร่าว ๆ ว่าถ่านฝักระยะขามที่เตรียมได้นั้นมีพื้นผิวมากน้อยเพียงใด ซึ่งหากว่ามีพื้นที่ผิวมากก็จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการคาร์บอนไนเซชันฝักระยะขามที่ขึ้นราให้กลายเป็นถ่านฝักระยะขามจึงเลือกใช้ที่สภาวะดังกล่าวข้างต้น จากนั้นจึงนำถ่านฝักระยะขามที่ได้ไปทำการลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบบอลมิลล์แล้วทำการร่อนผ่านร่อนตะแกรง และเลือกใช้ถ่านที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 8- 14 mesh ในการนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนต่อมาเป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผากระตุ้นที่มีผลต่อ

การเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ และได้ศึกษาถึงการใช้สารกระตุ้นโดยการแช่ถ่านทิ้งไว้ในสารเคมีกระตุ้น ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สารละลายซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) เปรียบเทียบกับการใช้เพียงน้ำกลั่น (H_2O) ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ คือ การเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600°C เป็นระยะเวลานาน 1-2 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 605 – 649 mg/g ซึ่งมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ที่กำหนดให้มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 600 mg/g และจากการศึกษาการใช้สารกระตุ้นในการแช่ถ่านที่เตรียมจากฝักระฆาขึ้นรา พบว่าการใช้สารกระตุ้นเป็น H_3PO_4 จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด คือ อยู่ในช่วง 641-655 mg/g ซึ่งมากกว่าการใช้สารกระตุ้นเป็นสารละลาย KOH และสารละลาย ZnCl_2 ตามลำดับ แต่การใช้เพียงน้ำกลั่นเป็นสารกระตุ้นพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วง 625-631 mg/g ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าการใช้สารละลาย KOH และสารละลาย ZnCl_2 ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้สารที่เหมาะสมในการใช้แช่ถ่านที่เตรียมจากฝักระฆาขึ้นรา เพื่อกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์จากการเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นระยะเวลานาน 1-2 ชั่วโมง คือ กรด H_3PO_4 และน้ำกลั่น

5.2 การศึกษาสมบัติทางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระฆาขึ้นรา ได้แก่ การศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา การวิเคราะห์พื้นผิวและรูพรุน การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับฟีนอล การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง การวิเคราะห์สมบัติด้านการดูดซับ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระฆาขึ้นรามีลักษณะพื้นฐานวิทยาเป็นของแข็งสีดำวาว และเมื่อใช้กล้อง SEM ตรวจสอบสภาพพื้นผิวพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก

จากผลการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ผิวและสภาพรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง $851 - 910 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET Theory) มีพื้นที่ผิวต่อกรัมสารตัวอย่างอยู่ในช่วง $6202-6644 \text{ m}^2/\text{g}$ มีปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง $2.23 - 2.31 \text{ cc/g}$ และมีรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนอยู่ในช่วง 50- 53 อังสตรอม ซึ่งจากการสำรวจถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่ใช้เป็นสารกรองน้ำ ซึ่งมีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ $1100 \text{ m}^2/\text{g}$ (BET Theory) ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นี้จึงมีพื้นที่ผิวที่ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

จากการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนหรือค่าไอโอดีนนัมเบอร์พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์อยู่ในช่วง 613-655 mg/g ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ที่กำหนดไว้ว่าให้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600 mg/g แต่จากการสำรวจถ่านกัมมันต์สำหรับใช้เป็นสารกรองน้ำ เกรดการค้าที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปจะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 1000 mg/g ขึ้นไป ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระฆาขึ้นราของการวิจัยนี้ มี

ค่าไอโอดีนัมเบอร์ที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่มีค่าต่ำกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป

จากการศึกษาการดูดซับฟีนอลโดยการเปรียบเทียบปริมาณของความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลืออยู่ในสารละลายภายหลังจากการแช่ทิ้งไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอลที่ใช้ โดยเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 สารละลาย KOH สารละลาย ZnCl_2 และผ่านการกระตุ้นโดยการใช้ น้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว ผลที่ได้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการใช้สารกระตุ้นชนิดต่าง ๆ มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลได้ประมาณ 61-83% โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นฟีนอลที่ถูกดูดซับมากที่สุด รองลงมาได้แก่การกระตุ้นด้วย H_2O , ZnCl_2 และ KOH ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นรา พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นรา โดยศึกษาจากตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ได้จากมะขามหวานพันธุ์ประกายทองและมะขามเปรี้ยวพันธุ์พื้นเมือง ไม่พบปริมาณของโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่หลงเหลือตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เลย

จากการวิเคราะห์หาสมบัติด้านการดูดซับโดยการศึกษาความสามารถในการดูดซับ (adsorption) โลหะคอปเปอร์ ไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณการดูดซับของ Cu^{2+} ต่อกรัมของถ่านกัมมันต์กับความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือจะได้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบชั้นเดียว คือ ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและค่อนข้างคงที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และที่พีเอช 6 มีการดูดซับของ Cu^{2+} มากที่สุด เมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือต่อปริมาณการดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (C_e/Q_e) กับความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่เหลือ (C_e) พบว่ากราฟที่ได้เป็นเส้นตรงตามไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งจากการศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักมะขามขึ้นรา กราฟของแลงเมียร์พล็อตจากการใช้สารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C มีค่า k เท่ากับ 0.391, 0.564, 0.460 และ 0.752 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะคอปเปอร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่าแลงเมียร์พล็อตของ Cu^{2+} บนถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จากสารละลาย Cu^{2+} ที่ pH 3, 4, 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C มีค่า k เท่ากับ 0.390, 0.354, 0.214 และ 0.885 ตามลำดับ โดยค่า k คือค่าคงที่ของแลงเมียร์ที่แสดงถึงอัตราการดูดซับ หากค่าคงที่ของแลงเมียร์มีค่าสูงจะทำให้มีปริมาณการดูดซับสูงขึ้น

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ ผลที่ได้จากแลงเมียร์พล็อตของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักมะขามขึ้นราที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าความชันเท่ากับ 48.47 ซึ่งคือค่าของ $1/N_m$ เมื่อ N_m คือ จำนวนโมเลกุลสูงสุดของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ 1 กรัม ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_m ได้เท่ากับ 0.0206 ที่สามารถลองไปหาค่าพื้นที่จำเพาะของ

ตัวดูดซับ (A) ได้จากสมการ $A = N_m N_0 \delta \times 10^{-20} \text{ m}^2$ เมื่อ N_0 คือ ค่าคงที่ของอวกาศ และ δ คือ พื้นที่ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับมีหน่วยเป็นอังสตรอม ถ้าหากกำหนด ให้ δ ของกรดอะซิติกมีค่า 21 อังสตรอม ดังนั้นจะคำนวณหาพื้นที่จำเพาะของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษาได้เท่ากับ 2608 m^2 จากการศึกษาฟรอนด์ลิกพล็อตของการดูดซับกรดอะซิติกบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักมะขามขึ้นราโดยการพล็อตกราฟระหว่าง $\log C_e$ และ $\log Q_e$ ที่อุณหภูมิ 30°C กราฟที่ได้สามารถหาค่าคงที่ k ได้เท่ากับ $\log k = 1.5591$ โดยค่า k ในสมการของฟรอนด์ลิกแสดงให้เห็นถึงความสามารถเริ่มต้นของการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ หากค่า k มีค่าสูงมาก ๆ แสดงให้ทราบว่า การดูดซับที่ผิวของสารตัวถูกดูดซับมีสูง (X/m มีค่าสูง) ส่วนค่า $1/n$ แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ (strength of adsorption) ซึ่งจากกราฟสามารถหาได้เท่ากับ 0.4317 แสดงให้ทราบว่าสภาพของการดูดซับของสารตัวถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ C และแสดงให้ทราบถึงพันธะในการดูดซับมีความแข็งแรงด้วย อย่างไรก็ตามสมการของฟรอนด์ลิก ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับทุก ๆ ค่าของ C ที่ใช้ในการทดลอง นั่นคือเมื่อค่า C เพิ่มขึ้น ค่า X/m ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อปริมาณของตัวถูกดูดซับที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเริ่มเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว ค่า X/m ก็จะเริ่มมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่า C 0 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า X/m จะมีค่าเกือบคงที่ ทำให้ไม่สามารถใช้สมการของฟรอนด์ลิกใช้ทำนายกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นได้อีกต่อไป

จากการศึกษาการปลดปล่อยโลหะหนักสังเคราะห์ ได้แก่ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์จากมะขามขึ้นราและถ่านกัมมันต์เกรดการค้า โดยการใช้สภาวะของสารตัวกลางที่ใช้ชะล้างที่มีสภาพเป็นกรดพีเอชเท่ากับ 4, 10 และมีสภาพเป็นกลาง โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักเท่ากันคือ 20 mg/L และใช้น้ำหนักถ่านกัมมันต์เท่ากันคือ 5 กรัม ภายหลังจากการเขย่าและแช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง เมื่อตรวจหาปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในสารละลายที่กรองได้ ไม่พบปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดหลงเหลืออยู่ในสารละลายเลย ซึ่งแสดงได้ว่าถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 5 กรัม สามารถดูดซับโลหะหนักสังเคราะห์ในปริมาณ 20 mg/L ได้ทั้งหมด จากนั้นเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักไปทำการชะล้างด้วยสารตัวกลางที่มีสภาพพีเอชต่าง ๆ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยการเขย่าและปล่อยแช่ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ภายหลังจากกรองแยกถ่านกัมมันต์ออกไป สารละลายที่ได้เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักที่พบในแต่ละการทดลอง ผลที่ได้พบว่าในสภาพการดูดซับไอออนโลหะหนักที่ถูกรบกวนด้วยสารละลายกรดจะทำให้มีไอออนโลหะหนักหลุดออกมาบางส่วนเล็กน้อย ในขณะที่การรบกวนด้วยสารละลายเบส และที่สภาวะเป็นกลาง ไม่มีไอออนของโลหะหลุดออกมาเลย

5.3 การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

การศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม โดยการเผาเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านมะขามนั้นทำโดยใช้เตาเผาที่ประดิษฐ์ขึ้นจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ดังรูปที่ 4.17 โดยการควบคุม

อุณหภูมิในการเผาไหม้ ซึ่งจากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการเผากระตุ้นถ่านมะขามให้เป็นถ่านกัมมันต์นั้น ใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 600°C จากการตรวจสอบคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่ามีค่าไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 624 mg/L จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และความหนาแน่นปรากฏของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ พบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.8-7.5% มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 6.5-7.3% และมีความหนาแน่นปรากฏประมาณ 0.42 g/cm^3 ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์ให้มีค่าความชื้นได้ไม่เกิน 8% มีความหนาแน่นปรากฏไม่น้อยกว่า 0.20 g/cm^3 ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยวิธีการตามกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ของการวิจัยนี้ มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เมื่อทำการคำนวณต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นราที่เตรียมโดยการแช่ถ่านที่เตรียมได้จากฝักระยะขามด้วยน้ำกลั่นทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำไปตากแดดทิ้งไว้ 1 วัน แล้วทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ อุณหภูมิประมาณ 600°C นานประมาณ 2 ชั่วโมง พบว่าการผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักระยะขามขึ้นราจำนวน 10 กิโลกรัม ใช้ต้นทุนทั้งหมดประมาณ 1,450 บาท จึงมีต้นทุนในการผลิตต่อกิโลกรัมละ 145 บาท ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากฝักระยะขามที่ขึ้นรา มาเพิ่มมูลค่าโดยการนำไปเผาให้เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเมื่อกลุ่มเกษตรกรได้นำไปใช้ผลิตจริงก็จะช่วยเพิ่มรายได้ อีกทางหนึ่ง

5.4 การศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ในการใช้เป็นสารกรองน้ำ

จากการศึกษาการบำบัดความกระด้างของน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นสารวัสดุกรองในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็ก เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. แบ่งระดับความกระด้างของน้ำตามค่าปริมาณความกระด้างทั้งหมด (total hardness as CaCO_3) แบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ น้ำอ่อน ($0-75\text{ ppm as CaCO}_3$) , น้ำกระด้างปานกลาง ($75-150\text{ ppm as CaCO}_3$), น้ำกระด้าง ($150-300\text{ ppm as CaCO}_3$) และน้ำกระด้างมาก ($>300\text{ ppm as CaCO}_3$) ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระยะขามขึ้นราสามารถใช้ในการลดความกระด้างของน้ำได้ดี โดยสามารถปรับสภาพของน้ำจากน้ำที่เป็นน้ำกระด้างและน้ำกระด้างมาก ให้เป็นน้ำที่มีความกระด้างอยู่ในระดับน้ำอ่อนได้ภายหลังจากการบำบัดด้วยการกรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ซึ่งผลที่ได้นี้ก็มียลักษณะเช่นเดียวกับการใช้ถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากฝักระยะขามหวานและมะขามเปรี้ยวนี้สามารถใช้ในการลดความกระด้างของน้ำได้ จากการใช้ประโยชน์เป็นสารวัสดุกรองในเครื่องกรองน้ำขนาดเล็กเพื่อใช้ในการปรับสภาพน้ำจากแหล่งน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินเพื่อใช้เป็นน้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคได้

จากการศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 3 แหล่ง ได้แก่ แหล่งน้ำบาดาล แหล่งน้ำหนองนารี และแหล่งน้ำที่ใช้ในการเกษตร เพื่อเปรียบเทียบการบำบัดโลหะหนักที่สำคัญในแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภค บริโภคได้ ซึ่ง

โดยทั่วไปคุณลักษณะทางเคมีของโลหะ Fe และ Mn มีเกณฑ์กำหนดสำหรับน้ำที่ใช้ในการบริโภคไม่เกิน 0.5 ppm และ 0.3 mg/L ตามลำดับ ซึ่งมีเกณฑ์อนุโลมสูงสุดไม่เกิน 1.0 ppm และ 0.5 ppm ตามลำดับ สำหรับโลหะ Pb และ Cd ต้องไม่มีเลยในน้ำ แต่มีเกณฑ์อนุโลมสำหรับ Pb ไม่เกิน 0.05 mg/L ดังนั้นจากปริมาณของโลหะ Fe, Mn, Pb และ Cd ที่พบในแหล่งน้ำบาดาล และแหล่งน้ำผิวดิน พบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฝักมะขามจืดน้ำจืดของทั้งมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว เป็นวัสดุสารกรอง สามารถลดปริมาณโลหะหนักที่พบอยู่ในน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการศึกษาได้ โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในน้ำได้ดีพอ ๆ กับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการใช้เป็นสารวัสดุกรองน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำ

เอกสารอ้างอิง

1. ณรงค์ศักดิ์ อินถานนท์, มารุต วิชา และอนุสรณ์ ดิษฐสุวรรณ. (2546). การศึกษาสมบัติและสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. นครสวรรค์
2. นิตยา ซาอูน. (2549). การดูดซับสีย้อมรีแอทีฟในสารละลายด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก
3. นภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2545). การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา
4. เบญจพร ศรีสุวรรณ และจินตนา สนามชัยสกุล. (2552). รายงานการวิจัยเรื่อง ศึกษาช่วงเวลาของการติดเชื้อราและผลการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา สมุนไพรหมัก และน้ำส้มควันไม้ในการยับยั้งเชื้อราจากมะขามหวาน (พันธุ์ประกายทอง) ในห้องปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์
5. ปรีนทร เต็มญารศิลป์. (2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
6. พรชัยกร ใจประดับเพชร. (2549). การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
7. พลัฏฐ์ โสภณากิจ โกศล. (2544). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ
8. วรี จำลองราษฎร์. (2539). การบำบัดสารอินทรีย์และฟีนอลด้วยระบบเอสบีอาร์-ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ
9. วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2553). ทามารีนกัมจากเมล็ดมะขาม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 20 ฉบับที่ 1, 173-180.
10. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. (2547). ถ่านกัมมันต์. มอก. 900-2547.

11. Eremina, A.O., Golovina, V.V., Ugal, M.Yu. and Ruckovskii A.V. (2003). **Activated Carbons From Waste Wood in Wastewater Treatment To Remove Surfactants.** *Russian Journal of Applid Chemistry.* 77 (5) : 775-778.
12. Zhang, H., Yang, Y., 张阳, Yang, L., (2010). **Preparation of activated carbon from sawdust by zinc chloride Activation.** *Journal Absorption.* 16 : 161-166.
13. Mitchell, M. J., Wayne, E. M., and Christopher, A. T. (1998). **Agricultural By-Products as Granular Activated Carbons for Adsorbing Dissolved Metals and Organics.** *Journal Chemistry Technology Biotechnology.* 71: 131-140.
14. Raymond, D. L. (1999). **Water Quality & Treatment.** McGraw Hill Company. USA
15. Ponc, V., Knorr, Z. and Cerny, S. (1974). **Adsorption on Solid.** Butter worths. London
16. Ruthern, D. M. (1984). **Principal of Adsorption & Adsorption Process.** John Wiley&Sons. New York

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในกั้นกรองบุรี เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงานและใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

2.2. ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิดและชั้นคุณภาพ

3.1. ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

3.1.1. ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.1.2. ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็นสองชั้นคุณภาพคือ

3.1.2.1. ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.1.2.2. ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.1.3. ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.1.4. ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1. ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2. ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3. ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผง ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่ง ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

การทดสอบให้ทำการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก 1

ตารางที่ ผก 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

5.2.2 ชนิดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก 2

ตารางที่ ผก 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	1000	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเซนติเมตร	0.20		AWWA B604
4	ความแข็ง (Abrasion resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70		Ro-Tap Abrasion test

5.2.3. ชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก 3

ตารางที่ ผก 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเซนติเมตร	0.20	
4	ความแข็ง (Abrasion resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70	AWWA B604 Ro-Tap Abrasion test

5.2.4. ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก 4

ตารางที่ ผก 4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8	

6. การบรรจุ

- 6.1. ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท
 - 6.2. น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะที่บรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1. ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้อย่างเห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน
- (2) ชนิด และชั้นคุณภาพ
- (3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม
- (4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ในการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข

9. การทดสอบ

9.1. ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2. หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

9.2. การทดสอบขนาด

9.2.1. ถ่านกัมมันต์ผง

9.2.1.1. เครื่องมือ

(1) แรง 150 ไมโครเมตร

(2) กูชครูซิเบล

9.2.1.2. วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำแรงให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแรงในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแรงแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแรง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลที่คงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

9.2.1.3. วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแรง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแรง ร้อยละ โดยน้ำหนัก} = 1 - \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2. ถ่านกัมมันต์เม็ดและถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

9.2.2.1. เครื่องมือ

(1) แรง 150 ไมโครเมตร

(2) เครื่องเขย่าที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

9.2.2.2. วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแรง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแรงทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งแล้วคำนวณส่วนที่ค้างบนแรงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

9.3 น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุแล้วเทตัวอย่างออกซึ่งภาชนะเปล่าแล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน (ข้อ 8)

1. รุ่นในที่นี้ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดและชั้นคุณภาพเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

2.1.1. ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ผข 1

2.1.2. ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ผข 1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ขนาดรุ่นหน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่างหน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26 ถึง 50	4
51 ถึง 100	5
101 ถึง 300	6
301 ถึง 500	7
501 ถึง 800	8
801 ถึง 1000	9
เกิน 1001	10

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

2.2.1. ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ ผข 2

2.2.2. จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ผข. 2 จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามที่กำหนด

ตารางที่ ผข 2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

ขนาดรุ่นหน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่างหน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 280	2	0
281 ถึง 500	8	1
เกิน 500	13	2

2.3. การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

2.3.1. ให้ชักตัวอย่างจากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายและฉลากแล้วมาภาชนะบรรจุเท่า ๆ กันให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1 500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์อีก 2 ส่วนที่เหลือให้ผู้เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

2.3.2. ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4 และข้อ 5 ทุกรายการ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต้องเป็นไปตามข้อ 2.1.2., ข้อ 2.2.2. และข้อ 2.3.2. ทุกข้อจึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ

“การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์”

สอดคล้องกับ มาตรฐานที่ 1 ด้านคุณภาพบัณฑิต, มาตรฐานที่ 3 ด้านการบริการวิชาการ

ผู้รับผิดชอบ ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี โปรแกรมสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลักษณะโครงการ อบรมระยะสั้น

หลักการและเหตุผล

จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมะขามเป็นพืชเศรษฐกิจ โดยมีพื้นที่ในการปลูกมะขามที่มากที่สุดในประเทศ เนื่องจากสภาพดินและสภาพอากาศที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก แต่ปัญหาของการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามที่ปลูกได้คือ การเกิดเชื้อราภายในฝักของมะขาม และแมลงที่ทำลายฝักมะขาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดเชื้อราในฝักมะขาม ซึ่งมักจะเกิดขึ้นหากมีฝนตกหนักติดต่อกันในช่วงก่อนการเก็บผลผลิตมะขาม ทำให้เกษตรกรชาวสวนมะขามต้องสูญเสียรายได้และอาจเกิดการขาดทุนจากการเพาะปลูก ในปัจจุบันผลผลิตของฝักมะขามที่ขึ้นราเหล่านั้นเกษตรกรจะทำการตัดทิ้งโดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อ ทำให้การลงทุนในการปลูกมะขามนั้นสูญเสียผลผลิตของการเพาะปลูกไปโดยไร้ค่า ดังนั้นการนำฝักมะขามที่ขึ้นราเหล่านั้นมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เช่น การใช้เป็นสารดูดซับในระบบน้ำกรอง การใช้ในการดูดซับโลหะหนัก ใช้ในระบบฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศ หน้ากากแก๊ส หรือใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ก็จะช่วยให้เกิดมูลค่าเพิ่มให้กับฝักมะขามที่ขึ้นราเหล่านั้น เพื่อลดความสูญเสียของการปลูกมะขามแล้วผลผลิตเกิดการขึ้นราไม่สามารถขายได้ จึงเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาในระยะสั้นของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะขามได้อีกทางหนึ่ง

โปรแกรมสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านการผลิตบัณฑิตสาขาวิชาเคมี ที่มีความรู้และทักษะทางด้านเคมี รวมทั้งด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอาชีพ ให้กับตลาดแรงงานของประเทศทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงเป็นหน่วยงานที่พร้อมจะให้บริการวิชาการ ทั้งในด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ให้กับท้องถิ่น เพื่อจะทำให้เกิดการพัฒนาท้องถิ่น ดังนั้นจึงจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ เพื่อที่จะถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการทำโครงการวิจัยเรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ให้กับกลุ่มเกษตรกร เจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบล วิสาหกิจชุมชน นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมได้รับความรู้และทักษะเกี่ยวกับการทำเตาเผาถ่าน การเผาถ่าน และการเก็บน้ำส้มควันไม้

2. เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมได้นำความรู้ไปใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และสามารถประกอบอาชีพเสริมหรืออาชีพอิสระต่อไป
3. เพื่อเป็นการบูรณาการผลงานวิจัยกับการบริการทางวิชาการต่อสังคม และการเรียนการสอน ตลอดจนสานต่อแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

เป้าหมาย

ก. เชิงปริมาณ

กลุ่มเกษตรกร เจ้าหน้าที่การบริหารส่วนตำบล/ท้องถิ่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ผู้ที่สนใจทั่วไป นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา หมู่เรียน 5413071291 และหมู่เรียน 5613071291 และนักศึกษาสาขาเคมี หมู่เรียน 5311020021 และหมู่เรียน 5411020021 รวมทั้งสิ้นจำนวน 30 คน

ข. เชิงคุณภาพ

ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้ ความเข้าใจ และทักษะ ในการทำเตาเผาถ่านอย่างง่าย การผลิตถ่าน การผลิตถ่านกัมมันต์ และการใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ ที่สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน สร้างอาชีพเสริม หรืออาชีพอิสระ และนำไปใช้ประโยชน์ในการ พัฒนาองค์กรและท้องถิ่น หรือในด้านอื่น ๆ อย่างเหมาะสม

ระยะเวลา

19-20 มีนาคม พ.ศ. 2556

สถานที่ดำเนินการ

ณ อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

วิทยากร

1. นายพยัคฆ์ จวนตรง หัวหน้าศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลทุ่งสมอ
ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์
- วิทยากรภาคบรรยายและวิทยากรประจำกลุ่มปฏิบัติการ
2. ดร. ปิยรัตน์ มูลศรี อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- วิทยากรภาคบรรยายและวิทยากรประจำกลุ่มปฏิบัติการ
3. อาจารย์วิไลพร ปองเพียร อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- วิทยากรภาคบรรยายและวิทยากรประจำกลุ่มปฏิบัติการ

4. อาจารย์กฤษฎิญา มูลศรี อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการทั่วไป

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

- วิทยาการภาควรรายและวิทยาการประจำกลุ่มปฏิบัติการ

หมายเหตุ : การอบรมเชิงปฏิบัติการนี้ ในภาคปฏิบัติการได้แบ่งกลุ่มผู้เข้าอบรมออกเป็น 4 กลุ่ม

การดำเนินงาน

กิจกรรม	กลุ่มเป้าหมาย	ระยะเวลาดำเนินงาน	ผลที่ได้
1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดอบรม	คณะทำงาน	มีนาคม 2556	แนวคิดการจัดการฝึกอบรม
2. ประชุมคณะกรรมการโครงการ	คณะทำงาน	มีนาคม 2556	แผนการดำเนินโครงการ
3. เสนอโครงการเพื่อขออนุมัติโครงการ	หัวหน้าโครงการ	มีนาคม 2556	โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
4. ติดต่อวิทยากร	คณะทำงาน	มีนาคม 2556	วิทยากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ
5.ประชาสัมพันธ์โครงการ	กลุ่มเกษตรกร เจ้าหน้าที่ อบต. วิชากิจชุมชน และผู้ที่สนใจทั่วไป	มีนาคม 2556	กลุ่มเป้าหมาย สนใจ และแจ้งรายชื่อเพื่อเข้ารับการฝึกอบรม
6. จัดเตรียมสถานที่และจัดเตรียมเอกสาร	คณะทำงาน	มีนาคม 2556	สถานที่ฝึกอบรม
7. ฝึกอบรม	ผู้เข้ารับการฝึกอบรม จำนวน 30 คน	มีนาคม 2556	ผลสัมฤทธิ์การจัดโครงการฝึกอบรม
8. ติดตามประเมินผลและสรุปโครงการ	คณะทำงาน	เมษายน 2556	รายงานการดำเนินโครงการฝึกอบรม

งบประมาณ

1. ค่าตอบแทน

- 1.1 ค่าตอบแทนวิทยากรประจำกลุ่มภาคปฏิบัติการ = 6,000 บาท
จำนวน 2 คน ๆ ละ x 5 ชั่วโมง ๆ ละ 600 บาท
- 1.2 ค่าตอบแทนวิทยากรภาคบรรยาย
จำนวน 1 คน ๆ ละ x 7.5 ชั่วโมง ๆ ละ 600 บาท = 4,500 บาท
- รวม = 10,500 บาท**

2. ค่าใช้สอย

- 2.1 ค่าอาหารกลางวัน 30 คน 2 มื้อ ๆ ละ 50 บาท = 3,000 บาท
- 2.2 ค่าอาหารว่างและเครื่องดื่ม 30 คน 4 มื้อ ๆ ละ 25 บาท = 3,000 บาท
- 2.3 ค่าจัดทำรายงานประเมินผลการฝึกอบรม 6 เล่ม ๆ ละ 60 บาท = 360 บาท
- รวม = 6,360 บาท**

3. ค่าวัสดุ

- 3.1 วัสดุและอุปกรณ์การฝึกอบรม
(เช่น ถังน้ำมัน ขื้อต่อ ท่อปูน เป็นต้น) = 2,000 บาท
- 3.2 ค่าถ่ายเอกสารประกอบการอบรม 1000 แผ่น ๆ ละ 0.50 บาท = 500 บาท
- รวม = 2,500 บาท**
- รวมทั้งหมด = 19,360 บาท**

หมายเหตุ : ขออภัยเนื่องด้วยทุกรายการ

เครื่องมือวัดความสำเร็จ

- การสังเกตพฤติกรรมและการสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมอบรม
- ใช้แบบสอบถามประเมินผลความรู้ ความพึงพอใจและประโยชน์ที่ได้จากการฝึกอบรม

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้เข้าอบรมมีความรู้และมีทักษะการทำเตาเผาถ่านอย่างง่าย การผลิตถ่าน การเก็บน้ำส้มควันไม้ การผลิตถ่านกัมมันต์ และการแปรรูปถ่านกัมมันต์หรือการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์เพื่อในเชิงพาณิชย์ ที่อาจใช้ประกอบอาชีพอิสระหรืออาชีพเสริมของผู้เข้ารับการอบรมได้
2. ส่งเสริมการนำผลงานวิจัยของอาจารย์ไปใช้ในการบริการทางวิชาการแก่สังคม ท้องถิ่น และพัฒนาการเรียนการสอน ตลอดจนสานต่อแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงโดยการบูรณาการการวิจัยเข้ากับภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

(ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี)
อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี
ผู้เสนอโครงการ

(ดร.เสาวภา ชุมณี)
ประธานสาขาเคมี
ผู้เห็นชอบโครงการ

(ผศ. ดร.ชัยณรงค์ ชันผณี)
คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผู้อนุมัติโครงการ

กำหนดการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง
“การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์”
วันที่ 19-20 มีนาคม 2556

ณ อาคารปฏิบัติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

วันที่ 19 มีนาคม 2556

เวลา 08.30 - 09.00 น	ลงทะเบียนผู้เข้าอบรมและรับเอกสาร
เวลา 09.00 - 10.30 น	วิทยากรบรรยายโดย คุณพยัค จวนตรง เรื่อง : การทำเตาเผาถ่าน การผลิตถ่าน และการเก็บน้ำส้มควันไม้
เวลา 10.30 - 10.45 น	รับประทานอาหารว่าง
เวลา 10.45 - 12.00 น	แบ่งกลุ่มและปฏิบัติการ(ต่อ)โดย คุณพยัค จวนตรงและคณะ ปฏิบัติการ : การทำเตาเผาถ่านอย่างง่าย
เวลา 12.00 - 13.00 น	พักรับประทานอาหารกลางวัน
เวลา 13.00 - 14.45 น	แบ่งกลุ่มและปฏิบัติการ(ต่อ)โดย คุณพยัค จวนตรงและคณะ ปฏิบัติการ : การทำเตาเผาถ่านอย่างง่าย
เวลา 14.45 - 15.00 น	รับประทานอาหารว่าง
เวลา 15.00 - 17.00 น	แบ่งกลุ่มและปฏิบัติการ (ต่อ) โดย คุณพยัค จวนตรงและคณะ ปฏิบัติการ : การเผาถ่านและการเก็บน้ำส้มควันไม้

วันที่ 20 มีนาคม 2556

เวลา 08.30 - 09.00 น	ลงทะเบียนผู้เข้าอบรมและรับเอกสาร
เวลา 09.00 - 10.30 น	วิทยากรบรรยายโดย ดร.ปิยรัตน์ มูลศรี เรื่อง : การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นรา
เวลา 10.30 - 10.45 น	รับประทานอาหารว่าง
เวลา 10.45 - 12.00 น	วิทยากรบรรยายโดย ดร.ปิยรัตน์ มูลศรี เรื่อง : คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามขึ้นรา และการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสารกรองน้ำ
เวลา 12.00 - 13.00 น	พักรับประทานอาหารกลางวัน
เวลา 13.00 - 14.45 น	วิทยากรบรรยายโดย อาจารย์วิไลพร ปองเพียร เรื่อง : การใช้ถ่านกัมมันต์สำหรับการผลิตเครื่องสำอาง
เวลา 14.45 - 15.00 น	รับประทานอาหารว่าง
เวลา 15.00 - 16.30 น	วิทยากรบรรยายโดย อาจารย์กฤษฎิญา มูลศรี เรื่อง : ทฤษฎี 4P สำหรับธุรกิจ SMEs

หมายเหตุ : กำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม



คำสั่งคณะกรรมการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ ๑๔๒/๒๕๕๖

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขาม
ที่เสียหายจากราเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ตามที่ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๕ เรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้
ประโยชน์เชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นการบูรณาการการวิจัยเข้ากับการบริการวิชาการและการจัดการเรียนการสอน
จึงจัดโครงการดังกล่าว ในวันที่ ๑๙-๒๐ มีนาคม ๒๕๕๖ ณ อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ นั้น

เพื่อให้การดำเนินโครงการฯ มีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จึงแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินโครงการฯ ดังรายชื่อต่อไปนี้

๑. คณะกรรมการที่ปรึกษา

- | | |
|---|---------------------|
| ๑.๑ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ ชันผินิก | ประธานกรรมการ |
| ๑.๒ อาจารย์จิตรนันท์ ศรีเจริญ | รองประธานกรรมการ |
| ๑.๓ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อาตุลย์ จงรักษ์ | กรรมการ |
| ๑.๔ อาจารย์อัคคะบทคาน ปาทาน | กรรมการ |
| ๑.๕ นางสาวศิริดา แสงนก | กรรมการและเลขานุการ |

มีหน้าที่ ให้คำปรึกษา แนะนำ คณะกรรมการทุกฝ่าย เพื่อให้ดำเนินงานเป็นไปด้วยความ
เรียบร้อย และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

๒. คณะกรรมการดำเนินงาน

- | | |
|---------------------------------------|---------------------|
| ๒.๑ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี | ประธานกรรมการ |
| ๒.๒ อาจารย์ ดร.เสาวภา ชุมณี | รองประธานกรรมการ |
| ๒.๓ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมนวล พรหมบุญ | กรรมการ |
| ๒.๔ อาจารย์วิไลพร ปองเพียร | กรรมการ |
| ๒.๕ อาจารย์รุจิรา ปิ่นแก้ว | กรรมการ |
| ๒.๖ นางนิภาพร ตาแก้ว | กรรมการและเลขานุการ |

มีหน้าที่ ควบคุมดูแลดำเนินการและจัดการอบรมให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เพื่อให้
ดำเนินงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

๓. คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล/ฝ่ายสวัสดิการ/ฝ่ายการเงิน

๓.๑ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี

ประธานกรรมการ

๓.๒ อาจารย์สนธยา พึ่งศิริ

รองประธานกรรมการ

๓.๓ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชน่วย มังคลารัตนศรี

กรรมการ

๓.๔ นางนิภาพร ตาแก้ว

กรรมการและเลขานุการ

มีหน้าที่ ๑. จัดทำเอกสารการประเมินโครงการ และจัดทำเอกสารเป็นรูปเล่ม

๒. จัดการเรื่องอาหารและจัดอาหารว่างสำหรับวิทยากรและผู้เข้าอบรม

๓. อำนวยความสะดวกในการเบิกจ่ายเงิน เก็บและรวบรวมหลักฐานการใช้จ่ายเงิน

ให้ถูกต้องเรียบร้อยเป็นไปตามระเบียบ

๔. ออกหนังสือ จดบันทึก เก็บรวบรวมข้อมูล และประเมินผล

สั่ง ณ วันที่ ๑๕ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๖



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ ชันฉนิก)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปฏิบัติราชการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์



คำสั่งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ ๑๔๓/๒๕๕๖

เรื่อง แต่งตั้งวิทยากรดำเนินโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขาม
ที่เสียหายจากราเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ตามที่ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๕ เรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากรา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นการบูรณาการการวิจัยเข้ากับการบริการวิชาการและการจัดการเรียนการสอน จึงจัดโครงการดังกล่าว ในวันที่ ๑๙-๒๐ มีนาคม ๒๕๕๖ ณ อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ นั้น

เพื่อให้การดำเนินโครงการฯ มีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงแต่งตั้งวิทยากรดำเนินโครงการฯ ดังรายชื่อต่อไปนี้

๑. อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี
๒. อาจารย์วิไลพร ปองพิย
๓. อาจารย์กฤติกา มุลศรี
๔. นายพยัค จวนตรง

มีหน้าที่ เป็นวิทยากร ให้การอบรมและติดต่อประสานงาน ดูแลจัดหาอุปกรณ์ เอกสารและ รายงาน อำนวยความสะดวกในการอบรมให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

สั่ง ณ วันที่ ๑๕ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๖

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ ชันฉนิก)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปฏิบัติราชการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

รายชื่อผู้เข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการ

“การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากราเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์”

วันที่ 19 มีนาคม 2556

ณ อาคารปฏิบัติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	เวลามา	ลงชื่อ	เวลากลับ	ลงชื่อ	รหัสบัตรประจำตัวประชาชน
1	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670500230083
2	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670400206461
3	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1361400019571
4	น.ส. สุภาวดี วัฒน	08.30	สุภาวดี	16.30	สุภาวดี	1679800149760
5	น.ส. ชวดี วัฒน	08.30	ชวดี	16.30	ชวดี	1670500227945
6	น.ส. ศันสนีย์ นุ่มนึ่งทอง	08.30	ศันสนีย์	16.30	ศันสนีย์	1670500214592
7	น.ส. เกวรินทร์ โพธิ์ทอง	08.30	เกวรินทร์	16.30	เกวรินทร์	1670400133698
8	น.ส. สุภาวดี วัฒน	08.30	สุภาวดี	16.30	สุภาวดี	1679900262941
9	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900275864
10	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670200140403
11	น.ส. ปวีณา คำศิริ	08.30	ปวีณา	16.30	ปวีณา	1670900063940
12	น.ส. อรอน วัฒน	08.30	อรอน	16.30	อรอน	1671000051776
13	น.ส. กนกวรรณ โคตร	08.30	กนกวรรณ	16.30	กนกวรรณ	1679900292157
14	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1689900221624
15	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670400199975
16	นาย นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900193140
17	นาย นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1441500056043
18	นาย นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670400109339
19	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900245225
20	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1409600091077
21	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1160400141725
22	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1670300190656
23	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900224801
24	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900197344
25	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1679900271826
26	น.ส. นิตยา โอธำภักดิ์	08.30	นิตยา	16.30	นิตยา	1601200058651

[illegible]

รายชื่อผู้เข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการ

“การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามที่เสียหายจากราเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์”

วันที่ 20 มีนาคม 2556

ณ อาคารปฏิบัติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ลำดับที่	ชื่อ-สกุล	เวลามา	ลงชื่อ	เวลากลับ	ลงชื่อ	รหัสบัตรประจำตัวประชาชน
1	ท.ส. วชิ อนุชิตสิทธิ์	08.30	วชิ	16.30	วชิ	1670500227945
2	น.ส. สุทธารัตน์ จงดา	08.30	สุทธารัตน์	16.30	สุทธารัตน์	1679400149760
3	น.ส. นันทพร อนุชิตสิทธิ์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1670700206461
4	น.ส. นันทพร เตือน ต้นน	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	167050030083
5	นาง กฤษณา เจริญ	08.30	กฤษณา	16.30	กฤษณา	13 614000 19571
6	นางสาว เกตุศิริ จักอ	08.30	เกตุศิริ	16.30	เกตุศิริ	1670300170666
7	นางสาว อาริษา ไชยวรรณ	08.30	อาริษา	16.30	อาริษา	1670400133698
8	นางสาว ศิรินันท์ บุญโพธิ์ทอง	08.30	ศิรินันท์	16.30	ศิรินันท์	1670800214392
9	นางสาว วิชิตา ต่ายตวง	08.30	วิชิตา	16.30	วิชิตา	110400 141725
10	น.ส. นกัษิณ นันทารัตน์	08.30	นกัษิณ	16.30	นกัษิณ	1409600091077
11	น.ส. วิภาดา นันทารัตน์	08.30	วิภาดา	16.30	วิภาดา	1679900245825
12	นางสาว อรุณ พานิช	08.30	อรุณ	16.30	อรุณ	1671000051776
13	น.ส. ปัสสรา ดัสริ่ง	08.30	ปัสสรา	16.30	ปัสสรา	1670900063940
14	น.ส. มณฑิตา นันทารัตน์	08.30	มณฑิตา	16.30	มณฑิตา	1670200140403
15	น.ส. สุทธารัตน์ นันทารัตน์	08.30	สุทธารัตน์	16.30	สุทธารัตน์	1679900262941
16	น.ส. นกัษิณ นันทารัตน์	08.30	นกัษิณ	16.30	นกัษิณ	1679900245825
17	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1679900224801
18	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1679900497344
19	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1679900221826
20	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1679900293157
21	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1669900221624
22	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1670400109975
23	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	-
24	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	-
25	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	1679900058651
26	น.ส. นันทพร นันทารัตน์	08.30	นันทพร	16.30	นันทพร	3670101263014 6

[illegible]

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างภาพการอบรมบูรณาการงานวิจัยสู่ชุมชน



การบรรยายหลักการสร้างเตาเผาภูมิปัญญา



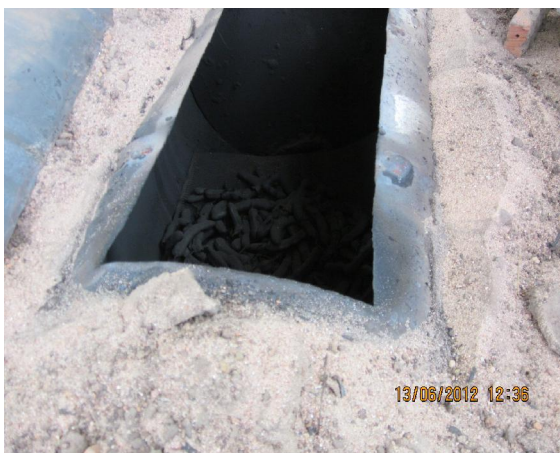
การสาธิตการประกอบเตาและฝึกปฏิบัติ



การสาธิตการประกอบเตาและฝึกปฏิบัติ



การสาธิตการประกอบเตาและฝึกปฏิบัติ



ตัวอย่างถ่านมะขามที่ได้จากการเผาด้วยเตาเผา



ตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากถ่านมะขามที่เตรียมได้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ: ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี

คุณวุฒิ: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตำแหน่ง: อาจารย์ระดับ 7

สถานที่ติดต่อ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ชื่อ: นางสาววิไลพร ปองเพียร

คุณวุฒิ: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ตำแหน่ง: พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ

สถานที่ติดต่อ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ชื่อ: นางกฤษฎิญา มุลศรี

คุณวุฒิ: ศิลปศาสตรบัณฑิต (บริหารธุรกิจ) คณะวิทยาการจัดการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (บริหารธุรกิจ) คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตำแหน่ง: อาจารย์ระดับ 7

สถานที่ติดต่อ: คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์