



รายงานการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของถ่านกัมมันต์จากทางปาล์มน้ำมันสำหรับปรับปรุง
คุณภาพน้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

The Study of Possibility of Groundwater Improvement by
the Activated Carbon Produced from Oil Palm Branches at
Songkhla Lake Basin Watershed Area,
Bangkeiad Singhanakorn Songkhla Province

พลชัย ขาวนวล	Palachai	Khaonuan
นพดล โพชกำเหนิด	Noppadon	Podkumnerd
สุนารี บดีพงษ์	Sunaree	Bordeepong

คณะศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2559

การศึกษาความเป็นไปได้ของถ่านกัมมันต์จากทางปาล์มน้ำมันสำหรับปรับปรุงคุณภาพ
น้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

พลชัย ขาวนวล นพดล โปษากำเหนิด และ สุนารี บดีพงศ์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา และผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ชีวมวลจากทางใบปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบ และนำไปประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำชุมชนโดยประกอบและติดตั้งชุดกรองน้ำต้นแบบในตำบลบางเขียด จำนวน 3 ชุด ถ่านกัมมันต์เตรียมจาก ถ่านทางใบปาล์มน้ำมันของชุมชน แล้วนำมากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก โดยแปรผัน ความเข้มข้น เวลา และอัตราส่วนของถ่านต่อกรด โดยทำการตรวจสอบศักยภาพของถ่านกัมมันต์โดยการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน การดูดซับเมทิลีนบลู และสภาพพื้นผิว ถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่า การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางใบปาล์มน้ำมันที่ดีที่สุดคือ ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่านต่อกรด คือ 1 : 3 โดยค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 739.39 ± 55.97 มิลลิกรัม/กรัม โดยสภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันมีลักษณะถูกทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกในบริเวณด้านข้าง สำหรับบริเวณภาคตัดขวางยังไม่พบการทำปฏิกิริยาที่ชัดเจน ผลการวิเคราะห์การนำไปประยุกต์ใช้ในการกรองน้ำบาดาลในแหล่งน้ำชุมชนบางเขียด พบว่า หลังจากการกรองน้ำแล้ว ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำมีค่าสูงขึ้น อาจเป็นไปได้ว่ามีการปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบอยู่ก่อนแล้ว

คำสำคัญ : ชีวมวลจากทางปาล์มน้ำมัน, ถ่านกัมมันต์, การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

The Study of Possibility of Groundwater Improvement by the Activated Carbon Produced from Oil Palm Branches at Songkhla Lake Basin Watershed Area, Bangkeiad Singhanakorn Songkhla Province

Palachai Khaonuan Noppadon Podkummerd and Sunaree Bordeepong

Abstract

The purpose of this research study was to investigate the quality of groundwater and the production of carbon from the palm leaf oil as a raw material conducted in the area of Singhanakorn District, Songkhla province. Three sets of filtered water were equipped to apply for the community water filtration system. The activated carbon from the palm leaf oil had used to stimulate by the phosphoric acid at the various concentration, time and ratio of carbon and acid. The evaluation of an activated carbon potential was analyzed by the adsorption of an iodine, methylene blue and surfactants. The results showed that the best option for stimulating the active camphor oil was to use 85% phosphoric acid within the activation time of 6 hours and the ratio of carbon to acid at 1: 3. It reported that an iodine absorption at 739.39 ± 55.97 mg/g; meanwhile, the surface condition of the palm oil reactor was characterized by reacting with phosphoric acid within the sides. At the same time, the cross-sectional area was not obviously noticed any reactions. Based on the data analysis, it was applied for the groundwater filtration in Bangkiad community. The findings revealed that the amount of heavy metal in the samples was higher after water filtration. However, it was possibly caused by a contamination in the raw materials.

Keywords: Oil Palm Branches Biomass, Activated Carbon, Groundwater Improvement

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2559 เป็นงานวิจัยประยุกต์ สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาสิ่งแวดล้อมทางการเกษตร

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือวิเคราะห์ สถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ตลอดจนการให้คำปรึกษาเพื่อแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่ช่วยในการวิจัยครั้งที่ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้อกำลังใจ และคำแนะนำเสมอมา คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

พลชัย ขาวนวล
นพดล โพชกำเหนิด
สุนารี บดีพงศ์
กรกฎาคม 2560



สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
3. วัตถุประสงค์ของโครงการ	16
4. ขอบเขตของโครงการ.....	17
5. ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	17
6. วิธีการดำเนินการ	18
7. นิยามศัพท์เฉพาะ	18
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	19
1. วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง.....	19
2. วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3. สถานที่ทำการทดลอง	25
บทที่ 3 ผลการวิจัย	26
1. คุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	26
2. ถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน.....	32
2.1 อุณหภูมิในการแปรสภาพชีวมวลทางปาล์มน้ำมันให้กลายเป็นถ่าน	32
2.2 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์	34
2.3 การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์.....	39
2.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	47
2.5 ลักษณะน้ำบาดาลที่ผ่านการกรองโดยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน.....	52

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปลงและอภิปรายผล	56
1. สรุปลงของการวิจัย	56
2. อภิปรายผลของการวิจัย	56
3. ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	64



สารบัญตาราง

ตาราง 1 มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้.....	12
ตาราง 2 ผลการทดสอบน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากขาน้อยในการบำบัด.....	16
ตาราง 3 แหล่งน้ำพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	26
ตาราง 4 ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าสี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง....	29
ตาราง 5 ความเข้มข้นโลหะหนักจากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง	31
ตาราง 6 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง.....	34
ตาราง 7 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามเวลาในการกระตุ้นโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85	36
ตาราง 8 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามอัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก โดย เงื่อนไขการกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง	38
ตาราง 9 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยความเข้มข้นของ กรดฟอสฟอริก.....	40
ตาราง 10 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยเวลาในการกระตุ้น	42
ตาราง 11 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยอัตรา ส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก.....	45
ตาราง 12 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำระหว่างก่อนกรองและหลังกรอง ด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน.....	54



สารบัญภาพ

ภาพประกอบ 1 ถังกรองทรายเพื่อกำจัดความขุ่น ตะกอนเหล็กและแมงกานีส.....	13
ภาพประกอบ 2 ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....	14
ภาพประกอบ 3 ตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งน้ำตำบลบางเขียด.....	26
ภาพประกอบ 4 แหล่งน้ำ A หมู่ 1 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	27
ภาพประกอบ 5 แหล่งน้ำ B หมู่ 2 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	27
ภาพประกอบ 6 แหล่งน้ำ C หมู่ 3 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	27
ภาพประกอบ 7 แหล่งน้ำ D หมู่ 5 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.....	28
ภาพประกอบ 8 ลักษณะสีของน้ำจากพื้นที่ตำบลบางเขียดทั้ง 4 แหล่ง.....	28
ภาพประกอบ 9 ค่า pH ค่าสี และค่า TDS ของแหล่งน้ำ.....	30
ภาพประกอบ 10 ความเข้มข้นโลหะหนักของแหล่งน้ำ.....	31
ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ (ก) TGA (ข) DTA ของทางปาล์มน้ำมัน.....	33
ภาพประกอบ 12 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกโดย เงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง.....	35
ภาพประกอบ 13 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามเวลาในการกระตุ้นโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85.....	37
ภาพประกอบ 14 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามอัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก โดยเงื่อนไข การกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง.....	38
ภาพประกอบ 15 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยความเข้มข้นของ กรดฟอสฟอริก.....	40
ภาพประกอบ 16 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัย ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก.....	41
ภาพประกอบ 17 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยเวลาในการกระตุ้น.....	43
ภาพประกอบ 18 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัย เวลาในการกระตุ้น.....	44
ภาพประกอบ 19 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยอัตราส่วนของ ถ่าน : กรด.....	46
ภาพประกอบ 20 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัย อัตราส่วนของถ่าน : กรด.....	47
ภาพประกอบ 21 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของทางปาล์มน้ำมันสดจากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	48
ภาพประกอบ 22 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของถ่านทางปาล์มน้ำมันจากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ 23 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันเงื่อนไซ กรด ฟอสฟอริกร้อยละ 85 เวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	50
ภาพประกอบ 24 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของทางใบปาล์มน้ำมันสดจากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	51
ภาพประกอบ 25 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านทางปาล์มน้ำมันจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	51
ภาพประกอบ 26 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันเงื่อนไซ กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 เวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	52
ภาพประกอบ 27 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำระหว่างก่อนกรองและ หลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน.....	53
ภาพประกอบ 28 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS).....	64
ภาพประกอบ 29 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM).....	64
ภาพประกอบ 30 เครื่องยูวีวิชีเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	64
ภาพประกอบ 31 เครื่องเขย่าในแนวราบ.....	65
ภาพประกอบ 32 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนของถ่านตัวอย่าง.....	65
ภาพประกอบ 33 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านตัวอย่าง	65
ภาพประกอบ 34 การทดสอบการกรองตัวอย่างน้ำจากชุมชนบางเขียดโดยใช้ถ่านกัมมันต์เงื่อนไซ กรดฟอสฟอริก 85% เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3..	66

บทที่ 1 บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง แหล่งน้ำที่มีการนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้แก่ น้ำประปา น้ำคลองน้ำฝน และน้ำบาดาล จากแหล่งน้ำที่ได้กล่าวมานี้ น้ำบาดาลเป็นหนึ่งในทางเลือกที่มีการนิยมใช้ในอุปโภค และบริโภคเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถนำขึ้นมาใช้ได้ตลอดเวลาโดยสภาวะปกติแล้ว น้ำบาดาลถือว่าเป็นน้ำที่สะอาด เนื่องจากเป็นน้ำที่อยู่ใต้ดินผ่านการกรองจากธรรมชาติโดยไหลซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงมาถึงแหล่งกักเก็บได้ ลักษณะการไหลซึมเช่นนี้ทำให้น้ำบาดาลเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสารแขวนลอย สารอินทรีย์ เคมี และเชื้อโรคต่างๆ ไม่มีกลิ่นที่นำรังเกียจ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2557) แต่น้ำบาดาลในบางแหล่งจะมีสารปนเปื้อนเช่น มีกลิ่นสนิม แก๊สไข่เน่า และมักมีสีแดงที่เกิดจากสนิมเหล็กอีกทั้งมีหินปูน แร่กาลีเนียมรวมทั้งสารอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย ส่งผลต่อสุขภาพอนามัย สำหรับตัวการสำคัญที่ทำให้เครื่องสุขภัณฑ์เกิดคราบสนิมและเสื้อผ้าเปื้อนนั้นก็คือสนิมเหล็กที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาลนั่นเองจากปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น พื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ประสบปัญหานี้เช่นกัน จากการสัมภาษณ์นายถาวร พันละม้าย กำนันตำบลบางเขียด (2557) โดยได้กล่าวไว้ว่า “น้ำบาดาลในพื้นที่ตำบลบางเขียดประสบปัญหาน้ำเป็นสีสนิมเหล็ก มีกลิ่นเหม็น และทำให้อุปกรณ์บางอย่าง เช่น ท่อน้ำ เกิดคราบสนิม” และจากการตรวจสอบของสำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 12 (สงขลา) พบว่าบริเวณถึงประปาบ้านบางเขียดมีปริมาณเหล็กในน้ำ 2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH เท่ากับ 8.4 (สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 12, 2544) และบริเวณบ้านบางเขียดมีปริมาณเหล็กในน้ำ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH เท่ากับ 6.8 (สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 12, 2509) ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐาน

การนำน้ำบาดาลมาใช้ในการอุปโภค บริโภคนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อทำให้น้ำบาดาลมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยการกรองเป็นทางเลือกหนึ่ง สารที่ใช้ในการกรองประกอบด้วยทราย สารกรองเคลือบผิวเมมเบรนไฮดรอกไซด์ เรซิน ถ่านกัมมันต์ และดินเบา (อุราวรรณ อุ่นแก้ว และ อรุณ คงแก้ว, 2545 : 14-16) ซึ่งถ่านกัมมันต์เป็นหนึ่งในทางเลือกที่ใช้ในการกรองน้ำบาดาล โดยสามารถกำจัดกลิ่น สี รส คลอรีน และโลหะหนักต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีอำนาจในการดูดซับสูง วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ พวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้อย่าง ช้างข้าวโพด เป็นต้น (อุราวรรณ อุ่นแก้ว และ อรุณ คงแก้ว, 2545 : 15)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง และมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยกากใยปาล์มมีปริมาณเหลือเพียงเล็กน้อยคือ 50,000 ตัน กะลาปาล์มมีปริมาณเหลือ 100,000 ตันในแต่ละปี ส่วนทะลายปาล์มมีปริมาณเหลือ 400,000 ตัน และทางปาล์มเป็นเศษวัสดุที่เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุด และมีการนำกลับไปใช้งานน้อยที่สุด ซึ่งในแต่ละปีจะมีเหลือ

ประมาณ 6.5 ล้านตัน (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2553 : 7-8) ซึ่งวัสดุเหล่านี้ถ้าปล่อยทิ้งเน่าสลายไปตามธรรมชาติจะมีโอกาสที่ปล่อยแก๊สมีเทน ซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ ด้วยประเด็นของปัญหาดังที่กล่าวมานี้คณะผู้วิจัยต้องการที่จะสำรวจคุณภาพน้ำบาดาล ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา และนำวัสดุเหลือใช้จากต้นปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ทางปาล์มมาผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการประกอบเป็นชุดกรองน้ำที่จะนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวต่อไป

จากปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในตำบลบางเขียด และแนวโน้มผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปปาล์มน้ำมันมีปริมาณมากขึ้น ขณะเดียวกันมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์โดยประยุกต์ใช้ชีวมวลจากปาล์มน้ำมันโดยผ่านกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มาทดสอบและนำไปเป็นส่วนประกอบในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อนำไปกรองน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลดีต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนากระบวนการสร้างชุดกรองน้ำจากชีวมวลจากปาล์มน้ำมันเพื่อสร้างมาตรฐานการส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยใช้วัตถุดิบในชุมชนเป็นหลักและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถพึ่งพาตนเองได้ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นปาล์มน้ำมัน (oil palm)

ปาล์มน้ำมันนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและสร้างรายได้ที่ดีให้กับเกษตรกรผู้ปลูก แม้ว่าจะต้องใช้เวลาในการเตรียมการปลูกอย่างน้อย 5 ปี จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ แต่ก็เป็นที่ยืนต้นที่ให้ผลผลิตสูง สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี และมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ยาวนาน จึงสามารถสร้างรายได้ระยะยาวให้กับเกษตรกรผู้ปลูก ผลปาล์มน้ำมันสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลายชนิดสำหรับข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ ปาล์มน้ำมันมีทางภาษาอังกฤษว่า oil palm และ African oil palm ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *elaeisguineensis* อยู่ในวงศ์ areacaceae หรือ palmae สำหรับชื่ออื่น ๆ ได้แก่ มะพร้าวลิง มะพร้าวหัวลิง และหมากหมัน (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์ , มปป. : 25-26)

สำหรับการตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมัน ในปีหนึ่ง ๆ ต้นปาล์มน้ำมันสามารถสร้างทางใบได้ประมาณ 18-25 ทางโดยมีทางใบเหลืออยู่บนต้นประมาณ 30-50 ทาง ส่วนทางใบแก่จะหลุดร่วงไปจากต้น ในทางทฤษฎีแล้วควรตัดทางใบออกให้น้อยที่สุด หรือให้เหลือทางใบไว้บนต้นมากที่สุดเพื่อช่วยสังเคราะห์แสง ปาล์มน้ำมันที่เริ่มปลูกจนถึงปีที่ 6 ควรไว้ทางใบ 7-8 รอบ หรือ 56-64 ทางใบ ส่วนปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่ควรไว้ทางใบ 4.5-6.5 รอบ หรือ 36-48 ทางใบ เมื่อถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ควรตัดทางใบให้เหลือไว้รองรับทะเลายปาล์มเพียง 2 ทางใบ (ประยงค์ สุขเดชะพันธ์, 2554 : 107) จะเห็นได้ว่าด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ทางปาล์มเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และมีการ

นำกลับไปใช้งานน้อยที่สุด ซึ่งในแต่ละปีจะมีเหลือประมาณ 6.5 ล้านตัน (ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 2553 : 7-8)

2.2 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อน และการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือ แกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขีด แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่พื้นผิว และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้เกิดรูพรุน หรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม (angstrom: Å) ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูงและมีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สูงด้วยเช่น การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการหาปริมาณ ไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์จะทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbate) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time) (ชลธิชา ประจักษ์สูตร และ ลักษณะณ คุญญอารักข์, 2554 : 4)

2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

1. การกระตุ้นทางเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
2. การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ แก๊สออกซิไดส์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2.2.2.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนของผิวคาร์บอน

1. รูพรุนขนาดเล็ก (micropores) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตรมักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2. รูพรุนขนาดกลาง (transitional or mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15-100 นาโนเมตรมักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3. รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตรมักใช้ในการฟอกสีหรือผลิตยาแบ่งตามขนาดรูพรุนของผิวคาร์บอน

2.2.2.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

1. ความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 กรัม/มิลลิลิตร) ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

2. ความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 กรัม/มิลลิลิตร) ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊สพิษ หรือไอระเหยให้อัตราการดูดซับที่สูง

2.2.2.4 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

1. สำหรับดูดซับแก๊ส (gas adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท hard artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ หรือ ถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

2. สำหรับดูดซับสี (colour adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท soft artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านขานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากถ่านหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

3. สำหรับดูดซับโลหะ (metal adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยก ทอง เงิน แพลทินัม และแร่

2.2.2.5 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

1. ประเภทเป็นผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร (μm) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีของเหลว ดูดกลิ่นในสารละลายได้หลายชนิด

2. ประเภทเป็นเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

- pellet activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับเครื่องอัด ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์ และใช้ทำหน้าที่ปกป้องกันแก๊ส และไอพิษต่างๆ

- granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์

2.2.2.6 แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างเมื่อละลายน้ำ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นกรด โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชัน ที่อยู่บนพื้นผิวเป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl)

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นด่าง โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชัน ที่อยู่บนพื้นผิว ได้แก่ ควินิน (quinine) ฟีนอล (phenol) และ คาร์บอกซิเลท (carboxylate) (ซลธิชา ประจักษ์สุตร์ และ ลักขมณ คูบุญอารักข์, 2554 : 5-

6)

2.2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์มีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ชี เลื่อย กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว เมล็ดผลไม้ ยาง พลาสติก ถ่านหิน กากกาแฟ และพีท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือ เริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบด และคัดขนาดก่อนที่จะนำไปคาร์บอนไนเซชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจมีความแข็ง และเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก ก็อาจนำวัตถุดิบนั้นไปคาร์บอนไนเซชันก่อน แล้วจึงนำมาบดคัดขนาดก็ได้

2.2.3.2 การทำให้เป็นถ่าน หรือ การคาร์บอนไนเซชัน (carbonization)

การคาร์บอนไนเซชันเป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) รูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (tar) และแก๊ส อาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนเซชันเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่าย โดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส

คาร์บอนไนเซชัน เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการทำให้โครงสร้างมีรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่านชาร์ และถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันควรมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

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

ถ่านชาร์ที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันนี้ มีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะว่าการทำให้เกิดถ่านชาร์จะใช้อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ภายในช่องว่าง (pore) หรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการพัฒนาโครงสร้างไปในทิศทางเดียวกับการเกิดคาร์บอนไนเซชัน หรือ ก็คือการทำกรกระตุ้นนั่นเอง

วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำหรับเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์ ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- สารระเหยต่ำ
- ค่าคาร์บอนคงตัวสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็ง ไม่เปราะ ทนต่อการขัดสี

ซึ่งในธรรมชาติไม่พบคุณสมบัติที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้นการทำกรคาร์บอนไนเซชันให้เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนเป็นการไล่ทาร์แล้วเป็นโค้ก การคาร์บอนไนเซชันให้ได้ถ่านที่มี

คุณสมบัติที่ต้องการทำได้โดยปรับสภาวะของปฏิกิริยาไพโรไลซิสให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ

1. อุณหภูมิของการคาร์บอนเซชัน

กระบวนการคาร์บอนเซชัน เป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์ เพื่อเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยจะเกิดการหักออกตรงบริเวณที่มีพันธะอ่อนหรือหมู่ที่หลุดออกง่าย ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆจำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เล็กลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ส่วนโครงสร้างโมเลกุล หรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันชาร์ และแก๊สต่างๆ

สิ่งสำคัญที่สุดของกระบวนการนี้ คือ อุณหภูมิสุดท้ายของการคาร์บอนเซชัน เพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะเคมีในวัตถุดิบออกมาเป็นสารระเหยที่อุณหภูมิสูง ถ่านชาร์จะมีการจัดระเบียบของโครงสร้างมากกว่า เช่น ถ่านหินเกรดสูงจะหดตัวมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอนเซชัน เป็นผลทำให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นแรกของการคาร์บอนเซชันลดลง และเม็ด ถ่านหินมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอนเซชัน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะมากขึ้น เมื่อค่าคาร์บอนคงตัวลดลง

2. อัตราการให้ความร้อน

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อน เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสภาวะในการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที อันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็ว

ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ผลก็คือ จะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยากระตุ้น ตัวกระตุ้นก็จะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3. ตัวกลางของปฏิกิริยา (medium of reaction)

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการคาร์บอนเซชันโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิดซ์เบดจะใช้พลังงานต่ำ เพราะความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยจะให้ความร้อนกับเตาฟลูอิดซ์เบด จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนเซชันก็เพื่อจะให้ได้ถ่านที่มีรูพรุน และการจัดเรียงของ

คาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัสดุดิบ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

การคาร์บอนเซชันจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 2 ช่วง คือ ช่วงอ่อนตัว (softening period) และช่วงหลังการอ่อนตัว (after softening period) ในช่วงการอ่อนตัวควรให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อให้แก๊สหลุดออกมาจากโพรงภายในได้โดยไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอุดตันภายในโพรง

2.2.3.3 การกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้พื้นผิวมีความว่องไวมากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี และประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะ และชนิดของวัสดุดิบ รวมถึงวิธีการอื่นๆ ก่อนการกระตุ้นด้วยการกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ

1. วิธีการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น มีข้อดี คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสีย คือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีออก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่นิยมใช้ในการกระตุ้น ส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

2. วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ฯลฯ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด (steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) และอากาศ (air) เป็นตัวร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัสดุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า การกระตุ้นด้วยสารเคมี (700-1,200 องศาเซลเซียส) (ชลธิชา ประจักษ์สูตร และ ลักษณะณ คุญญอารักษ์, 2554 : 6-9)

2.2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.2.4.1 ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซินหรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือ แต่ละอะตอมก็มีพันธะเดี่ยวอีก 3 อะตอมในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนในการเกิดพันธะนี้เป็นแบบซิกมาอิเล็กตรอน (sigma electron) อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไปอิเล็กตรอน (pair electron) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น

2.2.4.2 รูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียองค์ประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอนรูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับการกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรูเมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันรูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและมีความลึกไม่สม่ำเสมอลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอนบางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่งบางครั้งเป็นรูปตัววี

รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกตามได้ขนาดรัศมีของรูพรุนคือ

1. แมโครพอร์ (macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่า หรือเท่ากับ 100 -200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 -0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นดังนั้นแมโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

2. เมโซพอร์ (mesopores) หรือทรานซิชั่นัลพอร์ (transitional pores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 - 100 นาโนเมตรปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gels) อะลูมินาเจล (alumina gels) ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (aminosilicate catalyst)

3. ไมโครพอร์ (micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตร 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (adsorption energy) มากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่าง ๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า “การกระจายตัวของรูพรุน (pore size distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้นตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์คือซีโอไลต์ (zeolite)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจัดกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมโครพอร์เมโซพอร์และไมโครพอร์เรียกว่า “โครงสร้างผสม (mixed structure type)” พบว่าแมโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาคโดยมีเมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไม

โครพอร์อีกที่หนึ่งโดยทั่วไปผ่านกัมมันต์เกรดการค่าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 - 300 ตารางเมตรต่อกรัมสำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนอลอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์หรืออาจเกิดจากไฟอิลิกตรอนแรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อนแม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรงกว่าโอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

2.2.4.3 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่น ๆ ได้ เช่นอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งในกระบวนการคาร์บอนเซชันและการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปการที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมีจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนอล (functional groups) หมู่ฟังก์ชันนอลที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อย ๆ ได้แก่หมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดเช่นหมู่ carboxyl, phenolic hydroxyl, quinonoid, normal lactone, fluorescein-type lactone และ carboxylic acid anhydride

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลงคือสามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากก็จะแสดงความเป็นกรดซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อยก็จะแสดงความเป็นเบสซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ

จากกระบวนการคาร์บอนเซชัน อะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่นออกซิเจน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรงได้ ซึ่งเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรงที่จะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทนความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

2.2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุนและส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
2. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดซับ ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุลและส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น
3. ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย
4. ลักษณะของสารละลาย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น
5. ระยะเวลาในการดูดซับ (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556 : 18-21)

2.2.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งจากทางการเกษตร นิยมนำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหารหรือยา เป็นตัวกรองสารพิษในการทำน้ำจืด ใช้ในกระบวนการผลิตสารเคมีให้บริสุทธิ์ การใช้งานของถ่านกัมมันต์พบว่าใช้มากในระบบทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำตัวละลายให้บริสุทธิ์ และกระบวนการบำบัดน้ำในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไป เช่น

2.2.5.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอ

1. ใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำจืดป้องกันแก๊สพิษ ที่ใช้ในการทหารและใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
2. ใช้แยกแก๊สไฮโดรเจนออกจากแก๊สธรรมชาติ
3. ใช้แยกเบนซีนออกจากแก๊สอุตสาหกรรม
4. ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ

2.2.5.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว(ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ใน

อุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

1. ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
2. ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้วยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร้อออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
3. แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพกติน น้ำผลไม้
4. ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติดีขึ้น (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556 : 21-22)

2.3 น้ำบาดาล

น้ำที่มีอยู่ในโลกนี้อยู่ในมหาสมุทรประมาณร้อยละ 97 ที่เหลืออีกร้อยละ 3 เป็นน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน แต่เราสามารถนำมาใช้ได้เพียงร้อยละ 0.63 นอกนั้นเป็นน้ำแข็งอยู่ในขั้วโลก แหล่งน้ำธรรมชาติแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำฟ้า (atmospheric water) น้ำผิวดิน (surface water) และน้ำใต้ดิน (subsurface water) น้ำฟ้า คือ น้ำที่อยู่ในบรรยากาศหรืออยู่สูงกว่าระดับน้ำผิวดินขึ้นไป เช่น เมฆ หมอก ฝน น้ำค้าง ลูกเห็บหรือหิมะ เป็นต้น น้ำผิวดิน คือ น้ำฟ้าที่ตกลงมาแล้วถูกกักเก็บหรือกักขังเป็นน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง สระ บ่อ ทะเลสาบ หรือมหาสมุทร น้ำผิวดินบางส่วนไหลลงสู่แม่น้ำหรือทะเล แต่บางส่วนไหลซึมลงไปใต้ดินแล้วถูกกักเก็บไว้ที่ช่องว่างของดินและหินเกิดเป็นน้ำประเภทที่สามคือน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินนั้นส่วนหนึ่งจะอยู่ในดินที่รากไม้หยั่งถึง ซึ่งมีประโยชน์โดยตรงสำหรับการเกษตรกรรมและการยังชีพของพืชพันธุ์นานาชนิด เรียกว่า น้ำในดิน (soil water) อาจแห้งหายไปเมื่อไม่มีฝนตกลงมาเพิ่มเติมหรือถูกแดดเผาให้ระเหยเป็นไอหายไป น้ำบางส่วนจะไหลซึมลึกลงต่อไปอีก

เป็นช่วง ๆ และช่วงสุดท้ายจะไปถูกกักเก็บไว้ในช่องว่าง (voids) ทุกชนิดทุกประเภทในเนื้อหินหรือชั้นหินจนกระทั่งหินอิ่มตัวด้วยน้ำ (water saturated) น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในหินดังกล่าวเรียกว่าน้ำบาดาล (groundwater) (เจริญ เพียรเจริญ, 2540 อ้างอิงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551: 2) น้ำมีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ตี ดังนั้นเมื่อน้ำไหลซึมผ่านชั้นดิน ชั้นหินที่อยู่ลึกลงไปใต้ดิน น้ำจึงละลายเกลือแร่ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของชั้นดินชั้นหินไปด้วย ทำให้น้ำบาดาลมีเกลือแร่ละลายอยู่มากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของชั้นดินชั้นหินที่น้ำไหลผ่านว่าจะละลายได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชั้นดินชั้นหินแล้วยังขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของน้ำและอุณหภูมิด้วย ในขณะที่น้ำผิวดินไหลซึมลงไปก็ได้พาเอาสารต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วย เช่น ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย เป็นต้น การนำน้ำบาดาลมาใช้บริโภคนั้นต้องคำนึงถึงคุณภาพน้ำ 4 ลักษณะ คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ลักษณะที่เป็นพิษ และลักษณะทางแบคทีเรีย ตามมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ตาม พรบ. น้ำบาดาล พ.ศ. 2520 แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2542 นอกจากการใช้น้ำเพื่ออุปโภค บริโภคแล้ว ในภาคอุตสาหกรรมก็มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจใช้น้ำผสมกับผลิตภัณฑ์ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดหรือผลิตพลังงาน คุณภาพน้ำที่ใช้ก็มีความแตกต่างกัน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551 : 2) โดยน้ำบาดาลที่สามารถนำมาบริโภคได้นั้น ต้องมีคุณลักษณะดังตาราง 1

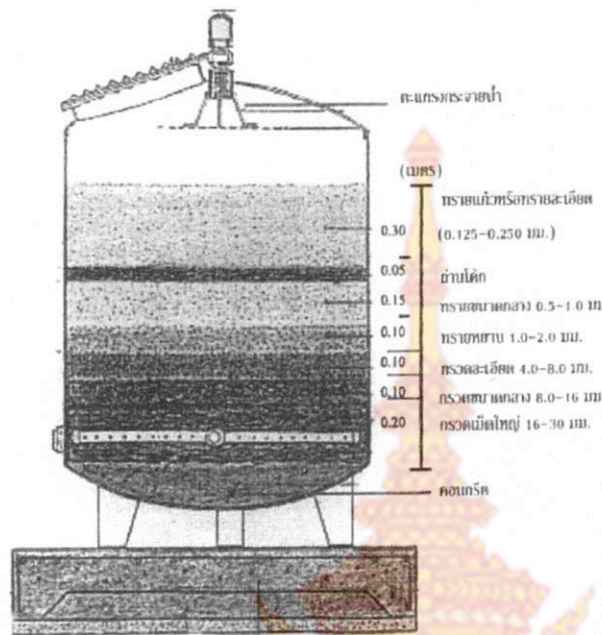
การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล คือวิธีการทำให้น้ำบาดาลมีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน การกรองตะกอน เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการกรองตะกอนเท่านั้น

ถังกรองตะกอนขุ่นจะบรรจุสารกรองทราย หรือสารกรองแอนทราไซต์ (anthracite) หรือสารกรองถ่านกัมมันต์ (activated carbon) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือจะผสมกันก็ได้ ถังกรองตะกอนความขุ่นนี้ยังสามารถกรองออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสได้ด้วย โดยเฉพาะสารกรองถ่านกัมมันต์ นอกจากจะกรองสารดังกล่าวแล้วยังสามารถกรองโลหะหนัก สารอินทรีย์ สี และกำจัดกลิ่นในน้ำบาดาลได้อีกด้วย ภาพประกอบ 1 เป็นตัวอย่างถังกรองตะกอนขุ่น ตะกอนเหล็ก และตะกอนแมงกานีสโดยใช้ตัวกรองเป็นทราย พร้อมกันนี้ในถังกรองมีการกำจัดเหล็ก และแมงกานีสโดยการโปรยน้ำให้สัมผัสกับออกซิเจนที่บริเวณตะแกรงกระจายน้ำเพื่อให้เหล็ก และแมงกานีสตกตะกอนแล้วถูกกรองพร้อมกับตะกอนขุ่นด้วยสารกรองในถังกรอง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551 : 11)

ตาราง 1 มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Color)	5 (หน่วยแพลตินัม-โคบอลต์)	15 (หน่วยแพลตินัม-โคบอลต์)
ความขุ่น (Turbidity)	5 (หน่วยความขุ่น)	20 (หน่วยความขุ่น)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.0-8.5	6.5-9.2
คุณลักษณะทางเคมี		
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.0 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	15 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ซัลเฟต(SO ₄)	ไม่เกิน 200 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	250 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
คลอไรด์(CL)	ไม่เกิน 250 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	600 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 0.7 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.0 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ไนเตรท (NO ₃)	ไม่เกิน 45 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	45 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO ₃)	ไม่เกิน 300 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	500 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness as CaCO ₃)	ไม่เกิน 200 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	250 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 600 (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,200 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
คุณลักษณะที่เป็นพิษ		
สารหนู (As)	ต้องไม่มี	0.05 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ไซยาไนด์ (CN)	ต้องไม่มี	0.1 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ตะกั่ว (Pb)	ต้องไม่มี	0.05 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ปรอท (Hg)	ต้องไม่มี	0.001 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แคดเมียม (Cd)	ต้องไม่มี	0.01 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ซีลีเนียม (Se)	ต้องไม่มี	0.01 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
คุณลักษณะทางแบคทีเรีย/แบคทีเรีย		
Standard plate count	ไม่เกิน 500 โคลนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	
Most probable number of Coliform organism (MPN)	น้อยกว่า 2.2 ต่อร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร	
E. coli	ต้องไม่มี	

ที่มา : ราชกิจจานุเบกษา, 2551 หน้า 15-18



ภาพประกอบ 1 ถังกรองทรายเพื่อกำจัดความขุ่น ตะกอนเหล็กและแมงกานีส
ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551 : 11

2.4 ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ จ.พัทลุง ทั้งจังหวัด จ.สงขลา 12 อำเภอ และ จ.นครศรีธรรมราช 2 อำเภอ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 8,727 ตารางกิโลเมตร แบ่งเป็นแผ่นดิน 7,685 ตารางกิโลเมตร และเป็นพื้นที่ทะเลสาบ 1,042 ตารางกิโลเมตร ความยาวจากเหนือจรดใต้ประมาณ 150 กิโลเมตร และจากตะวันออกไปถึงตะวันตกประมาณ 65 กิโลเมตร

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทางทิศตะวันตกมีเทือกเขาบรรทัดเป็นสันปันน้ำ ทอดตัวยาวในแนวเหนือ-ใต้ ทางทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสันกาลาศีรี เทือกเขาทั้งสองปกคลุมด้วยป่าไม้และเป็นแหล่งต้นน้ำของลุ่มน้ำนี้ ถัดจากพื้นที่ภูเขาสูงมาจะเป็นที่ราบสลับเนินเขาเตี้ยๆ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา ถัดลงมาเป็นที่ราบขนาดใหญ่ล้อมรอบด้วยทะเลสาบส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว ทางตอนเหนือของทะเลสาบเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่เรียกว่า "พรุควนเคร็ง" ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 137 ตารางกิโลเมตร (รวมทะเลน้อย) ส่วนทางด้านตะวันออกเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลติดต่อกับอ่าวไทยดังภาพประกอบ 2

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งกักเก็บน้ำและระบายน้ำตามธรรมชาติ ที่มีเอกลักษณ์พิเศษคือมีระบบนิเวศ 3 น้ำ ที่มีการผสมผสานทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ทะเลน้อยซึ่งอยู่ทางเหนือสุดเป็นน้ำจืด ถัดลงมาคือทะเลสาบตอนบน ส่วนใหญ่ของรอบปีจะเป็นน้ำจืด ทะเลสาบตอนกลางมีความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำจืดและน้ำกร่อยขึ้นกับฤดูกาล ทางใต้สุดคือทะเลสาบตอนล่าง ซึ่งเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็ม และทะเลสาบตอนล่างเชื่อมกับอ่าวไทย ทำให้ความเค็มของน้ำในทะเลสาบเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล (ศูนย์บริหารงานวิจัยลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2557)

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที, พื้นที่ผิวสัมผัสเรียงจากน้อยไปหามาก ถ่านคาร์บอนซ์ถ่านกัมมันต์ จากลูกหูกวาง และ ถ่านกัมมันต์การค้าโดยมีค่า 11.2559, 272.9240 และ 901.1500 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ, สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกมี จำนวนรูพรุนมากขึ้นกว่าถ่านคาร์บอนซ์

ปัญญา มณีจักร (2556) ศึกษาการพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางเพื่อการดูดซับ โครเมียม (III) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนซ์ ถ่านเพื่อกำจัดโครเมียม (III) คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถกำจัดได้ร้อยละ 97.36, ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ ถ่านคาร์บอนซ์ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตรา 1 : 1 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าความสามารถในการดูดซับ 3.85 มิลลิกรัม/กรัม

รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และ กมณชนก วงศ์สุขสิน (2555) ศึกษาการปรับปรุง คุณภาพน้ำบาดาลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบล หนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีด้วยกรดไนตริก ใช้ วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในน้ำบาดาลฤดูร้อน และฤดูฝน ทั้งสองตำบล พบว่าน้ำบาดาลทั้งสองตำบล ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน มีปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเท่ากับ 0.67, 0.10, 0.08 และ 0.23 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อ ปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีด้วยกรดไนตริกพบว่ามีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเท่ากับ 0.06, 0.10, 0.01 และ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ปริญพา พานิชย์ และ พุทธิธิดา ภูโอบ (2556) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จาก กากปาล์มโดยนำกากปาล์มไปหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ใช้กรดฟอสฟอริกในการกระตุ้นเพื่อให้เกิดรูพรุนภายในกากปาล์ม อุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนซ์ ได้แก่ 350, 400 และ 450 องศาเซลเซียส การกระตุ้นใช้กรดฟอสฟอริกในความเข้มข้นร้อยละ 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ถ่านกัมมันต์กากปาล์มที่อุณหภูมิการ คาร์บอนซ์ 450 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีสภาวะที่ ดีที่สุด ซึ่งมีการดูดซับไอโอดีน 578.30 มิลลิกรัม/กรัม การดูดซับสีเมทิลีนบลู (14.919 มิลลิกรัม/กรัม และค่าพื้นที่ผิว 431.96 ตารางเมตร/กรัม)

2.5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Khadijah และคณะ (2012) ศึกษาการใช้ชานอ้อยในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อบำบัด น้ำบาดาล โดยอบชานอ้อยที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นด้วย กรดซัลฟูริกในอัตราส่วน กรดซัลฟูริกต่อชานอ้อยเท่ากับ 28 มิลลิลิตร : 10 กรัม แล้ว ทำการคาร์บอน ไซท์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งการวิจัยได้แบ่งถ่านกัมมันต์เป็น 2 ขนาด ได้แก่ ชนิดผง (63-300 ไมโครเมตร) และชนิดเม็ด (2.00-3.35 มิลลิเมตร) ผลการวิจัยพบว่า ถ่านกัม มันต์จากชานอ้อยชนิดผงมีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำบาดาลมากกว่าชนิดเม็ดโดยวัดจากความ พรุน ความชุ่ม สี ความเป็นกรดต่าง (pH) สารแขวนลอย แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ปริมาณโลหะหนัก ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำ 30 นาที ดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการทดสอบน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากขาน้อยในการบำบัด

การทดสอบน้ำบาดาล	ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 30 นาที	
	ชนิดผง	ชนิดเม็ด
ความพรุน (%)	84.38	64.29
พื้นที่รู (μm^2)	2.7-6.7	1.0-1.5
การกำจัดความขุ่น (%)	98.04	78.3
การกำจัดสี (%)	96.24	65.04
pH	6.2	2.98
การกำจัดสารแขวนลอย (%)	99.72	99.32
การกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (%)	100	100
การกำจัดโลหะหนัก (%)	88.47	77.60

ที่มา : Khadijah และคณะ (2012)

Ozdemir และคณะ (2014) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านองุ่น โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ กระตุ้นในคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการแปรผันอุณหภูมิ และเวลาในการคาร์บอนไนซ์ เวลาในการแช่ในซิงค์คลอไรด์ และอัตราส่วนส่วนซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านองุ่น ผลการวิจัยพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านองุ่นคือ คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที แช่ซิงค์คลอไรด์เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ในอัตราส่วนซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านองุ่นเป็น 2 : 1 โดยมีพื้นที่ผิวเป็น 1411 ตารางเมตร/กรัม, ปริมาตรรูพรุน 0.723 ลูกบาศก์ตารางเซนติเมตร/กรัม, เลขไอโอดีน 1760 มิลลิกรัม/กรัม

Aajish และ Thirumal (2014) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งได้แก่ ฝักมะรุม ขนไก่ และมังคุด สำหรับการกระตุ้นใช้กรดฟอสฟอริก, ซิงค์คลอไรด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวกระตุ้น พบว่า การใช้ฝักมะรุมผลิตถ่านกัมมันต์โดยมีกรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้น มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดที่อุณหภูมิในการกระตุ้น 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในอัตราส่วนกรดฟอสฟอริกต่อฝักมะรุมเป็น 60 : 40

3. วัตถุประสงค์ของโครงการ

3.1 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

3.2 เพื่อผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ชีวมวลจากทางปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบ และนำไปประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำชุมชนโดยประกอบและติดตั้งชุดกรองน้ำต้นแบบในตำบลบางเขียด จำนวน 3 ชุด

4. ขอบเขตของโครงการ

4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสিংหนคร จังหวัดสงขลา

4.1.1 ตัวแปรอิสระ

1. พื้นที่

4.1.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพน้ำบาดาล

1. สีของน้ำบาดาล
2. ความกระด้างของน้ำบาดาล
3. ความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำบาดาล
4. ปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาล

4.2 ถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์ม

4.2.1 ตัวแปรอิสระ

1. วัตถุประสงค์สำหรับถ่านกัมมันต์คือ ทางปาล์มน้ำมัน
2. ความเข้มข้นของสารกระตุ้น
3. เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น
4. อัตราส่วนถ่านต่อสารกระตุ้น

4.2.2 ตัวแปรตาม

1. ปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาล
2. การดูดซับไอโอดีน
3. การดูดซับเมทิลลีนบลู
4. ลักษณะพื้นผิว ตรวจสอบจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(scanning electron microscope: SEM)

4.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

4.3.1 ตัวแปรอิสระ

1. รูปแบบระบบกรองน้ำบาดาลที่มีถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มเป็นส่วนประกอบ

4.3.2 ตัวแปรตาม

1. สีของน้ำบาดาล
2. ความกระด้างของน้ำบาดาล
3. ความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำบาดาล
4. ปริมาณโลหะหนักในน้ำบาดาล

5. ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

5.1 ได้ทราบถึงคุณภาพน้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสিংหนคร จังหวัดสงขลา

5.2 ได้ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำชีวมวลทางปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามาผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำชุมชนที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียดโดยประกอบและติดตั้งชุดกรองน้ำต้นแบบในตำบลบางเขียด

6. วิธีการดำเนินการ

- 6.1 เก็บตัวอย่างน้ำที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา
- 6.2 ทำการวัดสี ความกระด้าง ความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ
- 6.3 นำถ่านทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการกระตุ้น
- 6.4 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กระตุ้นเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 6.5 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 6.4 แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของเวลาในการกระตุ้น
- 6.6 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 6.4 ใช้เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 6.5 แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของอัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก
- 6.7 นำถ่านกัมมันต์ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุดมาตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) โดยเปรียบเทียบกันระหว่างทางปาล์มน้ำมันสด ถ่านทางปาล์มน้ำมัน และถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน
- 6.8 นำถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะดีที่สุดมาใช้กับเครื่องกรองน้ำที่ประกอบขึ้น
- 6.9 ทำการวัดสี ความกระด้าง ความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกรองน้ำแล้ว

7. นิยามศัพท์เฉพาะ

- 7.1 ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐานชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก
- 7.2 ชีวมวลจากทางปาล์มน้ำมัน หมายถึง ทางปาล์มน้ำมันที่อยู่ในสภาพแห้งที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์
- 7.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล หมายถึง การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลที่ตำบลบางเขียด โดยใช้ระบบกรองน้ำที่ใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน
- 7.4 ตำบลบางเขียด หมายถึง ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ซึ่งประกอบด้วย 5 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ 1 หมู่ 2 หมู่ 3 หมู่ 4 และหมู่ 5

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1.1 วัสดุการทดลอง

1. ทางปาล์ม
2. กระดาษลิตมัส
3. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)
4. กรดไฮโดรคลอริก
5. สารละลายไอโอดีน
6. กระดาษกรอง
7. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต
8. น้ำแข็ง
9. สารละลายเมทิลีนบลู
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต
11. โซเดียมคาร์บอเนต
12. โปแตสเซียมไอโอไดด์
13. โปแตสเซียมไอโอเดต
14. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
15. โซเดียมโมโนฟอสเฟต
16. ท่อพีวีซี
17. แมงกานีส กรีนแซนด์

1.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เต้าเผา
2. เต้าอบ
3. เครื่องแก้ว
4. ตู้ดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งสารความละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องวัดสี
7. เครื่องวัด pH
8. เครื่องหมุนเหวี่ยง
9. เครื่องยูวีวิซิเบิลสเปกโตรโฟมิเตอร์
10. ตะแกรงร่อน
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
12. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)



2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

2.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

2.1.2 นำน้ำบาดาลไปตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลได้แก่ สี ความกระด้าง ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณโลหะหนัก

2.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน

2.2.1 นำถ่านทางใบปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการกระตุ้น

2.2.2 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กระตุ้นเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

2.2.3 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.2 แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของเวลาในการกระตุ้น

2.2.4 กระตุ้นถ่านกัมมันต์ทางใบปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.2 ใช้เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.3 แล้วเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู ในปัจจัยของอัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก

2.3 ทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน

2.3.1 การดูดซับไอโอดีน (ASTM D 4607-94) (ปรินทร เต็มญารศิลป์, 2551)

2.3.1.1 การเตรียมสารละลาย

ก. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร

1) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 70.0 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปริมาตร 550.0 มิลลิลิตร

ข. สารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 1 ลิตร

1) ชั่งไอโอดีนประมาณ 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็ง

2) เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นค่อย ๆ เติมน้ำกลั่นลงไป คนตลอดเวลา จนได้ปริมาตร 75 ± 25 มิลลิลิตร

3) คนสารละลายด้วยแท่งแก้ว เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมด

4) เติมน้ำกลั่นในขวดเชิงปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

5) เทสสารละลายลงในขวดสีชา

ค. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 1 ลิตร

- 1) ชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟต หนักประมาณ 24.82 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดใหม่ ๆ 75 ± 25 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
- 2) เติมโซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 0.10 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไทโอซัลเฟต เนื่องจากแบคทีเรีย
- 3) เทลงในขวดเชิงปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
- 4) เทสารละลายลงในขวดสีชา และเก็บไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 วันก่อนนำมาใช้

ง. สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 1 ลิตร

- 1) อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น
- 2) ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 3.5667 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
- 3) เทลงในขวดเชิงปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
- 4) เก็บไว้ในขวดที่มีฝาปิดมิดชิด

จ. สารละลายน้ำแ่่ง

- 1) ชั่งแ่่งหนักประมาณ 0.1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร
- 2) นำไปต้มจนได้สารละลายใส (น้ำแ่่งควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำกาทดลอง)

2.3.1.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

ก. ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- 1) ปิเปิดสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0000 ± 0.0001 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย
- 3) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ร้อยละ 37.0 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร
- 4) ไตเตรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
- 5) คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตโดย

$$N_1 = (P_1 \times R)/S \quad (1)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
 P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต
 R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ข. ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

- 1) ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนได้สารละลายที่มีสีเหลืองอ่อน
- 3) หยดสารละลายน้ำแป้ง 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์
- 4) ไตเตรตต่อ จนได้สารละลายไม่มีสี
- 5) คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน โดย

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

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต
 I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน

2.3.1.3 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

ก. อบถ่านทางใบปาล์มน้ำมันอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

ข. ชั่ง และบันทึกน้ำหนักถ่านตัวอย่างใส่ขวดในรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด โดยชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่าง 3 ค่าตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีน หลังจากการดูดซับน้อยกว่า เท่ากับ หรือมากกว่า 0.02 นอร์มอล

ค. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10.0 มิลลิลิตร แกว่งขวดเบา ๆ เพื่อให้ผงถ่านชุ่มด้วยสารละลาย จากนั้นต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์ ออกจากผิวของถ่าน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ง. เติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร ปิดฝา และเขย่าแรง ๆ 30 วินาที

จ. กรองแยกถ่านตัวอย่างจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยขวดกรวยขนาด 100 มิลลิลิตร

มิลลิลิตร

ฉ. ปีเปตสารละลาย 50.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250

ช. ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลือง

ข. เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงิน

ฉ. ไตเตรตต่อจนได้สารละลายใส ไม่มีสี

ญ. บันทึกปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

ฎ. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ โดย

$$C = N_1 / (50 \times S) \quad (3)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ฎ. คำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนต่อกรัมถ่าน จาก

$$X/M = [A - (DF \times B \times S)] / M \quad (4)$$

เมื่อ A = 12693 N_2

B = 126.93 N_1

DF = ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง (dilution factor)

= (ปริมาตรไอโอดีนเริ่มต้น+ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก)/ปริมาตรไอโอดีนที่ปีเปต

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

M = น้ำหนักถ่าน

ฐ. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนต่อกรัมถ่าน กับ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังการดูดซับ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง

ฑ. คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของถ่านตรงตำแหน่งที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนเหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มอล

2.3.2 การดูดซับเมทิลีนบลู (JIS 1470-1994) (ปริญทร เต็มญารศิลป์, 2551)

2.3.2.1 การเตรียมสารละลาย

ก. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ ความเป็นกรดต่าง เท่า 5.0 ปริมาตร 1 ลิตร จากสารละลายความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งเตรียมจากกรดบอริก ความเข้มข้น 0.20 โมลาร์ และกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 670.0 มิลลิลิตร และโซเดียมฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 330.0 มิลลิลิตร

ข. เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยชั่งเมทิลีนบลูหนัก 0.250 กรัม ลงในขวดเชิงปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 จนถึงขีดบอกปริมาตร

ค. เตรียมสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 ปริมาตร 1 ลิตร โดยปิเปตสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดเชิงปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 จนถึงขีดบอกปริมาตร

ง. เตรียมสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 5.0 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน โดยปิเปตสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 และ 0.40 มิลลิลิตร ลงในขวดเชิงปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 จนถึงขีดบอกปริมาตร

2.3.2.2 การทดลองหาปริมาณถ่านที่เหมาะสม

ก. นำถ่านตัวอย่าง อบที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข. ชั่งถ่านตัวอย่างหนัก 0.025 กรัม ใส่ขวดรูปกรวยจำนวน 3 ขวด

ค. ปิเปตสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.0 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวด

ง. นำมาเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จ. กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิมมิดีด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลองขนาดเล็ก

ฉ. นำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับโดยใช้เครื่องยูวีวิชิเบล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

ช. นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดเมทิลีนบลู

ซ. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.3.2.2 ก. ถึง 2.3.2.2 ข. โดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.025 กรัม จนกระทั่งความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับคงที่

ฌ. สร้างกราฟระหว่างปริมาณถ่าน (กรัม/ลิตร) และร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลีนบลู เพื่อหาปริมาณถ่านที่เหมาะสม

ญ. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.3.2.2 ก. ถึง 2.3.2.2 ฉ. โดยเปลี่ยนเงื่อนไขของถ่านตัวอย่าง

2.3.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิว

การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์กระทำโดยส่งตรวจสอบโดย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.4 การสร้างระบบบำบัดน้ำบาดาล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการสร้างระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างง่ายใช้ถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มเป็นหนึ่งในส่วนประกอบ

2.5 การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล

ตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลที่ผ่านการกรองจากระบบการกรองที่คณะผู้วิจัยทำการประกอบขึ้นโดยวัดจาก สี ความกระด้าง ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณโลหะหนัก

3. สถานที่ทำการทดลอง

1. อาคารเรียน 55 คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา
2. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี
3. ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา



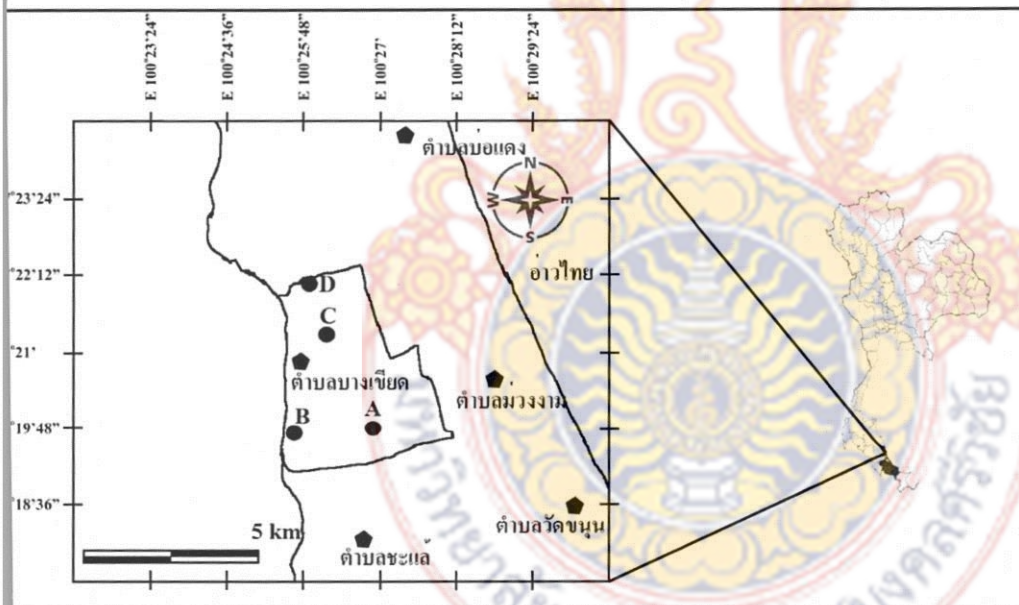
บทที่ 3 ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสিংหนนคร จังหวัดสงขลา

จากการสำรวจแหล่งน้ำชุมชนเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2559 พบว่าแหล่งน้ำชุมชนที่มีการใช้ในปัจจุบันมี 4 แหล่ง ดังตาราง 3 และภาพประกอบ 3 ถึงภาพประกอบ 7

ราง 3 แหล่งน้ำพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสিংหนนคร จังหวัดสงขลา

หล่ง	พิกัด		ที่ตั้ง	พื้นที่ใช้งาน	ประเภท
	N	E			
A	7°19'52"	100°26'53"	หมู่ 1	หมู่ 1	น้ำใต้ดิน
B	7°19'44"	100°25'37"	หมู่ 2	หมู่ 2	น้ำผิวดิน
C	7°21'18"	100°26'9"	หมู่ 3	หมู่ 3 และ 4	น้ำใต้ดิน
D	7°22'5"	100°25'51"	หมู่ 5	หมู่ 5	น้ำผิวดิน



ประกอบ 3 ตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งน้ำตำบลบางเขียด



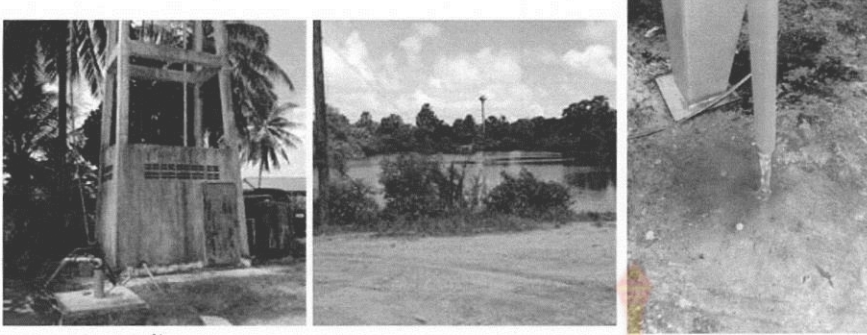
ประกอบ 4 แหล่งน้ำ A หมู่ 1 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา



ประกอบ 5 แหล่งน้ำ B หมู่ 2 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา



ประกอบ 6 แหล่งน้ำ C หมู่ 3 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา



พประกอบ 7 แหล่งน้ำ D หมู่ 5 ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

จากตาราง 3 จะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำในพื้นที่ตำบลบางเขียด มี 2 ประเภท คือ แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน เมื่อนำน้ำจากทั้ง 4 แหล่ง มาวางเพื่อเปรียบเทียบสี ปรากฏดังภาพประกอบ 8



พประกอบ 8 ลักษณะสีของน้ำจากพื้นที่ตำบลบางเขียดทั้ง 4 แหล่ง

จากภาพประกอบ 8 จะเห็นได้ว่าน้ำจากแหล่ง A และ B จะมีลักษณะสีใส ในขณะที่น้ำจากแหล่ง C และ D มีลักษณะสีขุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำจากแหล่ง D มีลักษณะขุ่นที่สุด

เมื่อนำน้ำทั้ง 4 แหล่ง มาตรวจสอบ สี ความกระด้าง pH และโลหะหนัก ผลปรากฏดังตารางและภาพประกอบ 9

าง 4 ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าสี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง

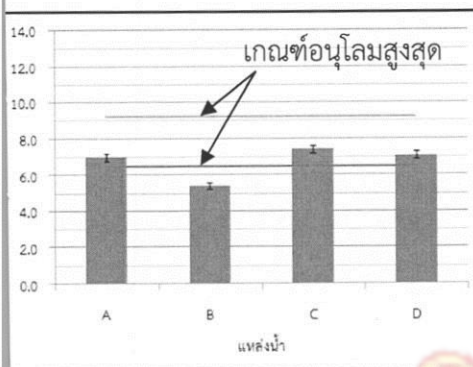
แหล่งน้ำ	pH	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	TDS (mg/L)
A	7.0±0.2b	28.4±0.6a	2.6±0.2a	2.1±0.1b	1,150±3d
B	5.4±0.2c	27.9±0.2a	2.4±0.2a	2.2±0.1b	1,724±5a
C	7.4±0.2a	27.5±0.4a	2.2±0.2a	2.2±0.2b	1,214±3b
D	7.1±0.2b	28.2±0.9a	2.6±0.2a	2.6±0.1a	1,173±5c

ผลที่ยี่ตามด้วยอักษรชนิดเดียวไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับ .05

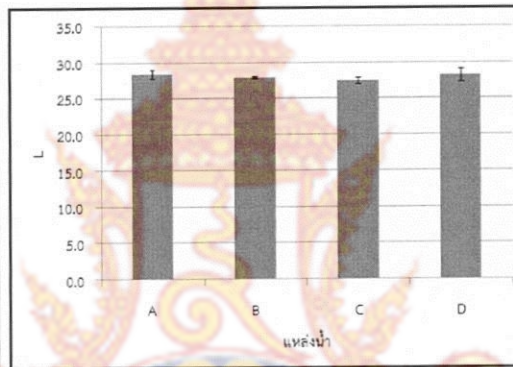
หมายถึง ความเป็นกรดต่าง

หมายถึง ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

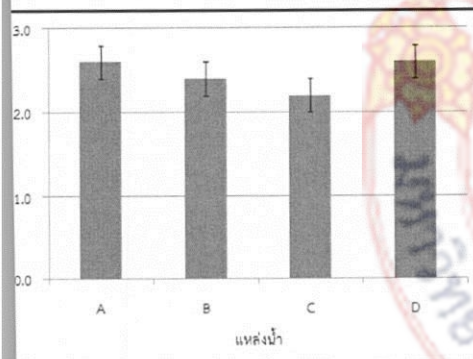
/L หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร



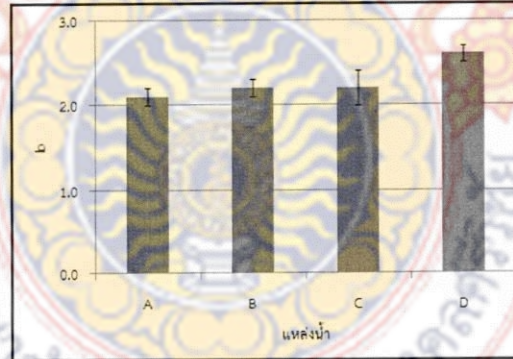
(ก)



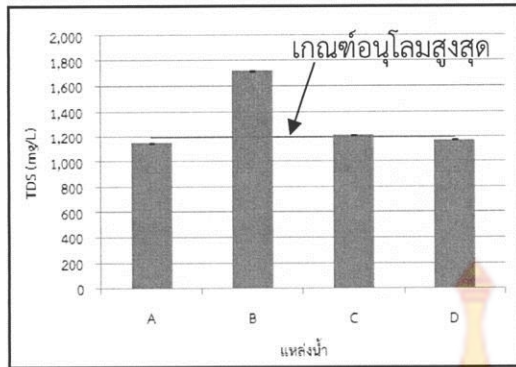
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ประกอบ 9 ค่า pH ค่าสี และค่า TDS ของแหล่งน้ำ

(ก) ค่า pH (ข) ค่าสี L (ค) ค่าสี a (ง) ค่าสี b (จ) ค่า TDS

หมายถึง ความเป็นกรดต่าง

5 หมายถึง ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

/L หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร

จากตาราง 4 และภาพประกอบ 9 พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง มีค่าความเป็นกรดต่าง เป็น 3 กลุ่ม คือ แหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างเป็นกลาง คือแหล่งน้ำ A (7.1 ± 0.2) และแหล่งน้ำ D (7.1 ± 0.2) โดยมีค่าความเป็นกรดต่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แหล่งน้ำที่เป็นเบสอ่อน คือแหล่งน้ำ C (7.4 ± 0.2) และแหล่งน้ำที่เป็นกรด คือแหล่งน้ำ B (5.4 ± 0.2)

ค่าสี L และ a พบว่าแหล่งน้ำทั้ง 4 มีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในขณะที่ค่าสี b แหล่งน้ำ D มีค่าสูงสุดในขณะที่อีก 3 แหล่งมีค่าไม่แตกต่างกัน

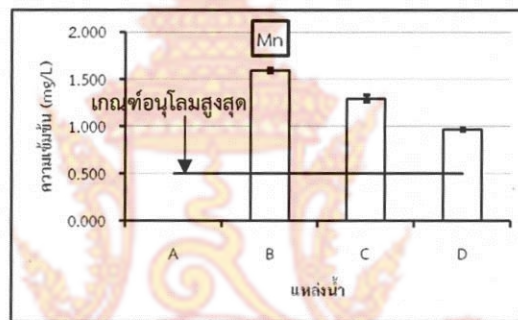
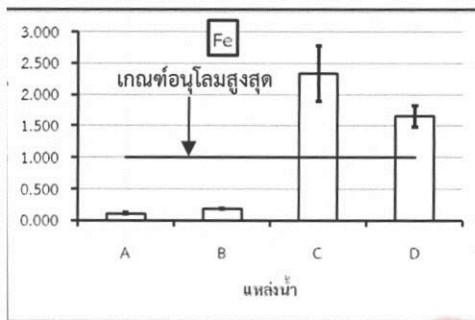
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่งมีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ โดยแหล่งน้ำ B มีปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงสุด ($1,724 \pm 5$ มิลลิกรัม/ลิตร) รองลงมาคือแหล่งน้ำ C ($1,214 \pm 3$ มิลลิกรัม/ลิตร) แหล่งน้ำ D ($1,173 \pm 5$ มิลลิกรัม/ลิตร) และแหล่งน้ำ A $1,173 \pm 5$ มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrometer โดยมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) ดังนี้ Fe เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร, Mn เท่ากับ 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร, Zn เท่ากับ 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร, Cu เท่ากับ 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร, Cd เท่ากับ 1 ไมโครกรัม/ลิตร และ Pb เท่ากับ 5 ไมโครกรัม/ลิตร ผลปรากฏตาราง 5 และภาพประกอบ 10

าง 5 ความเข้มข้นโลหะหนักจากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง

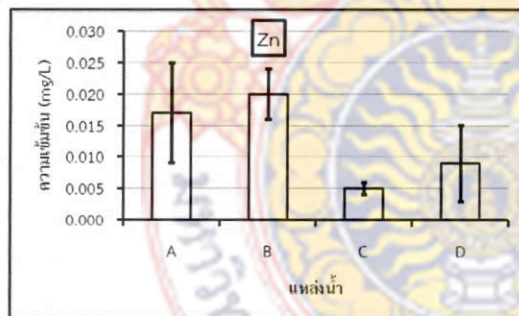
ความเข้มข้นโลหะหนัก					
Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cd ($\mu\text{g/L}$)	Pb ($\mu\text{g/L}$)
0.112 ± 0.018	ND	0.017 ± 0.008	ND	ND	ND
0.186 ± 0.010	1.589 ± 0.025	0.020 ± 0.004	ND	ND	ND
2.330 ± 0.442	1.295 ± 0.039	0.005 ± 0.001	ND	ND	ND
1.657 ± 0.168	0.964 ± 0.011	0.009 ± 0.006	ND	ND	ND

หมายถึง ตรวจไม่พบ Zn หมายถึง ธาตุสังกะสี
 หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร Cu หมายถึง ธาตุทองแดง
 หมายถึง ไมโครกรัม/ลิตร Cd หมายถึง ธาตุแคดเมียม
 หมายถึง ธาตุเหล็ก Pb หมายถึง ธาตุตะกั่ว
 หมายถึง ธาตุแมงกานีส



(ก)

(ข)



(ค)

ประกอบ 10 ความเข้มข้นโลหะหนักของแหล่งน้ำ

(ก) ความเข้มข้น Fe (ข) ความเข้มข้น Mn (ค) ความเข้มข้น Zn

หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร Cu หมายถึง ธาตุทองแดง
 หมายถึง ธาตุเหล็ก Cd หมายถึง ธาตุแคดเมียม
 หมายถึง ธาตุแมงกานีส Pb หมายถึง ธาตุตะกั่ว
 หมายถึง ธาตุสังกะสี

จากผลการตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนักดังตาราง 5 และภาพประกอบ 10 พบว่าความเข้มข้นของ Fe ในแหล่งน้ำ C และแหล่งน้ำ D มีค่าสูงกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (1.0 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยมีค่าเท่ากับ 2.330 ± 0.442 และ 1.657 ± 0.168 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของแหล่งน้ำ A และ B มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.112 ± 0.018 และ 0.186 ± 0.010 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของ Mn ของแหล่งน้ำ B แหล่งน้ำ C และแหล่งน้ำ D มีค่าสูงกว่าเกณฑ์อนุโลม (0.5 มิลลิกรัม/ลิตร) ในขณะที่แหล่งน้ำ A ตรวจไม่พบ Mn

ความเข้มข้นของ Zn ของแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (5.0 มิลลิกรัม/ลิตร) โดยความเข้มข้นของ Zn ในแหล่งน้ำ A, B, C และ D มีค่าเท่ากับ 0.017 ± 0.008 , 20 ± 0.004 , 0.005 ± 0.001 และ 0.009 ± 0.006 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

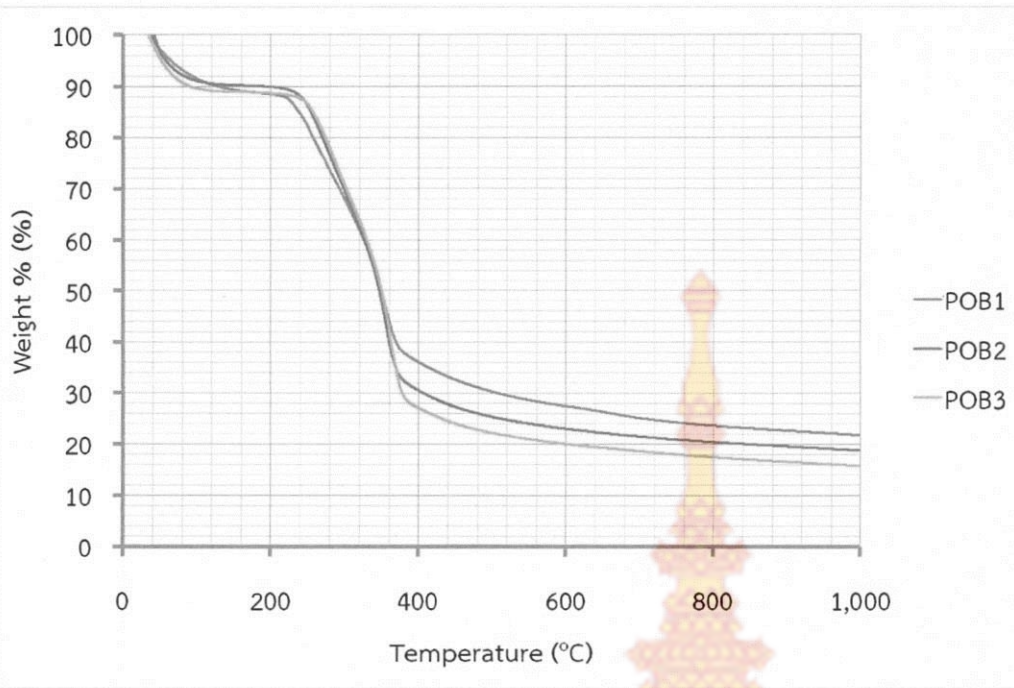
ความเข้มข้นของ Cu, Cd และ Pb ตรวจไม่พบในแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง โดยมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์การตรวจวัดของเครื่อง atomic absorption spectrometer

ถ่านกัมมันต์จากชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน

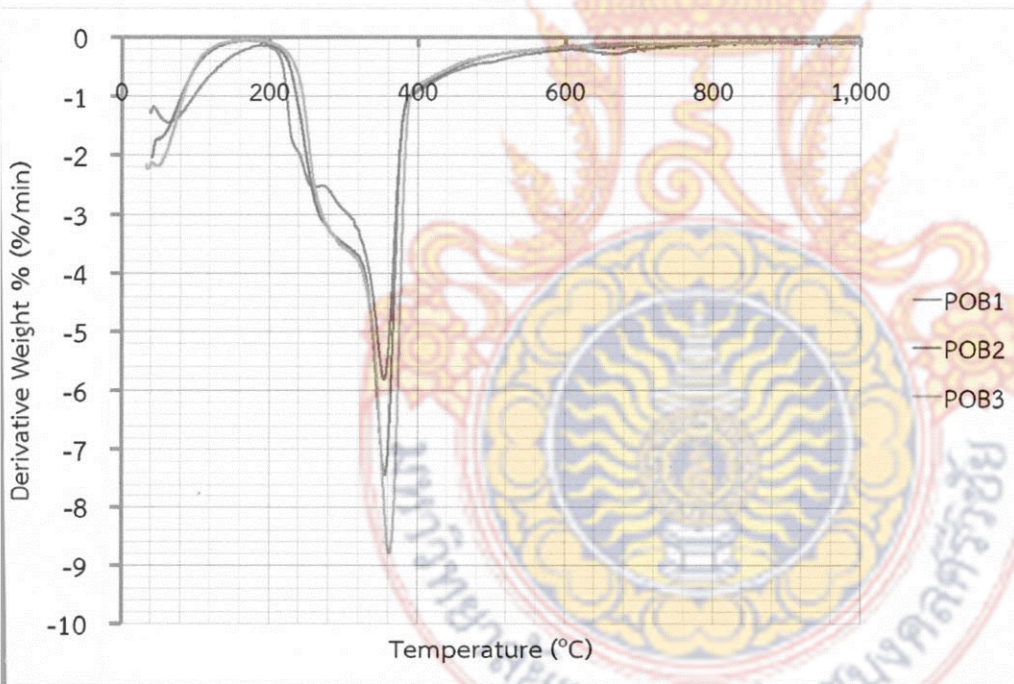
2.1 อุณหภูมิในการแปรสภาพชีวมวลทางปาล์มน้ำมันให้กลายเป็นถ่าน

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิในการแปรสภาพชีวมวลทางปาล์มน้ำมันให้กลายเป็นถ่าน ทำโดยการส่งตัวอย่างชีวมวลทางปาล์มน้ำมันแห้งไปทำการวิเคราะห์ การสูญเสียน้ำหนัก เมื่อให้ความร้อน (thermogravimetric analysis; TGA) และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Differential Thermal Analysis; DTA) จำนวน 3 ตัวอย่าง ผลปรากฏดังภาพประกอบ 11

จากภาพประกอบ 11 (ก) จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 240 องศาเซลเซียส การสูญเสียน้ำหนักของทางปาล์มน้ำมันมีค่าไม่สูงมาก ซึ่งหมายถึงช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้นี้เหมาะสมแก่การไล่ความชื้นของทางปาล์มน้ำมัน ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิ 240 – 400 องศาเซลเซียส ทางปาล์มน้ำมันมีสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็ว ซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้เหมาะสมแก่การไล่สารระเหยที่อยู่ในทางปาล์มน้ำมัน สำหรับช่วงอุณหภูมิ 400 – 600 องศาเซลเซียส จะเป็นได้ว่าในอุณหภูมิช่วงนี้ ทางปาล์มน้ำมันเกิดการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างต่ำ โดยอุณหภูมิช่วงนี้เหมาะสำหรับการแปรสภาพทางปาล์มน้ำมันเป็นถ่าน



(ก)



(ข)

ประกอบ 11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ (ก) TGA (ข) DTA ของทางปาล์มน้ำมัน

Weight % หมายถึง ร้อยละของน้ำหนักทางปาล์มน้ำมัน มีหน่วยเป็น %

Derivative weight % หมายถึง ร้อยละของผลต่างของน้ำหนักทางปาล์ม มีหน่วยเป็น %/min

2.2 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์เพื่อหาเงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน กระทำโดยขั้นตอนต่อไปนี้

2.2.1 การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารดูดซับ

ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนในปัจจุบันของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกซึ่งผลออกมาดังตาราง 6 และภาพประกอบ 12

จากตาราง 6 และภาพประกอบ 12 พบว่าการดูดซับไอโอดีนตามความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง นั้นการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 มีการดูดซับสูงสุด (544.71 ± 26 มิลลิกรัม/กรัม) รองลงมาได้แก่ การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 (361.87 ± 08 มิลลิกรัม/กรัม) สำหรับการใส่กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถดูดซับไอโอดีนได้ต่ำกว่าถ่านชีวมวลทางปาล์มที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น โดยมีค่าเท่ากับ 315.80 ± 50.74 และ 544.71 ± 4.21 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 รับการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่อไป

าง 6 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	F	p-value
control	$252.71 \pm 4.21c$	25.569**	0.005
20%	$315.80 \pm 50.74bc$		
50%	$361.87 \pm 33.08b$		
85%	$544.71 \pm 35.26a$		

หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

เฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรชนิดเดียวไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับ .05

control หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น

) หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 20 ในการกระตุ้น

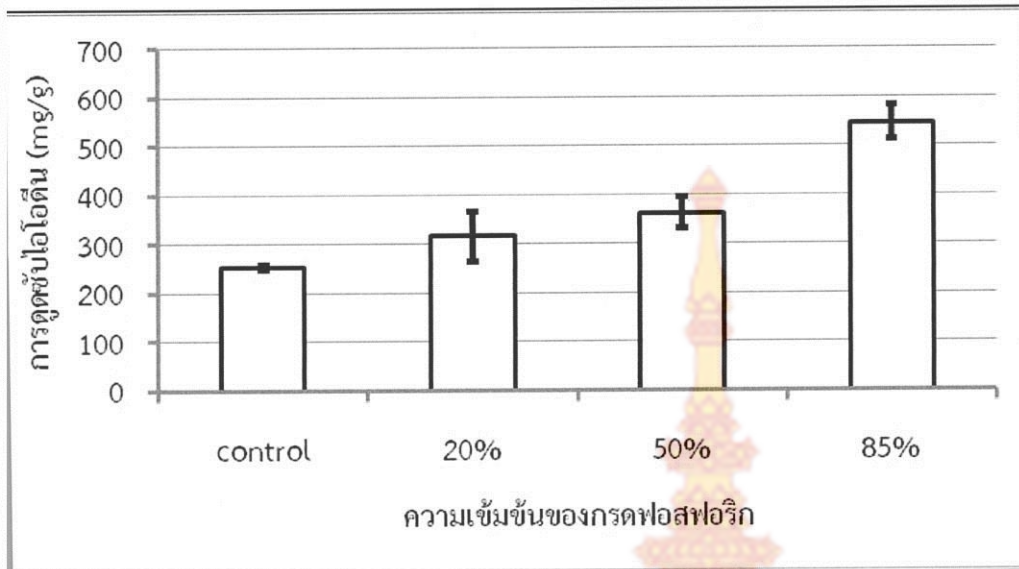
) หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 ในการกระตุ้น

) หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการกระตุ้น

g หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม

หมายถึง ค่าสถิติ F

value หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่ได้ค่าสถิติภายใต้สมมติฐานหลัก



ประกอบ 12 เปรียบเทียบการดูดซับโอโอตินตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง

control หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น

6 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 20 ในการกระตุ้น

6 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 ในการกระตุ้น

6 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการกระตุ้น

g หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม

2.2.2 การวิเคราะห์การดูดซับโอโอตินโดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับโอโอตินโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้น กัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 แล้วเปรียบเทียบการดูดซับโอโอตินในปัจจัยของเวลาในการกระตุ้น ซึ่งผลมาดังตาราง 7 และภาพประกอบ 13

จากตาราง 7 และภาพประกอบ 13 พบว่าการดูดซับโอโอตินโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 นั้นการกระตุ้นโดยใช้เวลา 6, 8 และ 10 ชั่วโมง ให้ค่าการดูดซับโอโอตินไม่แตกต่างกัน และมีการดูดซับโอโอตินได้สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 534.43 ± 41.92 , 547.75 ± 40.88 และ 544.71 ± 35.26 กรัม/กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การกระตุ้นโดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับโอโอตินไม่ต่างกัน โดยมีค่าเท่ากับ 455.80 ± 33.14 และ 486.17 ± 4.77 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และมีความน่าจะเป็นที่ถ่านชีวมวลทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้น โดยมีค่าเท่ากับ 252.71 ± 4.21 กรัม/กรัม และการกระตุ้นโดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง สามารถดูดซับโอโอตินได้ไม่แตกต่างกัน

กระตุ้นที่ใช้เวลา 6 ชั่วโมง แต่มีการดูดซับได้ต่ำกว่าการกระตุ้นที่ใช้เวลา 8 และ 10 ชั่วโมง ด้วย
 นี้จึงเลือกเวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่อไป
 จากมีค่าการดูดซับสูงสุด และใช้เวลาต่ำสุด

นาง 7 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามเวลาในการกระตุ้นโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วน
 ถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85

ลาในการกระตุ้น	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	F	p-value
control	252.71 ± 4.21c	26.205**	0.001
2 hr	455.80 ± 33.14b		
4 hr	486.17 ± 4.77b		
6 hr	534.43 ± 41.92ab		
8 hr	547.75 ± 40.88a		
10 hr	544.71 ± 35.26a		

หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

วลีที่ตามด้วยอักษรชนิดเดียวไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับ .05

control หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น

2 hr หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง

4 hr หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง

6 hr หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

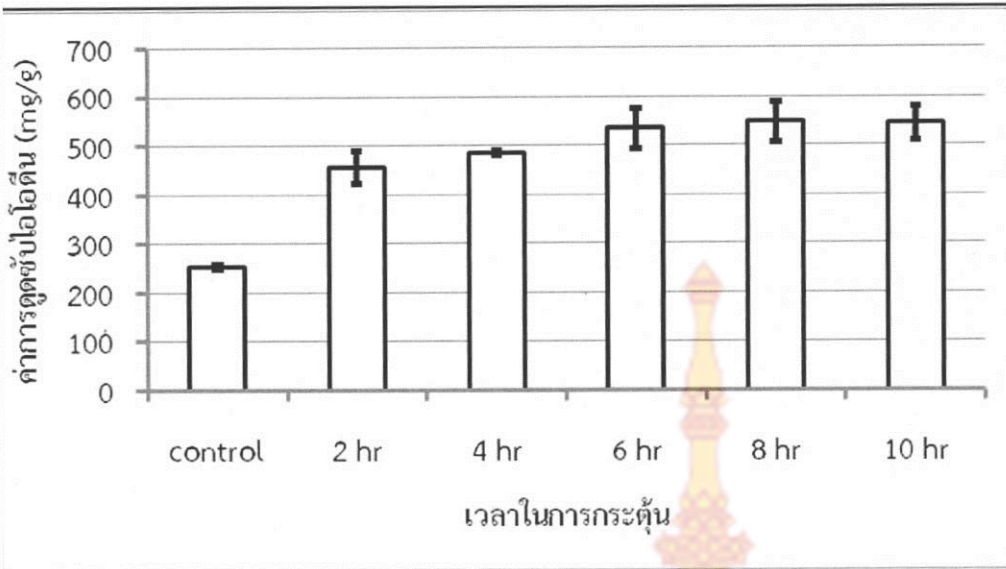
8 hr หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 8 ชั่วโมง

10 hr หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง

mg หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม

p-value หมายถึง ค่าสถิติ F

หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่ได้ค่าสถิติภายใต้สมมติฐานหลัก



ประกอบ 13 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามเวลาในการกระตุ้นโดยเงื่อนไขการกระตุ้น อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85

trol

หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 8 ชั่วโมง

hr

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง

g

หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม

2.2.3 การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนถ่าน : กรด

ฟอสฟอริก

ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้น กัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้ กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 และใช้เวลา 6 มง ในการกระตุ้นแล้วเปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนในปัจจุบันของเวลาในการกระตุ้น ซึ่งผล มาดังตาราง 8 และภาพประกอบ 14

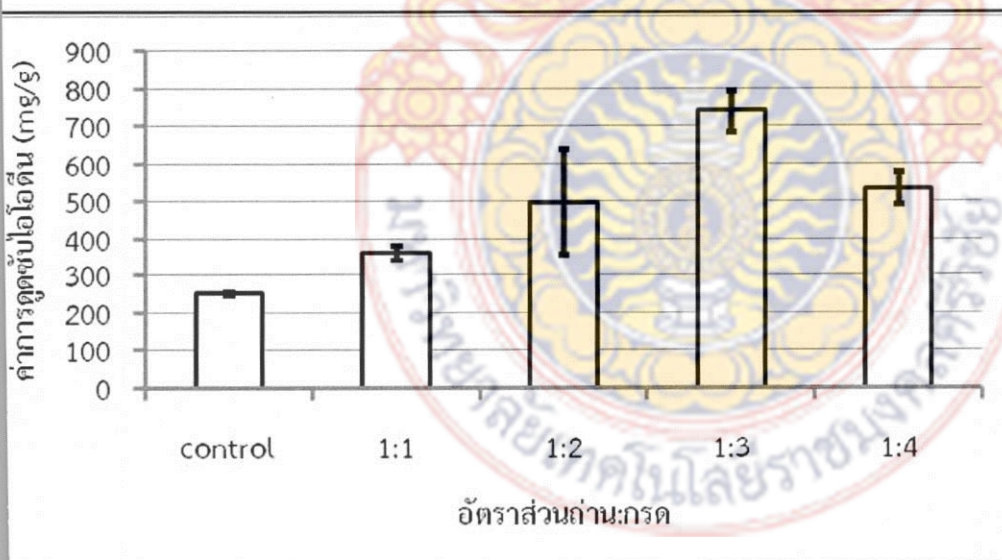
ภาพ 8 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามอัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก โดยเงื่อนไขการกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง

อัตราส่วนถ่าน:กรด	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)	F	p-value
control	252.71 ± 4.21c	13.360**	0.007
1:1	362.52 ± 21.35bc		
1:2	498.55 ± 141.74b		
1:3	739.39 ± 55.97a		
1:4	534.43 ± 41.92b		

หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรชนิดเดียวไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับ .05

control หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:1
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:2
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:3
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:4
 /g หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม
 value หมายถึง ค่าสถิติ F
 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่ได้ค่าสถิติภายใต้สมมติฐานหลัก



ประกอบ 14 เปรียบเทียบการดูดซับไอโอดีนตามอัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก โดยเงื่อนไข การกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง

control หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:1

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:2

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:3

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:4

/g หมายถึง มิลลิกรัม/กรัม

จากตาราง 8 และภาพประกอบ 14 พบว่าการดูดซับไอโอดีนตามอัตราส่วน : กรดฟอสฟอริก โดยเงื่อนไขการกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 มง นั้นการใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 3 มีการดูดซับไอโอดีนสูงสุด (739.39 ± 97 มิลลิกรัม/กรัม) รองลงมาได้แก่การใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 2 (498.55 ± 74 มิลลิกรัม/กรัม) และ 1 : 4 (534.43 ± 41.92 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งทั้งสองอัตราส่วนนี้มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่แตกต่างกัน และกลุ่มที่มีการดูดซับไอโอดีนต่ำสุดคือการใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 1 (362.52 ± 21.35 มิลลิกรัม/กรัม) และถ่านชีวมวลทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่มีการกระตุ้น (252.71 ± 4.21 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งทั้งสองนี้มีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันที่มีการดูดซับไอโอดีนสูงสุดคือใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1: 3 โดยใช้ในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

2.3 การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์เพื่อหาเงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมัน กระทำโดยขั้นตอนต่อไปนี้

2.3.1 การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร

ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้นกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูในปัจจัยของความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ซึ่งผลออกมาดังตาราง 9 ภาพประกอบ 15 และภาพประกอบ 16

ราง 9 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก

ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู					
มาณถ่าน (g/L)	control	ปริมาณถ่าน (g/L)	20% H ₃ PO ₄	50% H ₃ PO ₄	85% H ₃ PO ₄
1	36.34 ± 5.13	1	32.86 ± 1.15	42.68 ± 1.20	52.90 ± 0.26
2	55.17 ± 1.01	2	57.77 ± 2.52	81.41 ± 1.33	91.96 ± 2.14
3	62.85 ± 1.15	3	68.83 ± 0.47	89.99 ± 1.58	95.77 ± 0.09
4	79.50 ± 0.60	4	84.01 ± 1.41	94.32 ± 0.51	97.61 ± 2.23
6	96.43 ± 0.06	5	99.33 ± 0.09	98.49 ± 0.43	99.70 ± 0.21
8	98.85 ± 0.09	6	99.61 ± 0.13	99.61 ± 0.13	99.82 ± 0.14
10	99.55 ± 0.13	7	99.88 ± 0.09	99.76 ± 0.09	99.94 ± 0.03

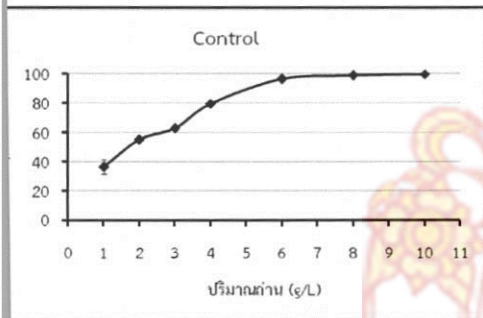
control หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น

6 H₃PO₄ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 20 ในการกระตุ้น

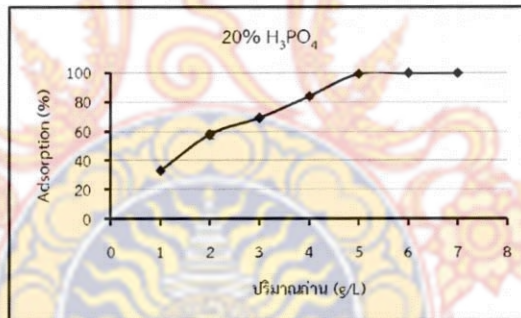
6 H₃PO₄ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 ในการกระตุ้น

6 H₃PO₄ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการกระตุ้น

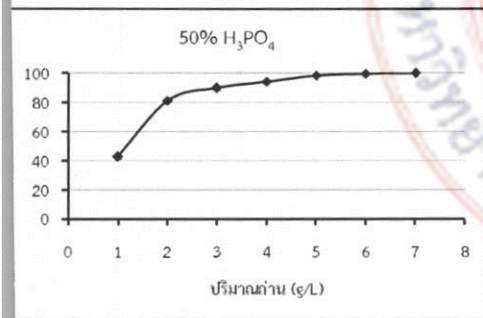
หมายถึง กรัม/ลิตร



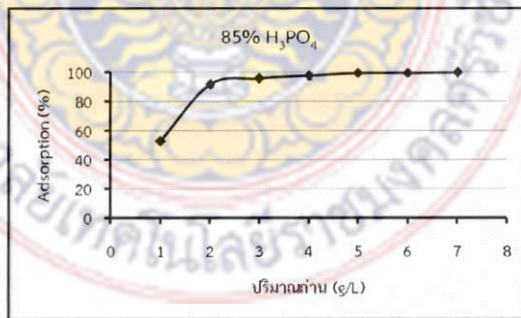
(ก)



(ข)



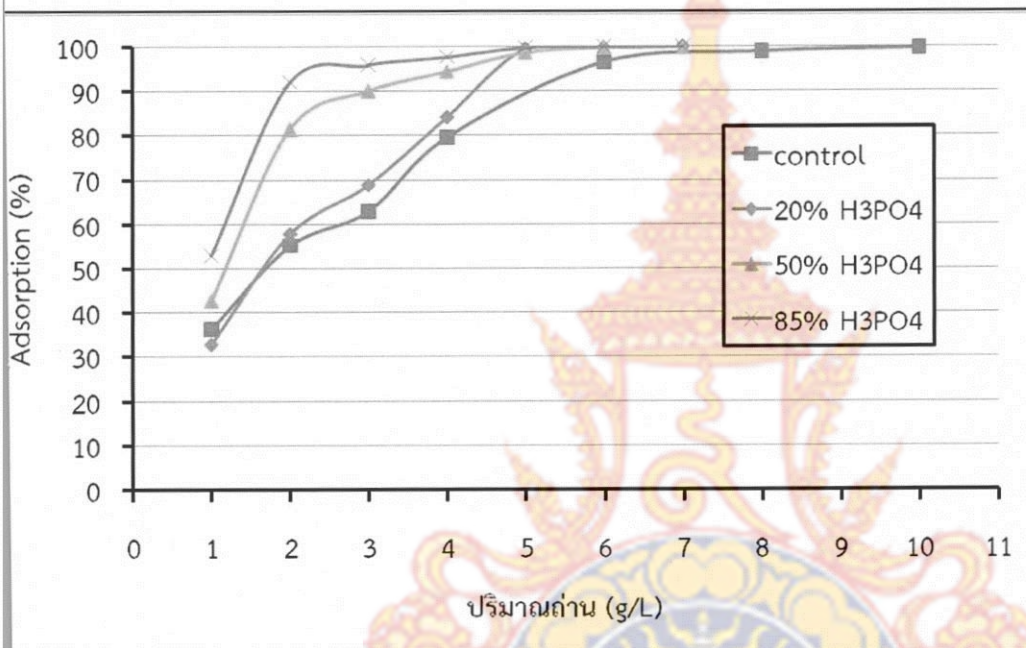
(ค)



(ง)

ประกอบ 15 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก

	(ก) ถ่านที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น (ข) ถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดเข้มข้นร้อยละ 20
	(ค) ถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดเข้มข้นร้อยละ 50 (ง) ถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดเข้มข้นร้อยละ 85
ontrol	หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 20 ในการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 ในการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการกระตุ้น
	หมายถึง กรัม/ลิตร
orption	หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ



ประกอบ 16 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก

ontrol	หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 20 ในการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 50 ในการกระตุ้น
% H ₃ PO ₄	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการกระตุ้น
	หมายถึง กรัม/ลิตร
orption	หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ

จากตาราง 9 ภาพประกอบ 15 และภาพประกอบ 16 พบว่า การดูดซับเมทิลีนบลูตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ในเงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยใช้อัตราส่วนถ่าน : ฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง นั้นกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 มีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ โดยมีร้อยละการดูดซับ

ลีนบลูที่คงที่โดยใช้ปริมาณถ่านตัวอย่างน้อยกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ (4 กรัม/ลิตร) ด้วยเหตุนี้จึงกความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 ในการวิเคราะห์การดูดซับเทลิโนบลูในปัจจัยของเวลาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ต่อไป

2.3.2 การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูโดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

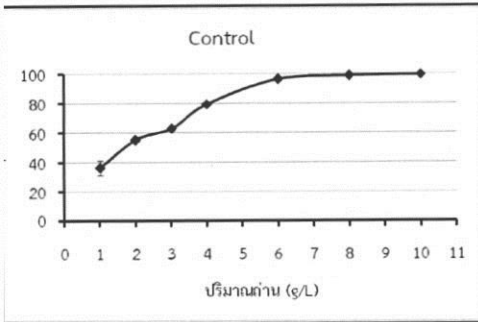
ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 แล้วเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูในปัจจัยของเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ซึ่งผลออกมาดังตาราง 10 ภาพประกอบ 17 และภาพประกอบ 18

จากตาราง 10 ภาพประกอบ 17 และภาพประกอบ 18 พบว่าการดูดซับเมทิลีนบลูตามเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ ในเงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 4 ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 นั้นเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 6 มง และ 10 ชั่วโมง มีการดูดซับเมทิลีนบลูที่ใกล้เคียงกัน (4 กรัม/ลิตร) แต่เวลา 6 ชั่วโมง ใช้เวลามากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงเลือกเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ 6 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์การดูดซับเทลิโนบลูในปัจจัยของเวลาในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ต่อไป

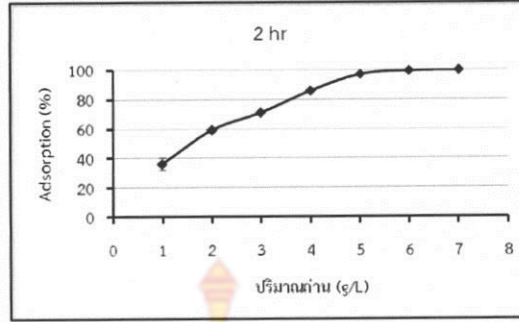
าง 10 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยเวลาในการกระตุ้น

ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู							
ถ่าน (L)	control	ปริมาณถ่าน (g/L)	2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	10 hr
1	36.34 ± 5.13	1	36.29 ± 4.26	34.56 ± 4.56	34.29 ± 8.04	34.43 ± 0.04	52.9 ± 0.26
2	55.17 ± 1.01	2	58.98 ± 1.51	70.99 ± 1.38	88.2 ± 7.48	74.20 ± 0.71	91.96 ± 2.14
3	62.85 ± 1.15	3	70.65 ± 0.04	85.31 ± 4.34	93.71 ± 0.82	86.28 ± 0.77	95.77 ± 0.09
4	79.50 ± 0.60	4	85.74 ± 1.25	93.1 ± 0.30	96.32 ± 0.47	93.44 ± 0.04	97.61 ± 0.81
5	96.43 ± 0.06	5	96.96 ± 0.04	99.51 ± 0.14	99.51 ± 0.42	97.58 ± 0.28	99.7 ± 0.17
3	98.85 ± 0.09	6	99.27 ± 0.11	99.87 ± 0.06	99.94 ± 0.04	99.09 ± 0.03	99.82 ± 0.14
0	99.55 ± 0.13	7	99.7 ± 0.14	99.94 ± 0.04	99.94 ± 0.03	99.88 ± 0.04	99.94 ± 0.04

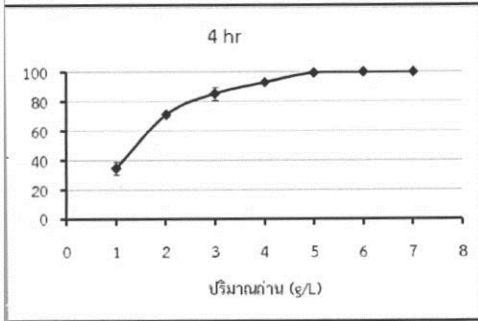
control หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น
 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง
 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง
 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง
 หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 8 ชั่วโมง
 r หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง
 หมายถึง กรัม/ลิตร



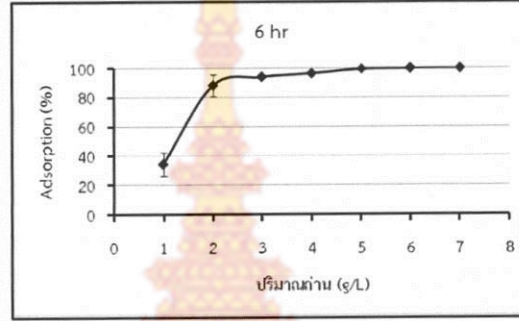
(ก)



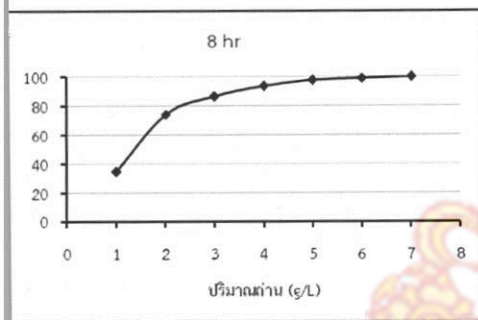
(ข)



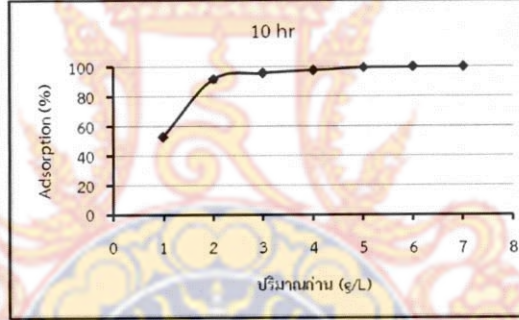
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ประกอบ 17 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยเวลาในการกระตุ้น

(ก) ถ่านที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น (ข) ถ่านที่กระตุ้นด้วยเวลา 2 ชั่วโมง

(ค) ถ่านที่กระตุ้นด้วยเวลา 4 ชั่วโมง (ง) ถ่านที่กระตุ้นด้วยเวลา 6 ชั่วโมง

(จ) ถ่านที่กระตุ้นด้วยเวลา 8 ชั่วโมง (ฉ) ถ่านที่กระตุ้นด้วยเวลา 10 ชั่วโมง

control หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง

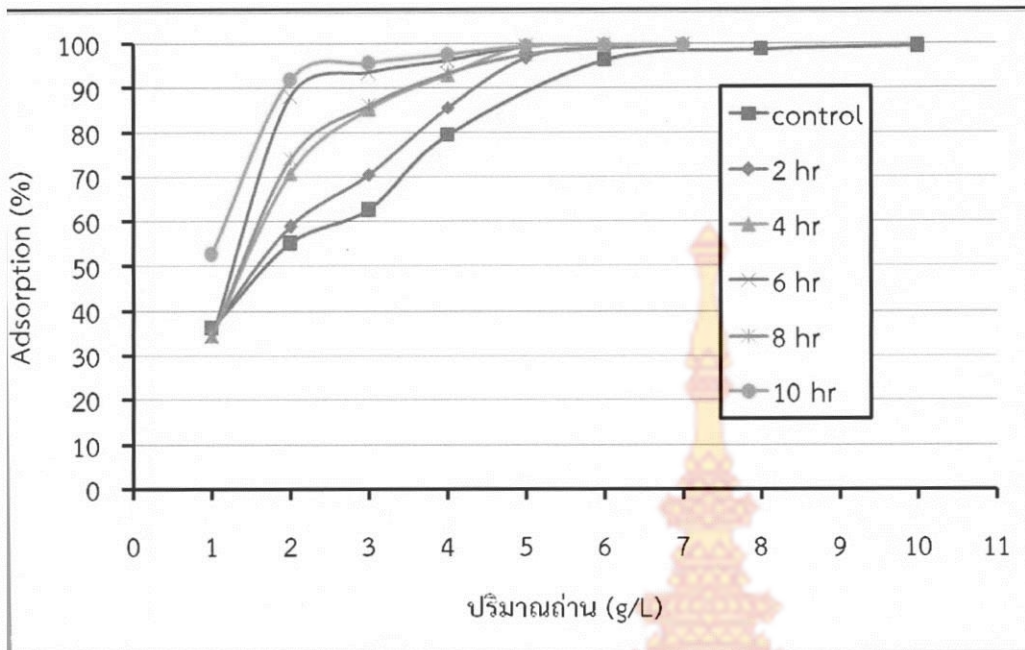
หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 8 ชั่วโมง

หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง

หมายถึง กรัม/ลิตร

Adsorption หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ



ประกอบ 18 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยเวลาในการกระตุ้น

control	หมายถึง ถ่านทางปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น
2 hr	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง
4 hr	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 4 ชั่วโมง
6 hr	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง
8 hr	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 8 ชั่วโมง
10 hr	หมายถึง ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันที่ใช้เวลาในการกระตุ้น 10 ชั่วโมง
Adsorption	หมายถึง กรัม/ลิตร
Adsorption	หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ

2.3.3 การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนถ่าน : กรด

ในเงื่อนไขนี้ เป็นการเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้น กัมมันต์ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันคือ ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบการดูดซับเมทิลีนบลูในปัจจัยของอัตราส่วนถ่าน : กรด ซึ่งผลออกมาดัง ภาพประกอบ 19 และ ภาพประกอบ 20

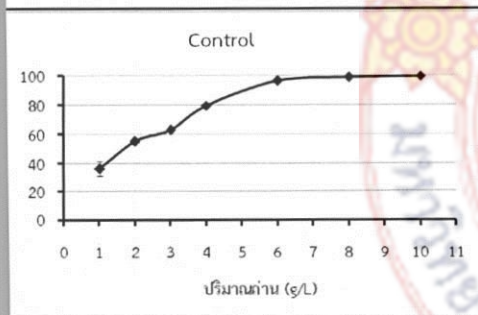
จากตาราง 11 ภาพประกอบ 19 และภาพประกอบ 20 พบว่าการดูดซับเมทิลีนบลูตามอัตราส่วน ถ่าน : กรดฟอสฟอริก โดยเงื่อนไขการกระตุ้น กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง นั้นการใช้อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 3 มีการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด โดยใช้ปริมาณถ่านน้อยที่สุด (3 กรัม/ลิตร) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการกระตุ้นถ่านกัม

ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันที่มีการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดคือ การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 อัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1: 3 โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง

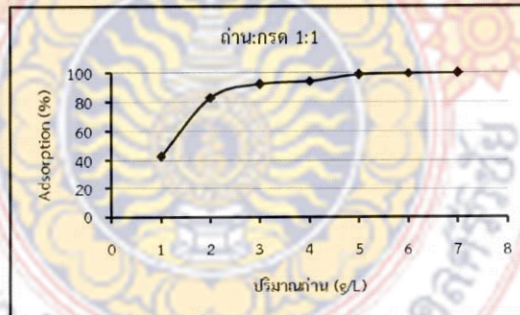
าง 11 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยอัตราส่วนถ่าน : กรดฟอสฟอริก

ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู						
มาณถ่าน (g/L)	control	ปริมาณถ่าน (g/L)	1:1	1:2	1:3	1:4
1	36.34 ± 5.13	1	42.77 ± 0.86	56.79 ± 0.99	64.69 ± 4.86	34.29 ± 8.04
2	55.17 ± 1.01	2	83.21 ± 0.34	81.69 ± 19.18	92.15 ± 2.41	88.20 ± 7.48
3	62.85 ± 1.15	3	92.37 ± 0.13	90.88 ± 7.40	95.65 ± 0.13	93.71 ± 0.82
4	79.50 ± 0.60	4	94.34 ± 0.86	94.74 ± 2.28	96.2 ± 0.22	96.32 ± 0.47
6	96.43 ± 0.06	5	98.66 ± 0.17	99.09 ± 0.03	99.09 ± 0.06	99.51 ± 0.28
8	98.85 ± 0.09	6	99.70 ± 0.14	99.64 ± 0.28	99.82 ± 0.14	99.94 ± 0.04
10	99.55 ± 0.13	7	99.94 ± 0.04	99.94 ± 0.04	99.94 ± 0.04	99.94 ± 0.03

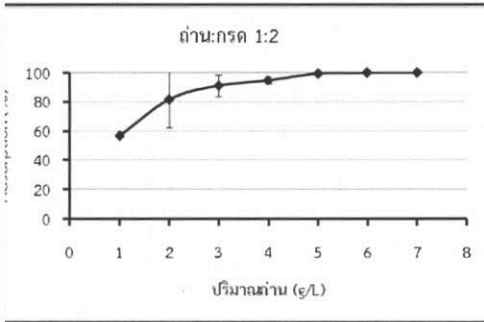
trol หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:1
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:2
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:3
 หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:4
 หมายถึง กรัม/ลิตร



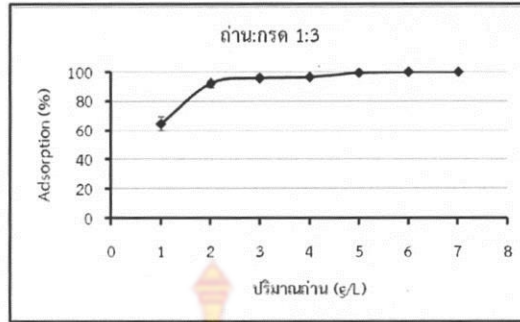
(ก)



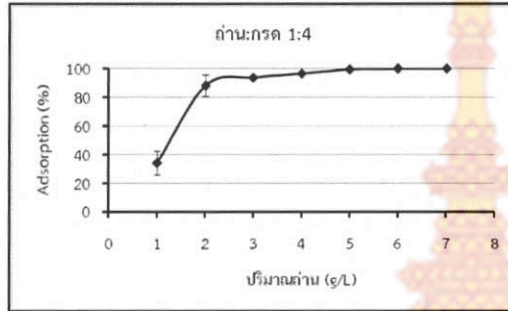
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ประกอบ 19 ปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยอัตราส่วนของถ่าน : กรด

(ก) ถ่านที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น (ข) ถ่านที่กระตุ้นด้วยอัตรา ถ่าน : กรด 1 : 1

(ค) ถ่านที่กระตุ้นด้วยอัตรา ถ่าน : กรด 1 : 2 (ง) ถ่านที่กระตุ้นด้วยอัตรา ถ่าน : กรด 1 : 3

(จ) ถ่านที่กระตุ้นด้วยอัตรา ถ่าน : กรด 1 : 4

ontrol หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:1

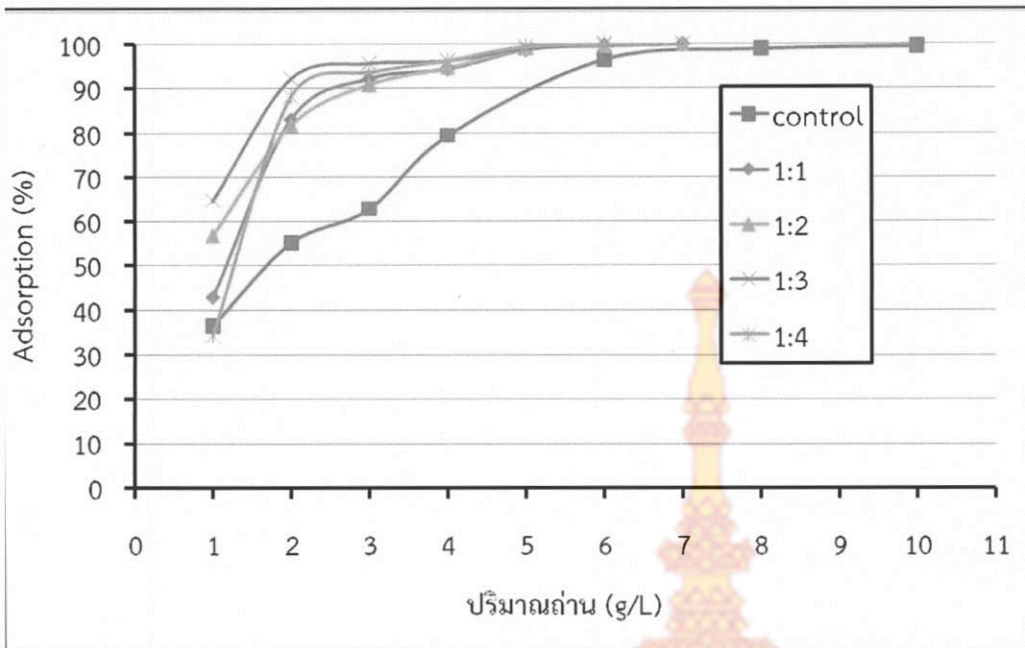
หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:2

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:3

หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:4

หมายถึง กรัม/ลิตร

orption หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ



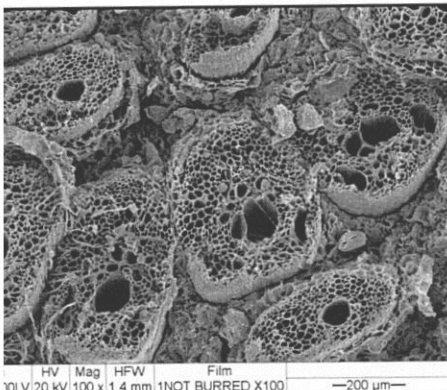
ประกอบ 20 เปรียบเทียบปริมาณถ่านที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูตามปัจจัยอัตราส่วน
ของถ่าน : กรด

control หมายถึง ถ่านที่ทางปาล์มน้ำมันยังไม่ได้รับการกระตุ้น
หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:1
หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:2
หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:3
หมายถึง อัตราส่วนถ่านต่อกรดที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 1:4
หมายถึง กรัม/ลิตร

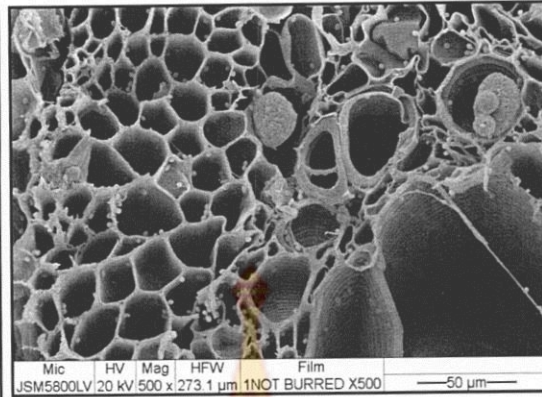
orption หมายถึง ร้อยละการดูดซับเมทิลีนบลู มีหน่วยเป็นร้อยละ

2.4 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

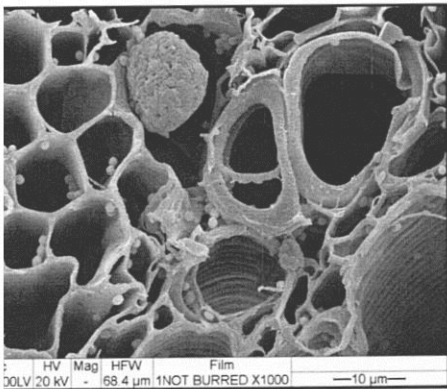
การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กระทำ 2
หน้าได้แก่ บริเวณพื้นผิวภาคตัดขวาง และบริเวณด้านข้างของตัวอย่าง โดยใช้กำลังขยาย 100,
1,000 และ 2,000 เท่า ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นดังภาพประกอบ 21 ถึงภาพประกอบ 26



(ก)



(ข)



(ค)

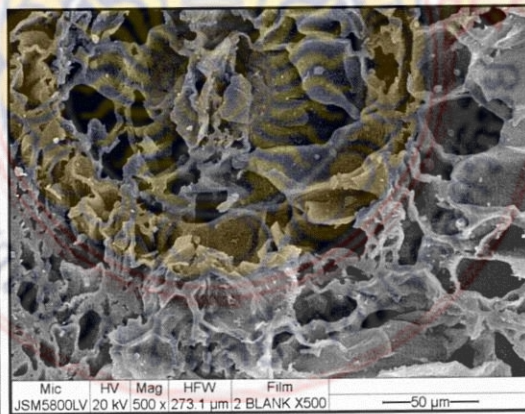


(ง)

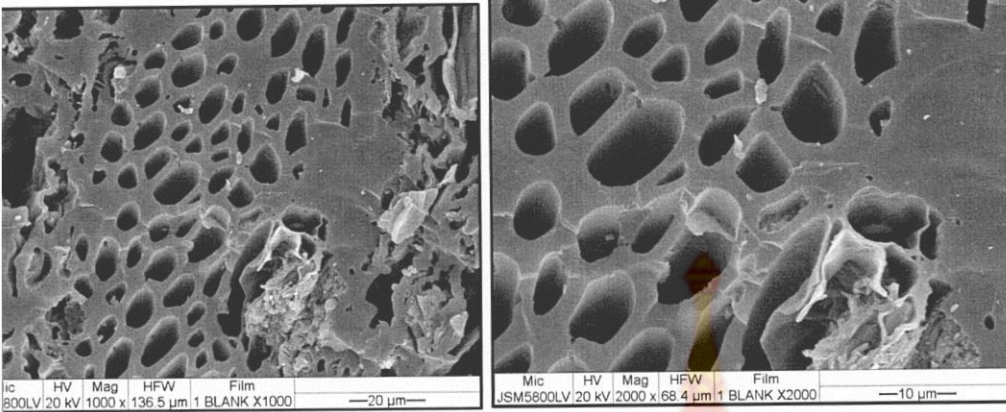
ประกอบ 21 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของทางปาล์มน้ำมันสดจากกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
(ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 500 เท่า
(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า (ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

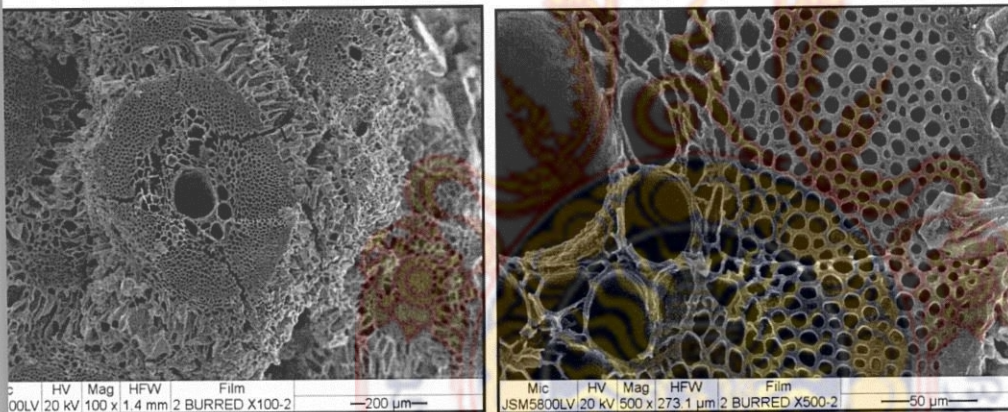
ประกอบ 22 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของถ่านทางปาล์มน้ำมันจากกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(ก) กำลังขยาย 100 เท่า

(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

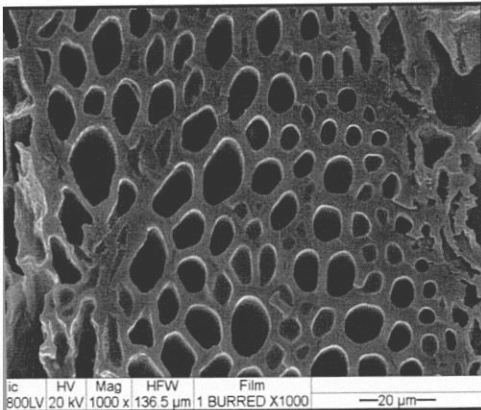
(ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า



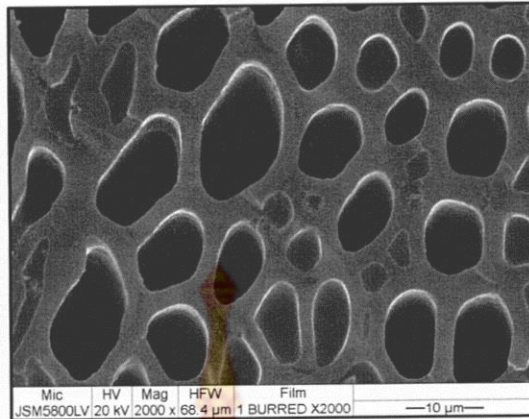
(ก)

(ข)





(ก)



(ข)

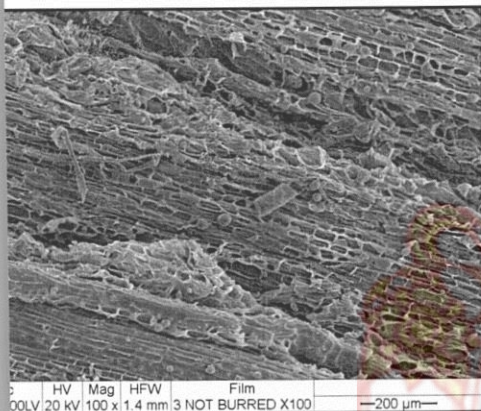
ประกอบ 23 ภาพบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันเงื่อนไข กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 เวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(ก) กำลังขยาย 100 เท่า

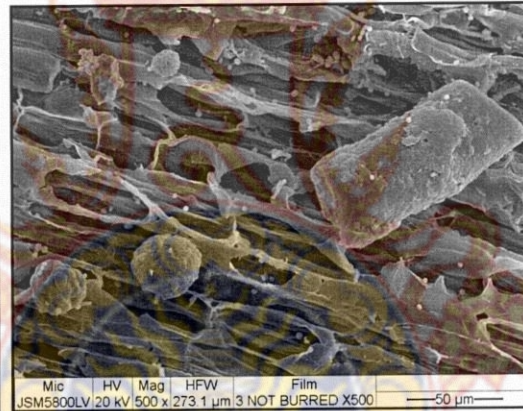
(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

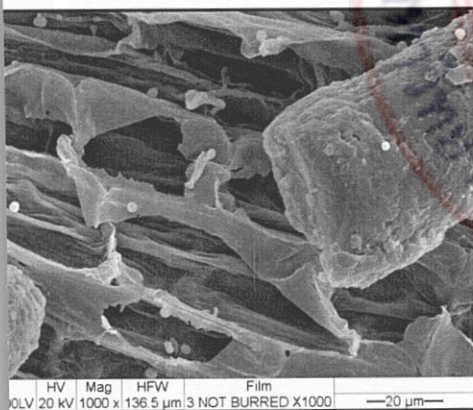
(ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า



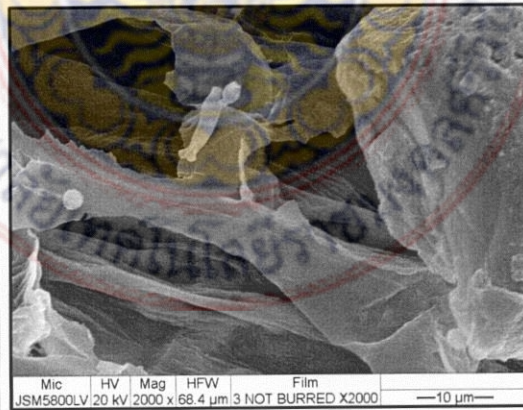
(ค)



(ง)



(ค)



(ง)

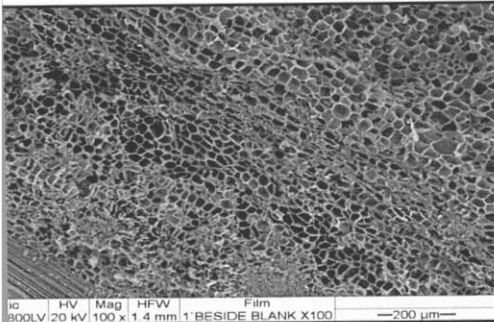
ประกอบ 24 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของทางไบปาล์มน้ำมันสดจากกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(ก) กำลังขยาย 100 เท่า

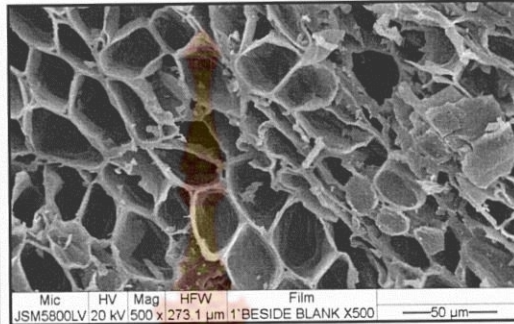
(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

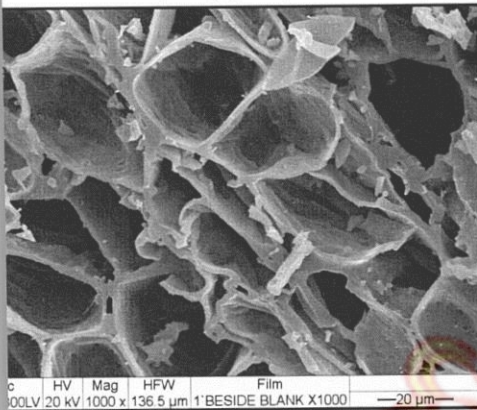
(ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า



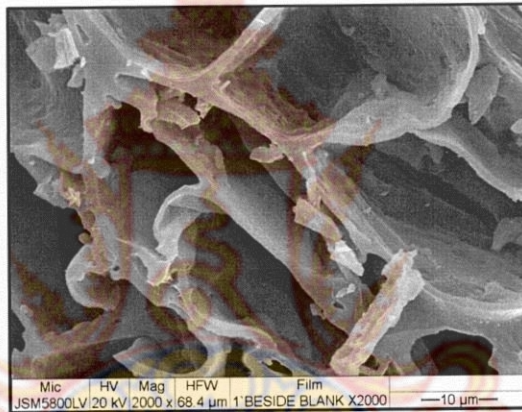
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ประกอบ 25 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านทางปาล์มน้ำมันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
ชนิดส่องกราด

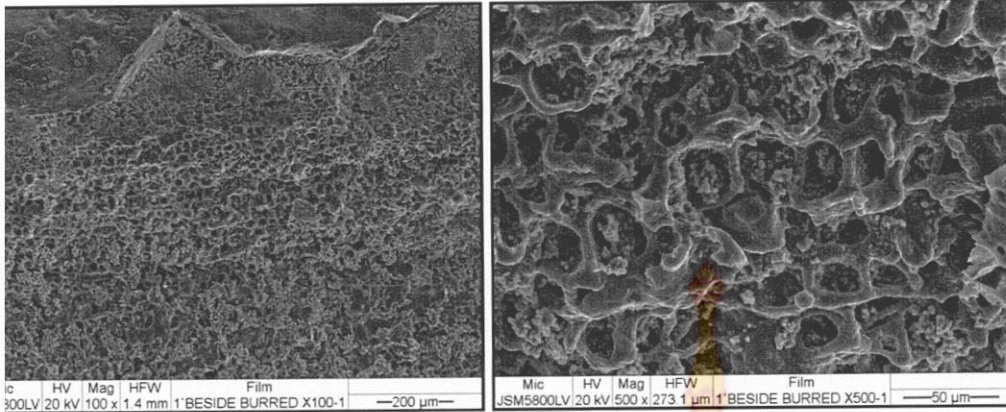
(ก) กำลังขยาย 100 เท่า

(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

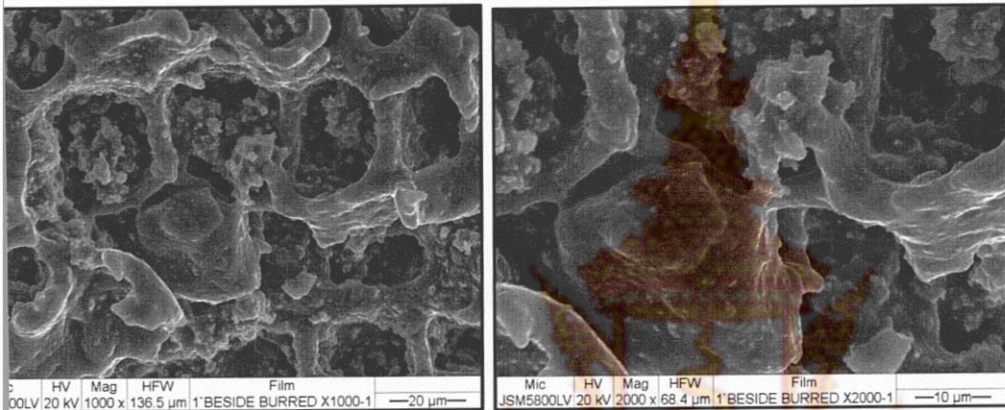
(ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า





(ค)

(ง)



(ค)

(ง)

ประกอบ 26 ภาพบริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันเงื่อนไข กรดฟอสฟอริก ร้อยละ 85 เวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

(ก) กำลังขยาย 100 เท่า

(ข) กำลังขยาย 500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1,000 เท่า

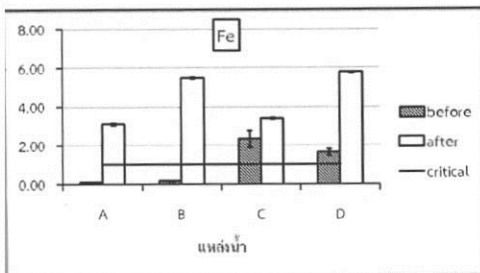
(ง) กำลังขยาย 2,000 เท่า

จากภาพประกอบ 21 ถึงภาพประกอบ 26 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า ในส่วนของพื้นผิวถ่านกัมมันต์ภาคตัดขวางไม่พบการกีดกันของกรดฟอสฟอริกอย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้านข้างพบการกีดกันของกรดฟอสฟอริกที่ชัดเจน ซึ่งเป็นผลทำให้เพิ่มการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู

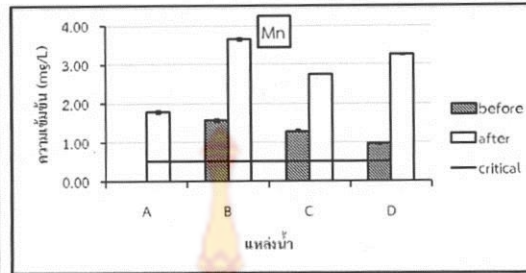
2.5 ลักษณะน้ำบาดาลที่ผ่านการกรองโดยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน

เมื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำในชุมชนบางเขียดทั้ง 4 แหล่ง มากรองน้ำผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันโดยใช้เงื่อนไขการกระตุ้นคือ กรดฟอสฟอริกร้อยละ 85 เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง ใช้ส่วนถ่านทางปาล์มน้ำมันต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1 : 3 เมื่อทำการกรองเสร็จแล้วนำตัวอย่างวิเคราะห์โลหะหนักได้แก่ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption

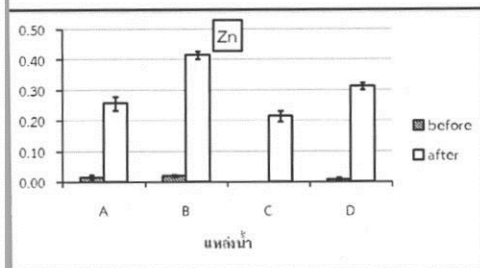
ctrometer แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักดังกล่าวก่อนกรอง ผลปรากฏดัง
 าว 12 และภาพประกอบ 27



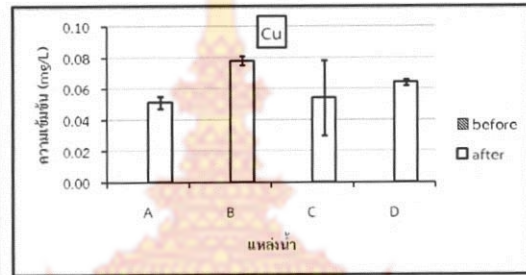
(ก)



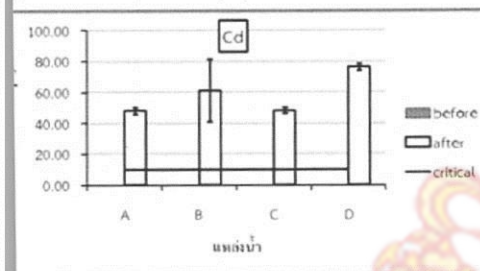
(ข)



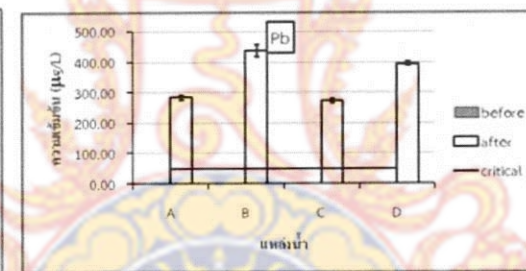
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ประกอบ 27 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำระหว่างก่อนกรองและหลังกรองด้วย
 ถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน

(ก) ความเข้มข้น Fe, (ข) ความเข้มข้น Mn, (ค) ความเข้มข้น Zn

(ง) ความเข้มข้น Cu (จ) ความเข้มข้น Cd, (ฉ) ความเข้มข้น Pb

ore หมายถึง ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน

after หมายถึง ความเข้มข้นโลหะหนักหลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน

critical หมายถึง ความเข้มข้นโลหะหนักในเกณฑ์อนุโลมสูงสุด

g หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร

g หมายถึง ไมโครกรัม/ลิตร

ตาราง 12 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำระหว่างก่อนกรองและหลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมัน

แหล่งน้ำ	Fe (mg/L)		Mn (mg/L)		Zn (mg/L)		Cu (mg/L)		Cd (µg/L)		Pb (µg/L)	
	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ก่อนกรอง	หลังกรอง	ก่อนกรอง	หลังกรอง
A	0.112	3.125	ND	1.801	0.017	0.258	ND	0.051	ND	48.273	ND	284.500
B	0.186	5.519	1.589	3.660	0.020	0.416	ND	0.078	ND	61.193	ND	439.367
C	2.330	3.411	1.295	2.737	0.005	0.216	ND	0.054	ND	48.337	ND	273.667
D	1.657	5.771	0.964	3.268	0.009	0.313	ND	0.064	ND	76.390	ND	395.200

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ก่อนกรอง หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในน้ำก่อนกรองด้วยถ่านกัมมันต์

หลังกรอง หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในน้ำหลังกรองด้วยถ่านกัมมันต์

mg/g หมายถึง มิลลิกรัม/ลิตร

µg/g หมายถึง ไมโครกรัม/ลิตร



จากตาราง 12 และภาพประกอบ 27 พบว่าน้ำจากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่งจากชุมชนบางเขียดที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันมีค่าสูงขึ้นทั้งหมด โดยแหล่ง A จากเดิมที่มีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 0.112 มิลลิกรัม/ลิตร, ND, 0.017 มิลลิกรัม/ลิตร, ND, ND และ ND ตามลำดับ เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันแล้ว ปรากฏว่ามีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 3.125 มิลลิกรัม/ลิตร, 1.801 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.258 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.051 มิลลิกรัม/ลิตร, 48.273 ไมโครกรัม/ลิตร และ 284.500 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ

แหล่งน้ำ B จากเดิมที่มีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 0.186 มิลลิกรัม/ลิตร, 1.589 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.020 มิลลิกรัม/ลิตร, ND, ND และ ND ตามลำดับ เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันแล้ว ปรากฏว่ามีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 5.519 มิลลิกรัม/ลิตร, 3.660 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.416 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.078 มิลลิกรัม/ลิตร, 61.193 ไมโครกรัม/ลิตร และ 439.367 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ

แหล่งน้ำ C จากเดิมที่มีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 2.330 มิลลิกรัม/ลิตร, 1.295 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร, ND, ND และ ND ตามลำดับ เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันแล้ว ปรากฏว่ามีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 3.411 มิลลิกรัม/ลิตร, 2.737 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.216 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.054 มิลลิกรัม/ลิตร, 48.337 ไมโครกรัม/ลิตร และ 273.667 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ

แหล่งน้ำ D จากเดิมที่มีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 1.657 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.964 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร, ND, ND และ ND ตามลำดับ เมื่อกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันแล้ว ปรากฏว่ามีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เท่ากับ 5.771 มิลลิกรัม/ลิตร, 3.268 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.313 มิลลิกรัม/ลิตร, 0.064 มิลลิกรัม/ลิตร, 76.390 ไมโครกรัม/ลิตร และ 395.200 ไมโครกรัม/ลิตร ตามลำดับ



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

1. สรุปผลของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลพื้นที่ตำบลบางเขียด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา และผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ชีวมวลจากทางปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบ และนำไปประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำชุมชนโดยประกอบและติดตั้งชุดกรองน้ำต้นแบบในตำบลบางเขียด จำนวน 3 ชุด โดยตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บเป็นตัวอย่างน้ำที่ได้มาจากแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ตำบลบางเขียด จำนวน 4 แหล่ง และทางปาล์มน้ำมันที่นำมาแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์ได้มาจากแหล่งผลิตถ่านในชุมชน ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1.1 แหล่งน้ำในชุมชนบางเขียดที่มีปริมาณเหล็กปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (ราชกิจจานุเบกษา, 2551) ได้แก่ แหล่งน้ำในหมู่ 3, 4 และ 5 แหล่งน้ำที่มีปริมาณแมงกานีสเกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (ราชกิจจานุเบกษา, 2551) ได้แก่ แหล่งน้ำในหมู่ 2, 3, 4 และ 5 ปริมาณสังกะสีถูกตรวจพบแต่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด สำหรับทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว นั้นตรวจไม่พบในแหล่งน้ำชุมชนบางเขียด

1.2 ถ่านกัมมันต์ทางไปปาล์มน้ำมันที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เวลาในการกระตุ้น 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูดีที่สุด โดยค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าอยู่เกณฑ์ของ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มอก. 900-2547 (600 มิลลิกรัม/กรัม)

- ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันพบว่า ตรวจสอบเจอร่องรอยการทำปฏิกิริยาระหว่างถ่านกับกรดฟอสฟอริก โดยกรดฟอสฟอริกทำปฏิกิริยากับบริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของพื้นผิวภาคตัดขวางไม่พบร่องรอยการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริก

- น้ำจากแหล่งน้ำในชุมชนบางเขียดที่ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม 2559 ที่ผ่านการกรองโดยถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันมีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb เพิ่มขึ้นทุกแหล่ง

2. อภิปรายผลของการวิจัย

จากผลการวิจัยที่พบว่า

2.1 คุณภาพน้ำบาดาลที่มาจากแหล่งน้ำในชุมชนบางเขียดทั้ง 4 แหล่ง ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) ในแหล่งน้ำ C และ D ซึ่งตั้งอยู่ที่หมู่ที่ 3, 4 และ 5 (2.330 ± 0.442 และ 1.657 ± 0.168 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (1.0 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของสำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 12 (สงขลา) พบว่าบริเวณ

ถึงประปาบ้านบางเขียดมีปริมาณเหล็กในน้ำ 2.9 มิลลิกรัม/ลิตร (สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 12, 2544) และบริเวณบ้านบางเขียดมีปริมาณเหล็กในน้ำ 6.8 มิลลิกรัม/ลิตร (สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 12, 2509) ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ สำหรับค่าความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) ในแหล่งน้ำ B, C, และ D ซึ่งตั้งอยู่ที่หมู่ที่ 2, 3, 4 และ 5 (1.589 ± 0.025 , 1.295 ± 0.039 และ 0.964 ± 0.011 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (0.5 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งเหล็กและแมงกานีสเป็นแร่ธาตุที่พบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน, กรวด, หิน โดยทั่วไปจะพบในปริมาณไม่มากนัก เหล็กและแมงกานีส ที่พบโดยทั่วไปจะอยู่ในรูป oxides, carbonates sulphides และ complex organic combination เมื่อน้ำฝนซึมผ่านชั้นดิน จะละลายเอาธาตุเหล็กและแมงกานีสลงไปสู่แหล่งน้ำด้วย หรืออาจเกิดจากการผุกร่อนตามสภาพดินฟ้าอากาศของเหล็กและแมงกานีสที่อยู่ในแร่และหินต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน

2.2 ถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

2.2.1 การดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลู

- จากผลการวิจัยที่พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 เป็นสารกระตุ้นถ่านทางปาล์มน้ำมัน มีผลทำให้มีการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูได้สูงกว่าการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 20, 50 และไม่ได้ใช้สารกระตุ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกจะเป็นการเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาระหว่างถ่านกับสารกลุ่มฟอสเฟต ซึ่งจะส่งผลให้เพิ่มพื้นที่การดูดซับของถ่านกัมมันต์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ปรีนทร เต็มญารศิลป์ (2551) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ไม่ไผ่ตง และไม่ไผ่หมาจู้ มีผลทำให้การดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น และ ปรียาพา พาณิษฐ์ และ พุทธิดา ภูโอบ (2556) ที่พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกากปาล์มที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับไอโอดีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก เนื่องจากความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การกักต่อน้ำมันมากขึ้นตาม

- จากผลการวิจัยที่พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกกระตุ้นถ่านทางปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้เกิดการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูได้สูงสุด และมีค่าไม่แตกต่างกับการกระตุ้นใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นถึงระยะหนึ่งปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารกลุ่มฟอสเฟตกับถ่านเกิดการอิ่มตัว ไม่สามารถกระตุ้นถ่านให้เพิ่มการดูดซับได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับ ปรีนทร เต็มญารศิลป์ (2551) ที่พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นกระตุ้นถ่านกัมมันต์ไม่ไผ่ตง และไม่ไผ่หมาจู้ โดยแปรผันเวลาในการกระตุ้น เมื่อใช้เวลากระตุ้นโดยเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ค่าการดูดซับไอโอดีนจะค่อนข้างคงที่

- จากผลการวิจัยที่พบว่า การใช้อัตราส่วน ถ่าน : กรด ในการกระตุ้นถ่านทางใบปาล์มน้ำมัน เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น การดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูยิ่งสูงขึ้นจนกระทั่งอัตราส่วน ถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3 ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูสูงสุด เมื่อเพิ่มปริมาณกรดโดยใช้อัตราส่วน ถ่าน : กรด เป็น 1 : 4 ปรากฏว่าการดูดซับไอโอดีน และเมทิลีนบลูมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบที่สูงเกินไปจะไม่เป็นผลดีต่อการกระตุ้น เพราะสารกระตุ้นที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการปลดปล่อยสารระเหยและแก๊สที่เป็นผลจากการ

กระตุ้น ทำให้การพัฒนาารูพรุนเกิดขึ้นไม่ทั่วถึงทุกพื้นผิว (ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ (2557) ที่พบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูด้วยซิงก์คลอไรด์ เมื่อใช้อัตราส่วนถ่านจากเปลือกปูดต่อซิงก์คลอไรด์ 1 : 2 มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด เมื่อเพิ่มปริมาณซิงก์คลอไรด์โดยใช้อัตราส่วนเป็น 1 : 3 ส่งผลให้ค่าการดูดซับไอโอดีนลดลง และ เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ (2554) ที่พบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกและเมล็ดลิ้นจี่ด้วยกรดฟอสฟอริก เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนถ่านต่อกรด 1 : 3 เมื่อใช้อัตราส่วนถ่านต่อกรดเป็น 1 : 4 มีผลให้ค่าดังกล่าวลดลง และสอดคล้องกับ Ceyhan และคณะ (2013) ซึ่งศึกษาพื้นผิว และความพรุนจำเพาะของถ่านกัมมันต์โดยการใช้ชีวมวลที่ผ่านการไพโรไลซิส 2 ขั้นตอนที่อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ โดยทำการกระตุ้นเมล็ดมะกอกกรัสเซีย (*elaeasgnus angustifolia seeds*) ใช้ซิงก์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่าการใช้อัตราส่วนเมล็ดมะกอกกรัสเซียต่อสารกระตุ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารกระตุ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าสูงขึ้น (1 : 1 ถึง 1 : 3) โดยเมื่อถึงอัตราส่วน 1 : 4 ปรากฏว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลง

2.2.2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

จากผลการวิจัยที่พบว่าในส่วนของพื้นผิวถ่านกัมมันต์ภาคตัดขวางไม่พบการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกอย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้านข้างพบการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกที่ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก บริเวณพื้นผิวด้านข้างของถ่านทางปาล์มน้ำมันมีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาต่อกรดฟอสฟอริกมากกว่าบริเวณพื้นผิวภาคตัดขวางของถ่านทางปาล์มน้ำมัน ซึ่งการตรวจพบร่องรอยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารกระตุ้นและผิวถ่านนี้ได้สอดคล้องกับปัญหา มณีจักร (2555) ซึ่งได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุกหวาง โดยพบว่าผลจากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM นั้น สภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากลูกทุกหวางเมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกมีรูพรุนมากกว่าถ่านคาร์บอนไนซ์ และสอดคล้องกับ อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ (2557) ซึ่งศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูด พบว่าเมื่อนำตัวอย่างไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกปูดที่ผ่านการกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์มีขนาดของรูพรุนกว้างขึ้นและยังมีจำนวนรูพรุนมากขึ้นด้วย และสอดคล้องกับ ปรีนทร เต็มญารศิลป์ (2551) ซึ่งศึกษาถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ตง และไม้หมาจู้ พบว่าลักษณะของพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ตง และไม้หมาจู้ เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกแล้ว มีจำนวนรูพรุนมากขึ้น ซึ่งจำนวนรูพรุนที่เพิ่มขึ้นนั้นมีความสามารถในการดูดซับด้วย และสอดคล้องกับ Ozdemir และคณะ (2014) ซึ่งศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านองุ่นโดยใช้ซิงก์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้น พบว่าจากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของถ่านองุ่น และถ่านกัมมันต์ถ่านองุ่นมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยถ่านองุ่นมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบในระดับปานกลาง ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ถ่านองุ่นที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์มีลักษณะเป็นรูพรุนเล็ก ๆ และสอดคล้องกับ Ceyhan และคณะ (2013) ซึ่งศึกษาพื้นผิวและความพรุนจำเพาะของถ่านกัมมันต์โดยการใช้ชีวมวลที่ผ่านการไพโรไลซิส 2 ขั้นตอนที่อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ โดยทำการกระตุ้นเมล็ดมะกอกกรัสเซีย (*Elaeasgnus angustifolia seeds*) ใช้ซิงก์คลอ

ไรด์เป็นสารกระตุ้น พบว่า ลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เมล็ดมะกอกรัสเซียที่ตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด มีลักษณะผิวที่เปลี่ยนไป และมีผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

2.2.3 การดูดซับโลหะหนักในน้ำบาดาลจากแหล่งน้ำในชุมชนบางเขียด

จากผลการวิจัยที่พบว่าปริมาณของ Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb ในตัวอย่างน้ำได้เพิ่มขึ้นหลังจากทดสอบการกรองผ่านถ่านกัมมันต์ทางปาล์มมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลกระทบของกิจกรรมทางการเกษตร เช่น การใช้ยาปราบวัชพืช และศัตรูพืช หรืออาจมาจากสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น ๆ หรือบริเวณใกล้เคียงทำให้ปาล์มน้ำมันมีโอกาสที่จะดูดโลหะเหล่านี้เข้ามา โดยดินในบริเวณที่ปลูกปาล์มก็อาจมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ซึ่ง Olafisoye และคณะ (2016) ได้ตรวจสอบโลหะหนักในดินบริเวณที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไนจีเรีย 15 แห่ง พบว่า Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb ที่พบในดินบริเวณเพาะปลูกปาล์มอยู่ในช่วง 0.05-29.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 0.12-29.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 12.36-78.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 12.92-69.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 120-4260 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และ 6840-13610 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และในผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมันก็พบโลหะหนักจำพวกนี้อยู่ด้วย เช่น Nnorom และคณะ (2014) ตรวจสอบน้ำมันปาล์มในรัฐ Abia ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไนจีเรีย พบว่าในน้ำมันปาล์มมี Fe, Mn, Zn, Cu, Cd และ Pb ในปริมาณ 65-232 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 6.55-12.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 3.6-14.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 0.56-2.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, 24-89 ไมโครกรัม/กิโลกรัม, และ 24-67 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และ Adepoju และคณะ (2012) ทำการตรวจสอบโลหะในน้ำมันปาล์มแดงจำนวน 25 ตัวอย่าง ในประเทศไนจีเรียพบว่า ในน้ำมันปาล์มแดงมี Cd และ Pb ในปริมาณ 25-55 และ 22.5-38.0 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้การเกษตรชนิดอื่นก็พบการตกค้างของสารเคมีด้วยเช่นกัน เช่น สุจิตรา ชูเกิด และคณะ (2555) ทำการวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีก่อนและหลังการทำนา ซึ่งพบว่า หลังการทำนาในดินมีตะกั่วสะสมอยู่ 924.80 ± 0.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมี ธนภัทร ปลื้มพวง และคณะ (2558) วิเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมในดินและการสะสมในผลผลิตข้าวบนพื้นที่ตำบลแม่ตาวและตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยพบว่าปริมาณแคดเมียมในดินที่สกัดได้สูงสุดของพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 46.87 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในผลผลิตข้าวพบปริมาณแคดเมียมสะสมสูงสุดเท่ากับ 9.27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน EU บุนจรีภา วรณปะเขา และ พรทิมล รัตพลที (2555). ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ในแปลงปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในดินเค็มที่ใช้ปุ๋ยต่างชนิดกัน พบว่า ในตัวอย่างดินก่อนผสมปุ๋ยเคมี มีปริมาณตะกั่ว 0.100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หลังผสมปุ๋ยเคมีมีปริมาณตะกั่ว 0.128 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้ว ไม่พบตะกั่วในดิน ในขณะที่ปริมาณของตะกั่วที่ตกค้างอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนในแปลงที่ผสมปุ๋ยเคมี พบว่า ส่วนของราก ลำต้น และใบมีตะกั่วปริมาณ 0.057, 0.061 และ 0.064 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ควรเลือกปาล์มน้ำมันที่คัดเลือกแบบเจาะจง และนำไปทดสอบการปนเปื้อนโลหะหนัก ก่อนการทดลองขั้นต่อไป

3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

สำหรับการนำงานวิจัยชิ้นนี้ไปพัฒนา ต่อยอด ควรวิจัยเกี่ยวกับเกี่ยวความแตกต่างกัน ระหว่างถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันบริเวณพื้นที่หน้าตัด และถ่านกัมมันต์ทางปาล์มน้ำมันบริเวณ ด้านข้าง



บรรณานุกรม

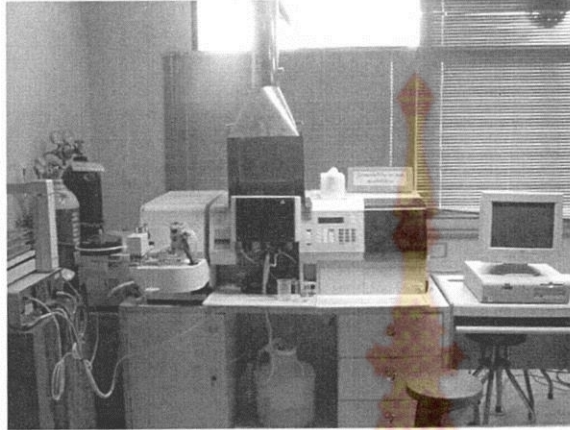
- เกศศิริ เหล่าวชิระสุวรรณ (2554). การเตรียมและศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลิ้นจี่โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. ปีที่ 31 ฉบับที่ 3, 83-102.
- ฉลวย เสาวคนธ์, สุภัทตรา สุขะ และ พงษ์ศักดิ์ อันทร์งาม. (2551). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). อุตรดิตถ์ : เครือข่ายการวิจัยภาคเหนือตอนล่าง.
- ชลธิชา ประจักษ์สุตร์ และ ลักขมณ คูบุญอารักข์. (2554). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคั่วบด (รายงานโครงการ). ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ทรัพย์ากรน้ำบาดาล, กรม. (2551). การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล (รายงานวิชาการ ฉบับที่ กวน. 1/2551). กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์น้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.
- ทรัพย์ากรน้ำบาดาล, กรม. *ความเป็นมาของน้ำบาดาล*. ค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2557, จาก <http://www.ilovegroundwater.com/content/history/2>
- ธนภัทร ปลื้มพวง, จันท์จรัส วีรสาร, อรุณศิริ คำลิ่ง และ ธงชัย มาลา. (2558). การปนเปื้อนแคดเมียมในดินและการสะสมในผลผลิตข้าวบนพื้นที่ตำบลแม่ตาวและตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. วารสารเกษตรพระวรุณ, 12 (1), 1 – 8.
- ธราพงษ์ วิจิตตานต์. (2554). ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้ พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริหารงานวิจัยลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ศูนย์. ข่าวสารความรู้ : เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. ค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2557, จาก <http://www.slbpsu.com/blog/blog.asp?lang=&id=7>
- บุญชริกา วรณปะเขา และ พรพิมล รัตพลที. (2555). การศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในแปลงปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในดินเค็มที่ใช้ปุ๋ยต่างชนิดกัน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 2 (1), 22 – 30.
- ประยงค์ สุขเตชะพันธ์. (2554). *ปาล์มน้ำมัน*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เกษตรสยามบุ๊คส์.
- ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, เรียบเรียง. (มปป.). *ปาล์มน้ำมัน พืชพลังงานที่ยั่งยืนแห่งอนาคต*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เพชรกระรัต.
- ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตงและไม้หมาจู. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรียาพา พาณิชย์ และ พุทธิดา ภูโอบ. (2556). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากปาล์ม (รายงานโครงการ). ขอนแก่น : หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปรียาพา พาณิชย์ และ พุทธิดา ภูโอบ. (2556) การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากปาล์ม. รายงานงานโครงการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- ปัญญา มณีจันทร์. (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง. *วิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย*. ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 พฤษภาคม 2555, 119-128.
- ปัญญา มณีจันทร์. (2556). การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวางเพื่อการดูดซับโครเมียม (III) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD. *เอกสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2556*, 4 เมษายน 2556.
- รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมลชนก วงศ์สุขสิน. (2555). การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี. *เอกสารการประชุมวิชาการ Graduate Research Conference 2012 KhonKaen University* 314-347.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2551). ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551. เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง หน้า 15-18.
- รุจิรา ปิ่นแก้ว. (2556). *การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน (รายงานการวิจัย)*. เพชรบูรณ์ :สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- สุจิตรา ชูเกิด, ทิพย์ทิวา สัมพันธมิตร และ วิชุดา เกตุใหม่. (2555). การตกค้างของสารเคมีจากการทำนา. *เอกสารประชุมวิชาการ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1 "ปัญญาเพื่อความเข้มแข็งของมนุษย์"*, 12 -13 มกราคม 2555.
- อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ. (2557). การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 19 (1), 131-140.
- อุรวรรณ อุ้นแก้ว และ อรุณ คงแก้ว. (2545). สารกรองน้ำเพื่อการบริโภคอุปโภค. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์*, ปีที่ 50 ฉบับที่ 158 มกราคม 2545, 14-16.
- Aajish, L. G. and Thirumal, J. (2014). Preparation and characterization of activated carbon derived from waste materials and its application in the removal of fluoride from ground water. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, Volume 8, Issue 5, 28-33.
- Adepoju-Bello, Osagiede SA and Oguntibeju OO. (2012). Evaluation of the Concentration of Some Toxic Metals in Dietary Red Palm Oil. *Bioanal Biomed*. Volume 4 (5), 092-095.
- Bola O. Olafisoye, Oluwafemi O. Oguntibeju and Otolorin A. Osibote. (2016) An Assessment of the Bioavailability of Metals in Soils on Oil Palm Plantations in Nigeria. *Pol. J. Environ. Stud*. Volume 25, No. 3, 1125-1140.
- Ceyhan, A. A., Sahin, O. Baytar, O. and Saka, C. (2013). Surface and porous characterization of activated carbon prepared from pyrolysis of biomass by

- two-stage procedure at low activation temperature and it's the adsorption of iodine. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 378-383.
- Khadijah, S. C. O., Fatimah, S. C. O. and Misnon, K. F. (2012). Utilization of sugarcane bagasse in the production of activated carbon for groundwater treatment. *International Journal of Engineering and Application Sciences*, December 2012. Vol. 1, No. 2, 76-85.
- Nnorom, I. C., J.E. Alagbaoso, U.H. Amaechi, C. Kanu and U. Ewuize. (2014) Determination of Beneficial and Toxic Metals in Fresh Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) from South-Eastern Nigeria: Estimation of Dietary Intake Benefits and Risk. *Journal of Scientific Research & Reports*. Volume 3 (16). 2216-2226.
- Ozdemir, I., Sahin, M., Orhan, R. and Erdem, M. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation. *Fuel Processing Technology*, 125 (2014), 200-206.



ภาคผนวก



ภาพประกอบ 28 เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)
ยี่ห้อ Perkins Elmer รุ่น AAnalyst100



ภาพประกอบ 29 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)
ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV



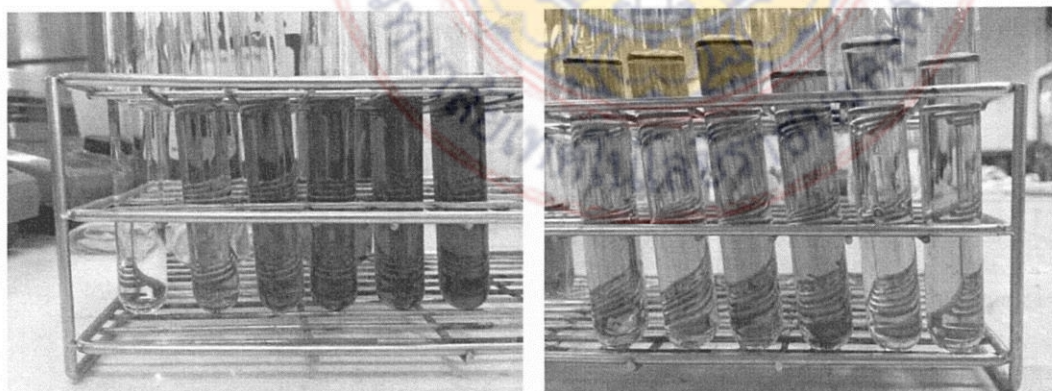
ภาพประกอบ 30 เครื่องยูนิเวอร์ซัลสเปคโตโฟมิเตอร์
ยี่ห้อ biochrom รุ่น Libra S22



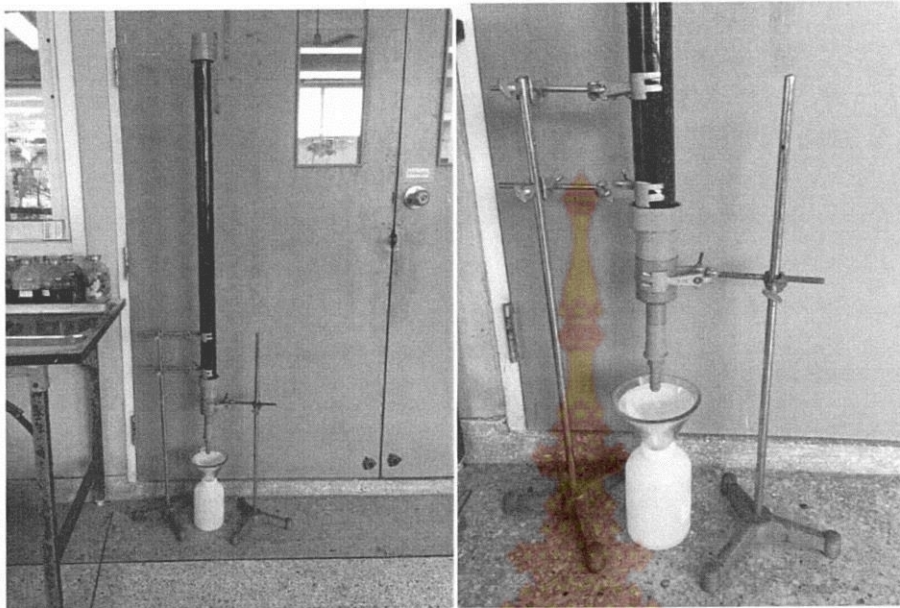
ภาพประกอบ 31 เครื่องเขย่าในแนวราบ
ยี่ห้อ WiseShake รุ่น SHO-2D



ภาพประกอบ 32 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนของถ่านตัวอย่าง



ภาพประกอบ 33 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านตัวอย่าง



ภาพประกอบ 34 การทดสอบการกรองตัวอย่างน้ำจากชุมชนบางเขยโดยใช้ถ่านกัมมันต์เจือไนไตรด
ฟอสฟอริก 85% เวลากระตุ้น 6 ชั่วโมง อัตราส่วนถ่าน : กรด เท่ากับ 1 : 3

