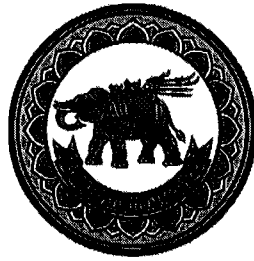


อภิธานนาการ

รหัสโครงการ R2562B05



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชีวไฟฟ้าจุลินทรีย์สูงจากถ่านกัมมันต์แกลบสำหรับระบบแบบแยกเกลือจาก
น้ำ ด้วยเทคนิค Capacity Deionization

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.นุชจิรา ดีแจ่ม

ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วันลงทะเบียน 14 มิ.ย. 2565

เลขทะเบียน 1052979

เลขเรียกหนังสือ... 2. 00

๒๕๖๕

๒๕๖๕

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดิน (บูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

ปีงบประมาณ 2562

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาชีวไฟฟ้าจุลินทรีย์สูงจากถ่านกัมมันต์แกลบ สำหรับระบบแบบแยกเกลือจากน้ำ ด้วยเทคนิค Capacity deionization จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำมาประยุกต์ใช้ สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ขอขอบพระขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และ ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ การวิเคราะห์และข้อเสนอแนะการวิจัยนี้ หากมีความผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัย ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย



บทสรุปโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้นำแกลบที่เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตข้าวสาร แกลบที่ได้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น เป็นวัสดุชีวมวล ส่วนประกอบปรับปรุงดิน หรืออาหารเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น เพื่อให้เกิดการนำแกลบไปสู่การพัฒนาให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่า และสามารถนำไปใช้งานแบบเชิงนวัตกรรมได้จริง ส่งผลให้เกิดการนำไปใช้งานหรือก่อให้เกิดช่องทางการส่งเสริมการแปรรูป งานวิจัยนี้มุ่งนำวัสดุแปรรูปของแกลบ คือ ถ่านกัมมันต์มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูง ขั้วไฟฟ้าดังกล่าวจะนำมาเป็นส่วนกักเก็บประจุไอออนเกลือในน้ำ ด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุแบบ Capacitive deionization (CDI) เมื่อนำขั้วไฟฟ้าดังกล่าวมาบำบัดน้ำที่การเจือปนของเกลือ ผลที่ได้จะทำให้ความเค็มในน้ำมีค่าลดลงน้ำที่ได้จึงมีค่าความเค็มที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ต่อไป

การแปรรูปแกลบเป็นถ่านกัมมันต์ โดยทำการเผาให้กลายเป็นถ่านด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีคาร์บอนผลผลิต 30.15 นำถ่านที่ได้มาบดและคัดขนาด นำผลถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่อัตราส่วนของถ่านต่อน้ำโดยน้ำหนัก 60:5 ภายใต้เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟเพื่อการกระตุ้น 0, 140, 420 และ 700 วัตต์ พบว่ามีค่าการดูดซับไอโอดีน 646.11, 756.21, 766.31 และ 778.19 mg/g ค่าดังกล่าวบ่งบอกถึงลักษณะรูพรุนแบบ macropore ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่กระตุ้น องค์ประกอบทางเคมีพบว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย ถ่านอสัณฐาน, กราไฟต์, SiO_2 และ SiC เป็นผลจากการมี Si อยู่ภายในแกลบทำให้เกิดสารประกอบดังกล่าวขึ้นทั้งกระบวนการคาร์บอนไนเซชันทำการเผาที่อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับผลของ FT-IR ที่ปรากฏ

เมื่อนำถ่านกัมมันต์มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้าและทดสอบการดูดซับน้ำขั้วไฟฟ้าดังกล่าวมีการดูดซับน้ำได้ดี เมื่อนำมาทดสอบการกักเก็บประจุของไอออนเกลือ พบว่ามีค่าการดูดซับไอออนเกลือเพิ่มขึ้นตามปริมาณการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยกำลังไฟฟ้าของรังสีไมโครเวฟ ทุกๆภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้า 1.5-9.5 โวลต์ ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5-9.5 โวลต์ ที่ป้อนให้ระบบบำบัดน้ำแบบ CDI พบว่าขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบมีแนวโน้มการบำบัดไอออนในน้ำเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่การกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำที่ปรากฏมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการบำบัด และจะมีค่าคงที่ ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบสามารถลดค่าไอออนในน้ำได้มากกว่า 30% ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่า 2.5 โวลต์ กล่าวได้ว่า การกระตุ้นถ่านแกลบด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟให้เป็นถ่านกัมมันต์มีผลต่อสมบัติการกักเก็บไอออนได้ดีขึ้น ส่งผลให้การลดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้สามารถนำมาเป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสำหรับการบำบัดน้ำด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุได้ดี

บทคัดย่อ

แกลบถูกนำมาเปลี่ยนเป็นถ่านด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการบดและคัดผงถ่านให้ขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน นำผงถ่านมากระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที พบว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากกว่า 600 mg/g และมีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ปริมาณพื้นที่ผิวด้วยการทดสอบไนโตรเจนไอโซเทอมและคำนวณหาพื้นที่ผิวด้วย BET ของถ่านและถ่านกัมมันต์ปรากฏมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย พื้นที่ผิวเฉลี่ย 392-370 m²/g ปรากฏองค์ประกอบทางเคมีรูปแบบเดียวกัน ได้แก่ คาร์บอนอสัณฐาน กราไฟต์ SiO₂ และ SiC ลักษณะพันธะของคาร์บอนแบบ C=C, Si-O-Si ที่มีการสั่นแบบยืดและงอ ชั่วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบนำมาบำบัดน้ำที่มีการเจือของเกลือด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุไฟฟ้า แบบ Capacitive deionization (CDI) ภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าชั่วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบมีประสิทธิภาพในการลดไอออนเกลือ มีค่ามากกว่าร้อยละ 30 ของประสิทธิภาพการลดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ภายใต้แรงดันไฟฟ้าจ่ายให้เซลล์ไฟฟ้า 3.5-9.5 โวลต์ กล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์แกลบที่เตรียมได้สามารถนำมาสร้างเป็นชั่วไฟฟ้าสำหรับการดูดซับไอออนในน้ำได้

Abstract

The rice husk is converted into biochar by carbonization process at temperature 700 °C for 1 hr. The biochar was ground and selected the charcoal powder smaller than 150 microns. It was stimulated by water adsorbed the microwave radiation energy with addition power 140, 420 and 700 watts, for 1 min. It was found that biochar and activated carbon had iodine adsorption values greater than 600 mg/g and increased with increasing electric power. The amount of surface area by testing the nitrogen isotherm and calculating the surface area by BET, the both of biochar and activated carbon were slightly appeared the result, average value 392-370 m²/g, and the same chemical composition. The biochar and activated carbon was presented the same chemical composition as amorphous carbon, graphite, SiO₂ and SiC and that bonding characteristics of carbon type C=C, stretching and bending of Si-O-Si. The electrode from rice husk activated carbon was used to treat salt doped water by Capacitive deionization (CDI) technique under different voltages. It was found that the electrodes from rice husk activated carbon were presented the effective electrical conductivity preformance to reduce salt ions in water, greater than 30% undering the supply voltage 3.5-9.5 Volt. In the conclusion the prepared rice husk charcoal can be used as an electrode for the absorption of ions in water

สารบัญ

หน้าที่

กิตติกรรมประกาศ		
บทสรุปโครงการวิจัย		
สารบัญ		
สารบัญตาราง		
สารบัญรูป		
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
	1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
	1.4 งบประมาณโครงการ	4
บทที่ 2	ทบทวนวรรณกรรม	5
	2.1 บทนำ	5
	2.2 อิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์	9
	2.3 ถ่านกัมมันต์	11
	2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3	วิธีการทดลอง	16
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	16
	3.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน	17
	3.3 การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ	18
	3.4 ขั้นตอนการผลิตขั้วอิเล็กโทรดจากถ่านกัมมันต์	19
	3.5 การวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์และขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์	19
	3.6 ขั้นตอนทดสอบขั้วอิเล็กโทรดด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry	21
	3.7 การทดสอบการดูดซับไอออนเกลือ	21
	3.8 การหาค่าร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับไอออนเกลือของขั้วไฟฟ้า	22
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	23
	4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านแกลบ	23
	4.2 การดูดซับไอโอดีนของถ่านจากแกลบ	23
	4.3 การดูดซับไอโอดีน	23
	4.4 การศึกษาด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ฟลูออรีนทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)	24

	หน้าที่
4.5 การศึกษาสมบัติการเปียกบนพื้นผิวขั้วอิเล็กโทรดด้วยเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมผัส	28
4.6 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	29
4.7 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54	34
4.8 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	38
4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงถ่านและถ่านกัมมันต์จากแกลบ	43
4.10 ผลการทดสอบการดูดซับเกลือภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน	43
สรุปผลการทดลอง	49
บทที่ 5	
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
1.1	การแบ่งน้ำตามปริมาณความเค็ม	3
2.1	ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกลั่นน้ำทะเล [6, 10]	8
4.1	ร้อยละผลผลิตของถ่านแกลบ	23
4.2	การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์แกลบไม่ผ่านการกระตุ้น	23
4.3	ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้าร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 W ที่เวลาการกระตุ้น 1 นาที	24
4.4	หมู่ฟังก์ชันสเปกตรัม FT-IR ในช่วงความยาวคลื่น 4000 - 400 cm ⁻¹	24
4.5	หมู่ฟังก์ชันนอลของถ่านและถ่านกัมมันต์จากแกลบที่ผ่านการกระตุ้นโดยด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟระยะเวลาในการกระตุ้น 1 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 140, 420 และ 700 W	25
4.6	การทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	29
4.7	การทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	31
4.8	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	32
4.9	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54	34
4.10	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54	35
4.11	การทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54	37
4.12	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	38
4.13	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	40
4.14	ผลการทดสอบชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	41
4.15	ค่าประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนเกลือในน้ำ	47

สารบัญรูป

รูป	หน้าที่
1.1 แสดงปริมาณแหล่งน้ำต่างๆ บนโลก	1
2.1 อัตราการผลิตน้ำจืดจากกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค	6
2.2 แบบ CDI (a) ในการดูดซับไอออนภายใต้สนามไฟฟ้า (b) การคายประจุออกจากกรรพูนของอิเล็กโทรดในสารละลายเกลือ	10
2.3 ไดอแกรมระบบการแยกไอออนเกลือออกจากน้ำแบบ capacitor deionization ขนาดเล็ก	11
2.4 ไดอแกรมระบบการดูดซับสารหนูด้วยผงแคลส	13
2.5 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์แคลสที่กระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$	14
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	16
3.2 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน	17
3.3 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ	17
3.4 กราฟจากเทคนิค Cyclic voltammetry	21
4.1 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านจากแคลสที่ได้จากการเผาอุณหภูมิ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไม่ผ่านการกระตุ้น	25
4.2 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแคลสผ่านการกระตุ้น 140 W	26
4.3 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแคลสผ่านการกระตุ้น 420 W	26
4.4 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแคลสผ่านการกระตุ้น 700 W	27
4.5 เปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแคลส ที่ไม่ได้รับการกระตุ้นและได้รับการกระตุ้น	27
4.6 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 140 W	28
4.7 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 420 W	28
4.8 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 700 W	29
4.9 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แคลสที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	30
4.10 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แคลสที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 140 W แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	30
4.11 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แคลสที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 420 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38	31

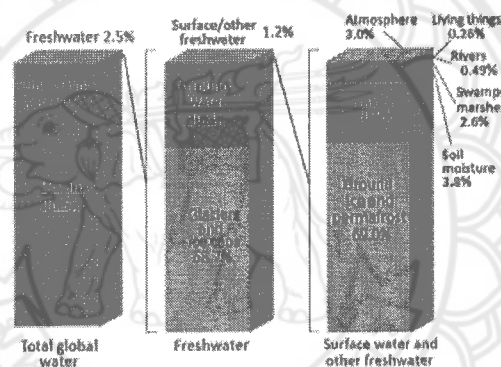
	หน้าที่	
4.23	กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 420 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	40
4.24	กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 420 W แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	41
4.25	กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 W ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50	42
4.26	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของถ่านและถ่านกัมมันต์เคลือบที่ได้จากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์	43
4.27	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์	44
4.28	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 2.5 โวลต์	44
4.29	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 3.5 โวลต์	45
4.30	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 6.5 โวลต์	45
4.31	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 9.5 โวลต์	46
4.32	แสดงค่าร้อยละประสิทธิภาพของชั้นไฟฟ้าที่ทำจากถ่านกัมมันต์เคลือบ ของการดูดซับไอออนในน้ำ	47
4.33	แสดงแผนภูมิสามมิติของ กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม และร้อยละประสิทธิภาพของการดูดซับไอออน	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศน์และสิ่งมีชีวิต น้ำจืดนับว่าเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อสรรพชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์เรา ทั้งในด้านการอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม การคมนาคม การเกษตร การท่องเที่ยว และนันทนาการ เป็นต้น ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นทรัพยากรหมุนเวียน แต่ 97 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมดบนโลกเป็นน้ำทะเลในมหาสมุทร มีส่วนที่เหลือเพียง 3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่เป็นน้ำจืด หากแบ่งน้ำจืดออกเป็น 100 ส่วน จะพบว่าประมาณ 68.7 ส่วน ถูกกักเก็บในรูปแบบของน้ำแข็งหรือหิมะ อีก 30.1 ส่วน เป็นน้ำใต้ดิน ประมาณ 0.9 ส่วน เป็นความชื้นในดินและชั้นบรรยากาศ จึงเหลือน้ำจืดเพียง 0.3 ส่วนเท่านั้นที่เป็นน้ำผิวดินที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (USGS, 2016) ดังรูป 1.1 [1, 2]



รูป 1.1 แสดงปริมาณแหล่งน้ำต่างๆ บนโลก

รายละเอียดแหล่งน้ำจืดที่สำคัญ มีดังนี้

น้ำแข็ง ได้แก่ น้ำแข็งหรือภูเขาน้ำแข็ง ที่ปกคลุมบริเวณขั้วโลก ธารน้ำแข็ง และหิมะที่ปกคลุมบริเวณยอดภูเขาสูง มีปริมาณ 68.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำจืดบนโลก แม่น้ำที่สำคัญหลายสายของโลก เช่น แม่น้ำโขง แม่น้ำสาละวิน ฯลฯ ก็มีต้นกำเนิดมาจากการละลายของหิมะและธารน้ำแข็งเหล่านี้

น้ำใต้ผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน เป็นน้ำจืดที่ขังอยู่ในช่องว่างของดินหรือหิน หรือน้ำที่ไหลอยู่ภายในชั้นหินอุ้มน้ำ หรือชั้นน้ำซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินเกิดจากการไหลซึมลงชั้นใต้ดินของน้ำผิวดิน กรณีการปล่อยออกตามธรรมชาติของน้ำใต้ดินที่เกินขนาดเก็บกักคือน้ำพุธรรมชาติ และการไหลซึมออกสู่ทะเล น้ำใต้ดินมีปริมาณ 30.1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำจืดทั้งหมดบนโลก มนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินในการสูบขึ้นมาใช้ประโยชน์หรือที่เรียกว่า “น้ำบาดาล” อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำใต้ดินอาจกลายเป็นน้ำเค็มได้ สามารถเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดจากการชลประทานโดยเฉพาะพื้นที่แถบชายฝั่งทะเลหรือมีชั้นเกลือใต้ดินในปริมาณสูง

น้ำผิวดิน ได้แก่ น้ำในแม่น้ำ ลำคลอง ลำธาร ทะเลสาบ แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น รวมทั้งพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นน้ำจืด น้ำผิวดินจะได้รับจากน้ำฟ้าที่ตกลงมาในรูปของฝนและหิมะ และจะหายไปตามธรรมชาติด้วยการระเหย การซึมลงไปชั้นใต้ดิน และการไหลออกสู่ทะเลมหาสมุทร เป็นแหล่งน้ำจืดหลักที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ มีปริมาณเพียง 0.3 เพอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำจืดบนโลก

จากรายงานสถานการณ์น้ำของโลกชี้ให้เห็นว่าประชากรโลก 1 ใน 5 คน ไม่สามารถเข้าถึงน้ำสะอาดขาดแคลนน้ำดื่ม และประชากรครึ่งหนึ่งของโลกขาดแคลนน้ำสะอาดตามหลักสุขาภิบาล และประสบปัญหาจากโรคระบาดที่เกิดจากน้ำไม่สะอาดในรอบ สถาบันจัดการน้ำระหว่างประเทศ (IWMI) ประมาณการว่าในราวปี ค.ศ. 2025 ประชากร 4,000 ล้านคน ใน 48 ประเทศ (2 ใน 3 ของประชากรโลก) จะเผชิญกับปัญหาความขาดแคลนน้ำ ในขณะที่ธนาคารโลกประมาณ การว่า 30 ปีข้างหน้า ประชากรครึ่งหนึ่งของโลก จะประสบกับภาวะขาดแคลนน้ำหากยังคงมีการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือยหรือขาดแผนการพัฒนาที่ดี

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์เป็นทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำจืดและน้ำเค็ม อย่างไรก็ตาม ปัญหาสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อในปัจจุบันหลายปัจจัย อาทิ ภัยจากภาวะโลกร้อน ภัยธรรมชาติ ภัยจากน้ำมีอมนุษย์ ส่งผลให้โลกเปลี่ยนแปลงมากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินชีวิต กิจกรรมทางเกษตรกรรมและกิจกรรมในอุตสาหกรรม จากที่กล่าวมาความต้องการบริโภคน้ำมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี แต่ปริมาณน้ำจืดในโลกยังมีเท่าเดิม ปัจจุบันมีการดำเนินงานแก้ไขปัญหาคความต้งการน้ำในประเทศด้วยการกักเก็บน้ำตามฤดูกาล การสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝาย และขยายแหล่งกักเก็บน้ำเดิมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นต้น ยังคงมีปริมาณเท่าเดิมเมื่อเข้าฤดูแล้งหรือปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติมักประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำบนผิวดินและน้ำใต้ดินในระยะยาวจาก นอกจากนี้น้ำจืดจากแม่น้ำยังทำหน้าที่ผลักดันน้ำทะเล ปริมาณน้ำจืดที่ลดลงทำให้น้ำทะเลรุกคืบปะปนกับน้ำจืดกลายเป็นน้ำกร่อยสูงขึ้น จากปัญหาที่กล่าวมาทำให้เกิดความไม่สมดุลของปริมาณน้ำ จนส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชากรระบบนิเวศน์วิทยา และเศรษฐกิจ ความต้องการใช้น้ำในประเทศสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

- 1) การใช้น้ำเพื่อการเกษตร-ชลประทานและการปศุสัตว์
- 2) การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค
- 3) การใช้น้ำในโรงงานอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว
- 4) การใช้น้ำในการผลิตไฟฟ้า
- 5) การใช้น้ำในการรักษาสมดุลนิเวศน้ำ

ซึ่งการใช้น้ำสามประเภทแรกถือเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศ ปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคภายในประเทศมากที่สุด ในปี พ.ศ. 2559 ผลการสำรวจการใช้น้ำในแต่ละภูมิภาคพบว่า ภาคกลางมีความต้องการใช้น้ำมากที่สุด รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ [1]

น้ำกร่อย (อังกฤษ: Brackish water) คือ น้ำทะเล (น้ำเค็ม) ผสมกับน้ำจืด สามารถพบได้ตามปากอ่าว แม่น้ำที่น้ำจืดไหลลงสู่ออกทะเล เช่น สมุทรปราการ (แม่น้ำเจ้าพระยาออกทะเล) บริเวณสมุทรสาคร (แม่น้ำท่าจีนออกทะเล) สมุทรสงคราม (แม่น้ำแม่กลองออกทะเล) พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางพื้นที่ที่น้ำบาดาลมาใช้ มักประสบปัญหาการพบน้ำที่มีเกลือผสมอยู่ โดยทั่วไปแล้ว น้ำกร่อยหรือน้ำทะเลในสภาพปกติมี

สภาพเป็นต่างอ่อน ๆ pH ราว 7.3 ไปจนถึง 8.5 เหตุที่น้ำทะเลมีสภาพเป็นต่างอ่อนๆ เป็นเพราะในน้ำทะเลมีแร่ธาตุหลายชนิด ที่ทำให้น้ำเป็นต่างอ่อน [4]

ตารางที่ 1.1 การแบ่งน้ำตามปริมาณความเค็ม

ประเภทของน้ำ	ค่าความเค็ม*
น้ำจืด	< 0.05 % หรือ < 0.5 ppt
น้ำกร่อย	0.05 – 3 % หรือ 0.5 – 30 ppt
น้ำเกลือ/น้ำเค็ม	3 – 5 % หรือ 30 – 50 ppt
น้ำเกลือเข้มข้น	> 5 % หรือ > 50 ppt

หมายเหตุ * วัดจากความเข้มข้นของเกลือ

การแก้ปัญหา น้ำทะเลล้นในปัจจุบันสามารถแก้ด้วยการทำประตูกั้นน้ำ การทำฝายน้ำ ป้องกันไม่ให้น้ำทะเลรุกเข้ามาในบริเวณแหล่งน้ำจืด หรือไหลแทรกลงดิน อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหา น้ำกร่อยต้องทำการลดปัญหาในระดับมหภาคมีความต้องการทรัพยากรสูง การเงินและบุคคลากรในการดำเนินงานการแก้ปัญหา ขณะที่ปัญหาน้ำกร่อยในระดับจุลภาคหรือชุมชนขนาดเล็กมีความต้องการเฉพาะเจาะจง กล่าวคือ ความต้องการน้ำจืดสำหรับปัจจัยในการดำเนินชีวิตขั้นพื้นฐาน ดังนั้น การแก้ปัญหาคความเค็มในน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคต้องมีต้นทุนต่ำสามารถทำได้เองและไม่พึ่งพาวัสดุราคาสูง ต้นทุน วิธีการไม่ซับซ้อน

นอกจากนี้ในการดำเนินงานวิจัยโดยการแปรรูปผลิตผลเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยการแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสืบค้นผ่านอินเทอร์เน็ต เว็บไซต์ google ด้วยคำว่า “งานวิจัย ถ่านกัมมันต์” ปรากฏข้อมูล 18000 ข้อมูลของการสืบค้น (วันที่สืบค้น 12 กันยายน 2560) สะท้อนถึงความก้าวหน้าการพัฒนาการวิจัยถ่านกัมมันต์ในประเทศ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาวัสดุต้นทุนต่ำไปสู่การประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดผลตอบสนองต่อความต้องการแท้จริง สามารถใช้ได้จริงยังคงเป็นความท้าทายต่อนักวิจัยและประเทศไทย ทั้งนี้ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศฉบับที่ปัจจุบัน มุ่งเน้นให้เกิดการนำความรู้สู่นวัตกรรมเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและยกระดับการครองชีพของประเทศ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการนำองค์ความรู้มาต่อยอดให้เกิดนวัตกรรมโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นพัฒนาไปสู่การแก้โจทย์ปัญหาที่สัมพันธ์กับปัจจัยพื้นฐาน ทั้งในภาคประชาชน การเกษตรและอุตสาหกรรมในอนาคต คือ น้ำ ด้วยการส่งเสริมและปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยที่มีเกลือผสมให้มีปริมาณลดลงด้วยเทคนิค capacitor deionization (CDI) งานวิจัยนี้จะทำการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำ คือ การแปรรูปกลับไปเป็นผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ การพัฒนาระดับกลาง คือ การพัฒนาเชิงเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ด้วยการการผลิตขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูงจากถ่านกัมมันต์แกลบ การพัฒนาสู่นวัตกรรม คือ การนำผลการศึกษาคัดสร้างเป็นระบบแยกเกลือออกจากน้ำด้วยเทคนิค CDI จากกระบวนการดังกล่าวเป็นการต่อยอดนวัตกรรมขั้นสูงเพื่อการยกระดับมาตรฐานการครองชีพ

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจลำดับต้นของประเทศไทย มีการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวข้าว เมื่อผ่านการสีข้าวเพื่อแยกเมล็ดข้าวออกจากเปลือกข้าว ทำให้การสีข้าวแต่ละครั้งจะเกิดแกลบจำนวนมาก ปัจจุบันมีการนำแกลบมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมหรือเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ในภาคครัวเรือนนอกจากนี้ภายในแกลบมีองค์ประกอบรุกรุ่นที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในประเภทวัสดุที่มี รุกรุ่นสูง นำมาแปรรูปโดยการผลิตและเตรียมถ่านกัมมันต์จากแกลบ

งานวิจัยนี้ทำการสร้างชีวทางไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นตัวเก็บประจุที่ประกอบด้วยถ่านกัมมันต์จากแกลบ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการกระตุ้นร่วมกับรังสีรังสีไมโครเวฟทดสอบ สมบัติของถ่าน คือ ค่าร้อยละผลผลิต การดูดซับไอโอดีน องค์ประกอบเคมีด้วย FT-IR และการเลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์ ลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทดสอบมุมสัมผัสด้วย CAA และสมบัติของ ชีวไฟฟ้าด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ น้ำเกลือ สรุปละเอียดวิเคราะห์ผล

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- พัฒนาอิเล็กโทรดไฟฟ้ารุกรุ่นสูงจากถ่านกัมมันต์แกลบสำหรับแยกเกลือออกจากน้ำ สำหรับเทคนิค การกักเก็บประจุไอออนเกลือ Capacitive deionization (CDI)
- ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อระบบต้นแบบการแยกเกลือออกจากน้ำ ด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุ ไอออนเกลือ

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นทางกายภาพด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ
2. ผลิตชีวไฟฟ้ารุกรุ่นสูงที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ ด้วยการสร้างชีวนำไฟฟ้ากราไฟต์และกักเก็บ ถ่านกัมมันต์แกลบที่มีตัวประสาน อิเล็กโทรดไฟฟ้านี้เป็นส่วนที่มีวัสดุรุกรุ่นสูงเกาะอยู่เพื่อกักเก็บไอออนเกลือ ภายใต้การสนามไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วคาโทดและอโนด ทำให้ไปเร่งให้ไอออนเคลื่อนตัวเข้าสู่รุกรุ่น
3. สร้างระบบทดสอบการแยกเกลือด้วยเทคนิค CDI ภายในการไหลของน้ำกร่อยแบบน้ำไหล เพื่อ ป้อนน้ำแรงดันต่ำภายในชุดแยกไอออนจากน้ำกร่อยเข้าสู่ชุดเซลล์ไฟฟ้าอโนดและแคโทดที่ได้จากถ่านกัมมันต์ แกลบ แล้วประกอบเป็นชุดเซลล์ไฟฟ้าต่อๆ กันจนเป็นชั้นเซลล์ขนาดใหญ่รวมกัน เพื่อเป็นระบบดูดซับไอออน ในน้ำกร่อยที่มีหลายเซลล์ ภายใต้แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 1.6 โวลต์
4. ทำทดสอบสมบัติทางกายภาพ โครงสร้างทางจุลภาคและพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET ของถ่านกัมมันต์ แกลบ
5. ทดสอบประสิทธิภาพของอิเล็กโทรดรุกรุ่นสูงจากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำด้วยค่า ค่า salinity และ cyclivoltammatry

1.4 งบประมาณโครงการ

จำนวนเงิน 163,400 บาท

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

2.1 บทนำ

การแยกเกลือออกจากน้ำที่ใช้ในปัจจุบันสำหรับการบำบัดได้แก่ กร่อยบนผิวดิน และน้ำบาดาล ที่เป็นเช่นนี้เพราะการมีประชากรเพิ่มขึ้นความต้องการบริโภคน้ำมีค่าสูงตามมา เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดด้วยการแยกเกลือออกจากน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน 2 กลุ่มใหญ่ คือ

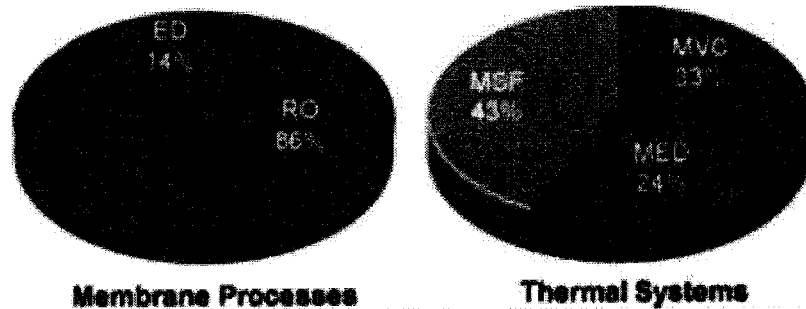
แบบที่ 1 อาศัยเมมเบรนในการแยกไอออน

- reverse osmosis (RO)
- electro dialysis (ED)

แบบที่ 2 การใช้ความร้อนร่วม

- multistage flash distillation (MSF),
- Multieffect distillation (MED)
- การควบแน่นไอน้ำเชิงกล (mechanical vapor compression, MVC)

จากการสำรวจความสามารถแยกเกลือออกจากน้ำ รูปที่ 2 พบว่ากระบวนการแบบเมมเบรนวิธีออสโมซิสผกกลับ (Reverse osmosis, RO) เป็นเทคนิคการแยกเกลือจากน้ำที่นิยมมากที่สุดถึง 86% ส่วนวิธีการใช้ความร้อนร่วมมีการกระจายกันออกไป ทั้งนี้วิธีการแยกเกลือจากน้ำแบบ RO เป็นระบบที่อาศัยการป้อนน้ำผ่านเมมเบรนด้วยแรงดันสูงที่มีความดันอยู่ระหว่าง 1-10 มิลลิปาสคาล เมมเบรอนนี้มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กมาก (0.1-1 นาโนเมตร) ทำให้โมเลกุลของไอออนเกลือไม่สามารถไหลผ่านออกไปทำให้ได้น้ำบริสุทธิ์สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ข้อเสียราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศและต้องการระบบแรงดันน้ำสูงเพื่อผลักดันโมเลกุลของน้ำออกจากเมมเบรน ดังรูป ขณะที่การแยกเกลือออกจากน้ำด้วยการใช้ความร้อนร่วมเพื่อทำให้น้ำกร่อยเกิดความร้อนกลายเป็นไอแล้วทำการแยกไอและควบแน่น ขณะที่เทคนิคการใช้ความร้อนร่วมเป็นเทคนิคที่ผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ปริมาณมาก มีความซับซ้อนและเหมาะกับแหล่งอุตสาหกรรมหรือชุมชนขนาดใหญ่ วิธีการแบบการกำจัดความเค็มโดยการกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบมัลติสแตจแฟลช (Multi-stage flash distillation, MSF) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดถึง 43% ข้อเสีย มีความต้องการใช้พลังงานในการกลั่นน้ำที่แยกออกเป็นห้องกลั่นในแต่ละส่วนรวมถึงพื้นที่ในการติดตั้ง ทั้งสองวิธีนี้แม้จะเป็นการผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่เหมาะสมกับความต้องการในปริมาณมากและใกล้กับแหล่งชุมชนหรืออุตสาหกรรม [5] เมื่อพิจารณาการนำมาใช้โดยเฉพาะชุมชนขนาดเล็กหรือห่างไกลจากแหล่งไฟฟ้าทำให้ไม่คุ้มต่อการลงทุน



รูป 2.1 อัตราการผลิตน้ำจืดจากกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค [5]

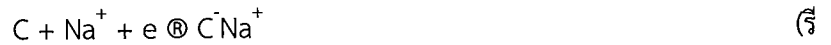
ดังนั้น การผลิตน้ำที่สะอาดและมีการเจือปนของเกลือหรือสารละลายไอออนต่ำจึงเป็นน้ำที่เหมาะสมต่อการบริโภคและอุปโภค อีกทั้งมีต้นทุนราคาถูกเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ที่มีจำนวนสมาชิกไม่มากหรือเป็นครอบครัว กระบวนการแยกเกลือจากน้ำที่เหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการอุปโภคและบริโภคและมีราคาถูก คือ กระบวนการแยกน้ำด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุ (Capacitive deionization, CDI)

Capacitive deionization (CDI) คือ ขบวนการควบคุมทางไฟฟ้าเคมีสำหรับการเคลื่อนย้ายเกลือภายในน้ำด้วยการดูดซับไอออนเกลือให้เกาะอยู่เป็นชั้นเกลือบนผิวตัวดูดซับของขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว จัดได้ว่าเป็นกระบวนการดูดซับด้วยไฟฟ้าที่ช่วยให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น การบำบัดน้ำด้วยเทคนิค CDI เกิดขึ้นมาครั้งแรกช่วงกลางปีทศวรรษ ค.ศ. 1960-1970 Caudle คณะ ได้ทำขั้วไฟฟ้าจากวัสดุพูนสูงที่ทำจากผงถ่านกัมมันต์เพื่อกลั่นน้ำทะเล (desalination) การพัฒนาเทคโนโลยี CDI เพื่อการบำบัดน้ำ มีดังนี้

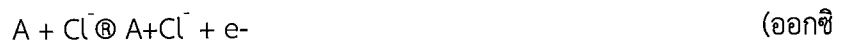
1. การพัฒนาวัสดุอิเล็กโทรดที่เหมาะสมกับกระบวนการดูดซับเกลือ
2. การจัดองค์ประกอบพื้นฐานภายในเซลล์ไฟฟ้า
3. รอบของการทำงานของระบบที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องหรือกึ่งต่อเนื่องของระบบ
4. พลังงานที่ใช้ในระบบ

อิเล็กโทรดหรือชั้นไฟฟ้าภายในระบบ CDI มีหน้าที่แยกไอออนทางเคมีภายในระบบขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ 1) พื้นผิวเฉพาะ (เช่น พื้นผิวต่อมวล) สำหรับการดูดซับไอออนหรืออิเล็กตรอน (electrosorption) ควรมีพื้นที่ผิวมากๆ 2) ควรมีค่าการนำไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดควรมีค่าการนำไฟฟ้าสูง 3) พื้นผิวสามารถตอบสนองต่อการดูดประจุไฟฟ้า-คายประจุไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว 4) ต้องมีความเสถียรทางเคมีและไฟฟ้าเคมีต่อค่า pH ในช่วงกว้างและตอบสนองต่อค่าความถี่ของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ 5) สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่ายตามความต้องการ 6) มีการเกิดกลิ่นหรือกลิ่นทางออร์แกนิกส์ จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้วัสดุที่สอดคล้องคือคาร์บอน เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดตัวหนึ่งที่มีลักษณะโครงสร้างรูพรุนสูงและดูดซับได้ดี ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุคาร์บอนที่ตอบสนองต่อความต้องการในการทำ

ขั้วไฟฟ้าในระบบ CDI, ผ้าจากถ่านกัมมันต์, ผ้าจากถ่านกัมมันต์ที่ผสม Titania, carbon felt, carbon black, sintered activated carbon, carbon nanotubes และ carbon aerogels ลักษณะขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ในการแยกเกลือออกจากน้ำในระบบที่มีขนาดใหญ่ จากรูปแสดงค่าค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยสำหรับระบบ CDI เพื่อการแยกเกลือออกจากน้ำ อันตรกิริยาบริเวณขั้วไฟฟ้าที่แอโนดและคาโทดที่ทำจากคาร์บอนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย NaCl เกิดปฏิกิริยาดังสมการ (1) และ (2)



ดักซัน) (2.1)



เดซัน) (2.2)

เกลือที่ละลายในน้ำจะถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนของวัสดุคาร์บอน ดังนั้น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นหัวใจสำคัญในความสามารถดูดเกลือ นอกจากนี้ราคาก็เป็นส่วนสำคัญ นอกจากนี้มีการเติมสารประกอบ TiO_2 , คาร์บอนนาโนและกราฟีน เพื่อเพิ่มเติมหรือเสริมพื้นผิวให้มีประสิทธิภาพการรับและแลกเปลี่ยนไอออน นอกจากนี้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซลล์ไฟฟ้ามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ แสดงตารางที่ 2



ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกลั่นน้ำทะเล [6, 10]

เทคนิค	ความ	MFE	MED-MVR	MED-TVR	ED	RO	CDI
การกลั่น	ร้อน						
น้ำ							
กลไก	ต้มน้ำ	ต้มน้ำทะเลจนกลายเป็นไอ	ต้มน้ำทะเลจนกลายเป็นไอ	ต้มน้ำทะเลจนกลายเป็นไอ	ไอออนถูกเคลื่อนตัวผ่านเมมเบรน	ไอออนถูกเคลื่อนตัวผ่านเมมเบรน	ไอออนถูกดูดซับและคาย
พื้นฐาน	ทะเลและควบแน่นกลายเป็นน้ำ	และควบแน่นกลายเป็นน้ำ	และควบแน่นกลายเป็นน้ำ	และควบแน่นกลายเป็นน้ำ	อนิออนและ cation	อนิออนและ cation	ที่ออกที่
	กลายเป็นบริสุทธิ์	กลายเป็นบริสุทธิ์	กลายเป็นบริสุทธิ์	กลายเป็นบริสุทธิ์	ไม่ให้อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.001 ไมครอนผ่านไปได้	ไม่ให้อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.001 ไมครอนผ่านไปได้	อิเล็กโทรดด้วยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
การป้อน	น้ำทะเล	น้ำทะเล	น้ำทะเล	น้ำกร่อยเพียงอย่างเดียว	น้ำทะเลและน้ำกร่อย	น้ำทะเลและน้ำกร่อย	น้ำกร่อยเพียงอย่างเดียว
น้ำ							
ราคาการ	ต้นทุนสูง	ต้นทุนสูง	ต้นทุนสูง	ระดับกลาง-สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ต้นทุน							
ผลิต	สูง						
สถานะ	6.6 kWh/m ³ (~125 Wh/gal-น้ำทะเล)	7.9-10.8 kWh/m ³ (30-41 Wh/gal-น้ำทะเล)	56.8-83.2 kWh/m ³ (215-315 Wh/gal-น้ำทะเล)	2.03 kWh/m ³ (7.7 Wh/gal-น้ำกร่อย)	6.6-9.3 kWh/m ³ (25-35 Wh/gal-น้ำทะเล)	*4.2-8.5 kWh/m ³ (16-32 Wh/gal-น้ำทะเล)	0.05-0.1 kWh/m ³ (0.2-0.4 Wh/gal-น้ำกร่อย)
ความต้องการ	มีความต้องการพลังงาน	มีความต้องการพลังงาน	มีความต้องการพลังงาน	มีความต้องการพลังงาน	มีความต้องการพลังงาน	มีความต้องการพลังงาน	ใช้พลังงานเพื่อแยกไอออน
พลังงาน							

หมายเหตุ : น้ำกร่อย TDS: 800-3200 mg/L, น้ำทะเล TDS: 35,000 mg/L

MFE- Multistage Flash Evaporation

MED-TVR - Multiple Effect Distillation ร่วมกับ Thermal Vapor Recompression

MEF-MVR -Multiple Effect Distillation ร่วมกับ Mechanical Vapor Recompression

ED - Electrodialysis

RO - Reverse Osmosis

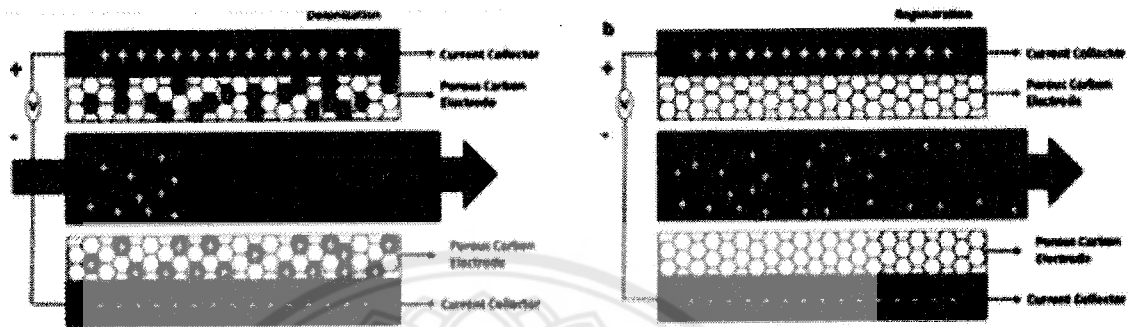
CDI - capacitive deionization

2.2 อิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์

ปัจจุบันอิเล็กโทรดสามารถทำได้จากถ่านกัมมันต์ชนิดผง (activated carbon powder) มีขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถดูดซับ (adsorbent) ได้ดี เป็นวัสดุคาร์บอนที่ทำมาจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น ไม้ เปลือก เม็ด ซังข้าวโพด เป็นต้น ที่ผ่านกระบวนการเผาอุณหภูมิสูงแล้วทำการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี จะได้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงและภายในประกอบไปด้วยรูพรุนจำนวนมาก รูพรุนในถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ 1) microporous คือ รูพรุนแบบเปิดที่มีขนาดน้อยกว่า 2 นาโนเมตร 2) macroporous คือ รูพรุนแบบเปิดที่มีขนาดมากกว่า 50 นาโนเมตร และ 3) mesoporous คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร ความแตกต่างของรูพรุนที่นั่นเกิดจากเงื่อนไขการผลิต ซึ่งข้อจำกัดของอิเล็กโทรดกับขนาดรูพรุนน้อยกว่า 0.58 นาโนเมตร Cl^- ไอออนจะไม่สามารถถูกดูดซับด้วยขั้วไฟฟ้าได้นอกจากนี้แล้ว ออกซิเจนที่พื้นผิวอิเล็กโทรดก็ส่งผลไปขัดขวางไม่ให้ Cl^- ไอออนไปเกาะหรือถูกดูดซับบนผิวตัวดูดซับ

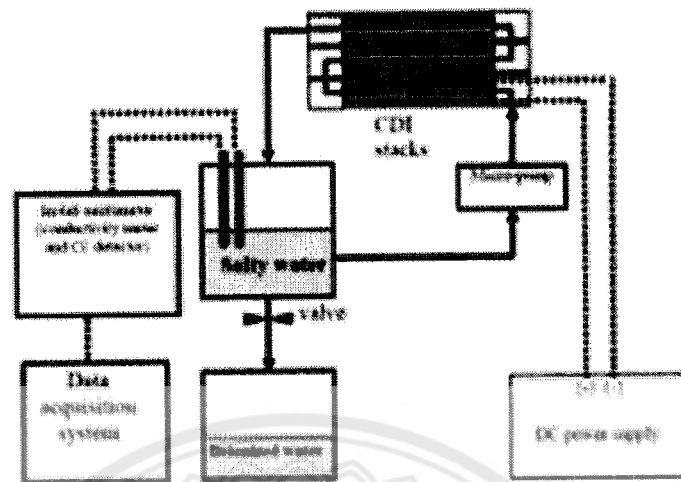
ขั้วแอโนดที่ทำจากวัสดุถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเฉพาะสูง (1000-1980 m^2/g) มีต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารโลหะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนให้ดีขึ้น เช่น Ti, Al, Zr และ Si เป็นต้น จุดเด่นของขั้วไฟฟ้าชนิดนี้คือ ดูดซับได้รวดเร็ว, การกระจายตัวของขนาดรูพรุน, การดูดซับเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว และมีความยืดหยุ่น [6] โครงสร้างของคาร์บอนมีหลายโครงสร้างด้วยกัน เช่น กราไฟต์ อัญฐาน เพชร กราฟีน เป็นต้น โดยเฉพาะคาร์บอนอสัญฐานที่มีโครงสร้างเชิงผลึกน้อยกว่าคาร์บอนชนิดอื่นๆ แต่มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสูงพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ขณะที่โครงสร้างแบบเพชรและกราฟไฟต์มีโครงสร้างผลึกที่ชัดเจนแต่มีพื้นที่ผิวน้อยและมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแต่มีพื้นที่ผิวดำทำให้ค่าการดูดซับประจุต่ำ คาร์บอนกราฟีนมีค่าการนำไฟฟ้าที่ดีพื้นที่ผิวสูงเหมาะกับการทำ supercapacitor มีต้นทุนสูงในการผลิตและผลิตได้ในปริมาณน้อย ดังนั้น การพัฒนาอิเล็กโทรดจากถ่านกัมมันต์จึงได้มีการเติมสารเจือปนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไอออน ด้วยการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 [7] ทำให้ประสิทธิภาพความจุของการดูดซับทางไฟฟ้า (electrosorption capacity) 5-10% ต่อมาได้มีการเติม MnO_2 เติมลงไปในคาร์บอนพบว่าสามารถดูดซับเกลือได้ถึง 16.9 mmol/g โดยดูดซับเกลือได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าทางการค้า อิเล็กโทรดรูพรุนสูงเมื่อนำมาจุ่มลงในน้ำที่สารละลายเกลือโดยทำการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองไม่เกิน 1.2 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกไอออนในระบบนี้มีค่าน้อยมาก ดังรูป 3 (a) กระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นการอัดประจุหรือเกิดการดูดซับไอออนและการคายประจุ และ (b) เมื่อน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ไอออนที่เป็นขั้วบวกและลบจะถูกแยกออกจากกันโดยไอออนที่มีประจุจะถูกเคลื่อนตัวไปยังขั้วไฟฟ้าที่ตรงกันข้าม ไอออนเหล่านี้จะถูกดูดและกักไว้ในรูพรุนของวัสดุอิเล็กโทรด ความสามารถนี้ขึ้นกับขนาดของรูพรุนและปริมาณของพื้นที่ผิว นอกจากนี้อัตราการป้อนน้ำเข้าสู่ระบบก็มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของอิเล็กโทรดเช่นกัน ทั้งนี้ น้ำที่มีปริมาณการป้อนสูงจะไปลดความสามารถในการดูดซับของรูพรุนภายในอิเล็กโทรด โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ปฏิกริยาการดูดซับจะเกิดขึ้นเพียงภายนอกและไปลดการแพร่ของสารละลายภายในชั้นในของอิเล็กโทรด [8, 9] อย่างไรก็ตาม กระบวนการดูดซับด้วยระบบนี้สามารถคายประจุออกมาได้เมื่อป้อน

สารละลายน้ำเค็มที่มีความเข้มข้นสูง (brine solution) เข้าระบบเซลล์ CDI เพื่อทำความสะอาดรูพรุนบนผิวขั้วไฟฟ้า



รูป 2.2 แบบ CDI (a) ในการดูดซับไอออนภายใต้สนามไฟฟ้า (b) การคายประจุออกจากรูพรุนของอิเล็กโทรดในสารละลายเกลือ

จากรูปที่ 2.2 ระบบการแยกเกลือออกจากน้ำแบบ stack layers หมายถึง การแยกเกลือออกจากน้ำด้วยคู่เซลล์ไฟฟ้าหลายคู่รวมกันเป็นชั้นขนาดใหญ่แล้วให้น้ำไหลผ่านเข้าไปภายในเซลล์ อาจจะมีมากกว่า 10 คู่ จนถึง 1000 คู่ ของเซลล์ไฟฟ้าเคมี จำนวนดังกล่าวขึ้นกับความต้องการดูดเกลือออกจากน้ำในปริมาณ อัตราการผลิตน้ำที่แตกต่างกันหรือความเร็วแยกเกลือออกจากน้ำ รวมถึงคุณภาพของน้ำที่ได้จากกระบวนการนี้ จากรูป 2.3 แสดงกระบวนการที่ดูดซับจากเซลล์ไฟฟ้าหลายๆ เซลล์ น้ำกร่อยหรือน้ำที่มีเกลือเจือปนจะดูดปั๊มน้ำดึงเข้าสู่ระบบเข้าไปยังส่วน CDI stack จะเกิดกระบวนการดูดซับภายใต้สนามไฟฟ้า ไอออนบวกของ Na^+ จะเคลื่อนตัวไปยังขั้วคาโทดโดยเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนและถูกกักไว้ภายใน ขณะที่ Cl^- จะเคลื่อนตัวไปยังขั้วแอโนดและถูกดูดซับไว้ภายในรูพรุนของผิวอิเล็กโทรดที่มีวัสดุรูพรุนสูงกักไว้ น้ำที่ผ่านการแยกจะไหลไปสู่ถังพักแล้วทำการป้อนน้ำนี้เข้าสู่การแยกไอออนเข้าไปเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดการดูดซับจากเซลล์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเค็มในน้ำมีค่าลดลงทราบได้จากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ วาล์วจะทำการเปิดเพื่อให้ น้ำนี้เข้าสู่ถังพักน้ำ deionization



รูปที่ 2.3 ไดอแกรมระบบการแยกไอออนเกลือออกจากน้ำแบบ capacitor deionization ขนาดเล็ก

การแปรรูปวัสดุเหลือใช้จากผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทย มักแปรรูปเป็น ปุ๋ย เชื้อเพลิงชีวมวล ถ่านอัดแท่งและถ่านกัมมันต์ กระบวนการในการแปรรูปเหล่านี้มีความซับซ้อนแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ได้เป็นเพียงแต่การแปรรูปอย่างเดียว แต่รวมถึงการส่งเสริมให้เกิด นวัตกรรมเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปแปรรูปไปเป็นสินค้าที่มีหลากหลายและทันสมัยด้วยการใช้เทคโนโลยีหรือองค์ความรู้แบบต่อยอด แกลบเป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการสีข้าวเปลือกสามารถหาได้ง่ายในประเทศ แกลบนิยมนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์หลากหลาย การทำเป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย ส่วนผสมเสริมความร่วนทรุยในดิน เชื้อเพลิงชีวมวล ถ่านอัดแท่งและถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์จากแกลบที่ได้มีขนาดอนุภาคที่เล็กหรือมีขนาดเป็นผงทำให้การนำไปใช้ประโยชน์จะต้องมีการขึ้นรูปหรือบรรจุภาชนะ ถ่านกัมมันต์จากแกลบเป็นถ่านมีรูพรุนสูงจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีหรือแก๊ส

2.3 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20–20,000 อังสตรอม (angstrom: Å) (1 อังสตรอมเท่ากับ 10⁻¹⁰ m หรือ 10⁻⁶ mm หรือ 10⁻⁴ μm หรือ 0.1 nm) ดังนั้น พื้นที่ผิวจึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สูงเช่นเดียวกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อาจทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอโอดีน ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbents) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time) [11] ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งโดยอาศัยหลักต่างๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้งาน ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ ได้แก่

2.3.1 การแบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ประเภทผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดให้ละเอียดและนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป ถ่านกัมมันต์ประเภทผง

ข. ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้ในการดูดแก๊สและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ การปรับอากาศ การผลิตน้ำบริสุทธิ์ ถ่านกัมมันต์ประเภทเม็ด

ค. ถ่านกัมมันต์ประเภทแท่ง (extruded) ใช้ในเบตนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดและแบบขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3.2 การแบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย

ข. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2 – 50 นาโนเมตร มักนำไปใช้ดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่

ค. ถ่านกัมมันต์รูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กและมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

2.3.3 การดูดซับของถ่านกัมมันต์

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับหรือในทางกลับกันเป็นการลดลงของความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำ จะถูกดูดซับได้ดี ในขณะที่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงกว่าจะไม่ถูกดูดซับ ซึ่งพลังงานอิสระที่ผิวของตัวถูกดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงดึงดูด และพื้นที่ผิว

- กลไกการดูดซับ เป็นการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมาข้างของแข็งหรือของเหลว การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (adsorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะรอบนอกของถ่าน

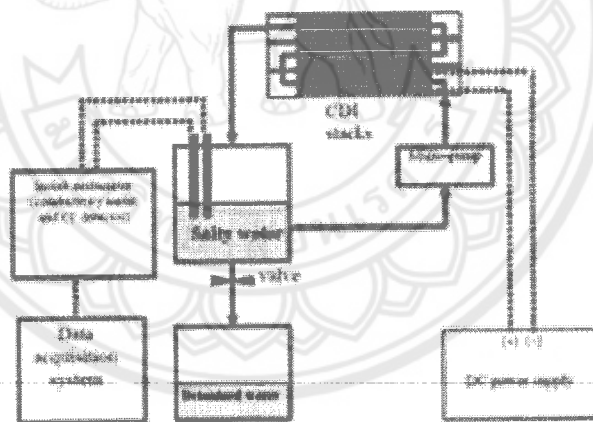
ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจจะดูดซับด้วยแรงทาลิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

จากที่กล่าวมา ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเพื่อทำเป็นอิเล็กทรอนิกส์รูพรุนสูงสำหรับดูดซับไอออน และเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนเพียงอย่างเดียว

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

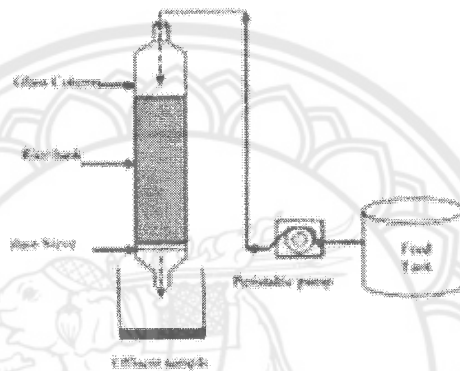
แกลบประกอบด้วยเซลลูโลส 32.24% hemicellulose 21.34% ลินิน 21.44% และแร่ธาตุอื่นๆ 15.05 % แก้วของแกลบพบว่าประกอบไปด้วยซิลิกอน 96.34% ด้วยองค์ประกอบภายในที่มีซิลิกอนจำนวนมากบนเปลือกข้าว เมื่อทำการบดและขัดขนาดเล็กลงกว่า 1 มิลลิเมตร ปรับปรุงด้วยกรด H_3PO_4 ส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างภายนอกของแกลบเพื่อให้สามารถดูดซับไอออนโลหะหนักได้ดี เมื่อทดสอบการดูดซับโลหะหนักด้วยสารละลาย $Cu(II)$ พบว่าการดูดซับเพิ่มขึ้นขณะที่ค่า pH มีเพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดที่ pH 4 แสดงถึงความสามารถการดูดซับกรดได้ดี เนื่องจากมีปริมาณซิลิกอนสูง [12] ผลการกำจัดสารหนูในน้ำดื่มด้วยแกลบที่บรรจุอยู่ในถังน้ำทรงกระบอก ที่อาศัยกระบวนการดูดซับอย่างง่าย มีลักษณะดังรูป 2.4 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารหนูของระบบนี้ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง, ความสูงของถัง, อัตราการป้อนน้ำ, ความเข้มข้นของสารหนูเริ่มต้น และขนาดของอนุภาคแกลบ พบว่าระบบสามารถกำจัดสารหนูในน้ำได้มากที่สุด 95% เมื่อใช้แกลบ 42.5 กรัม อัตราการป้อนน้ำ 7 mL/min ของถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และสูง 28 เซนติเมตร (ดังรูป 2.4) สำหรับน้ำที่มีสารหนู 15 ppb และขนาดอนุภาคแกลบ 710 ไมครอน-1.18 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพการดูดซับที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น 83.4 ถึง 90.7 % ขนาดของอนุภาคแกลบขนาดเล็กจะส่งผลให้พื้นผิวการสัมผัสสารละลายมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ [13]



รูปที่ 2.4 ไดอแกรมระบบการดูดซับสารหนูด้วยผงแกลบ

เมื่อนำแกลบมาเปลี่ยนให้เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับโลหะหนัก ด้วยการเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านมากระตุ้นทางเคมีในสารละลาย Na_2CO_3 5% (W/V) ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อสารละลายกรด 1:10 (W/V) ล้างและอบให้แห้ง จากการสังเกตลักษณะโครงสร้างทางจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและวิเคราะห์ธาตุการกระเจิงรังสีเอ็กซ์พบว่าถ่านกัมมันต์ปรากฏซิลิกอนที่พื้นผิวและมีรูพรุนถ่านมีรูปทรงอสัณฐาน นำผงถ่านกัมมันต์มาดูดซับน้ำเสียจากแบตเตอรี่รถยนต์ที่มีการเจือปนสารตะกั่วอยู่พบว่าสามารถดูดตะกั่วได้ถึง 58.08% [14] จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบด้วย

กระบวนการทางเคมีในด้วยสารละลาย NaOH และ $ZnCl_2$ ทำการแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600- 900 องศาเซลเซียส ทำการล้างถ่านจนมีค่า pH 7 ค่าพื้นที่ผิวที่ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 365 ถึง 645 m^2 g-1 การกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ สามารถเพิ่มรูพรุนภายในถ่านได้ดีกว่า NaOH อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิเผาสูงขึ้นช่วง 800-900 องศาเซลเซียส ปริมาตรรูพรุนจะแนวโน้มลดลง ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์แกลบที่เตรียมได้ลักษณะโครงสร้างรูพรุนแบบ micropore ดังรูป 2.5 [15]



รูป 2.5 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$

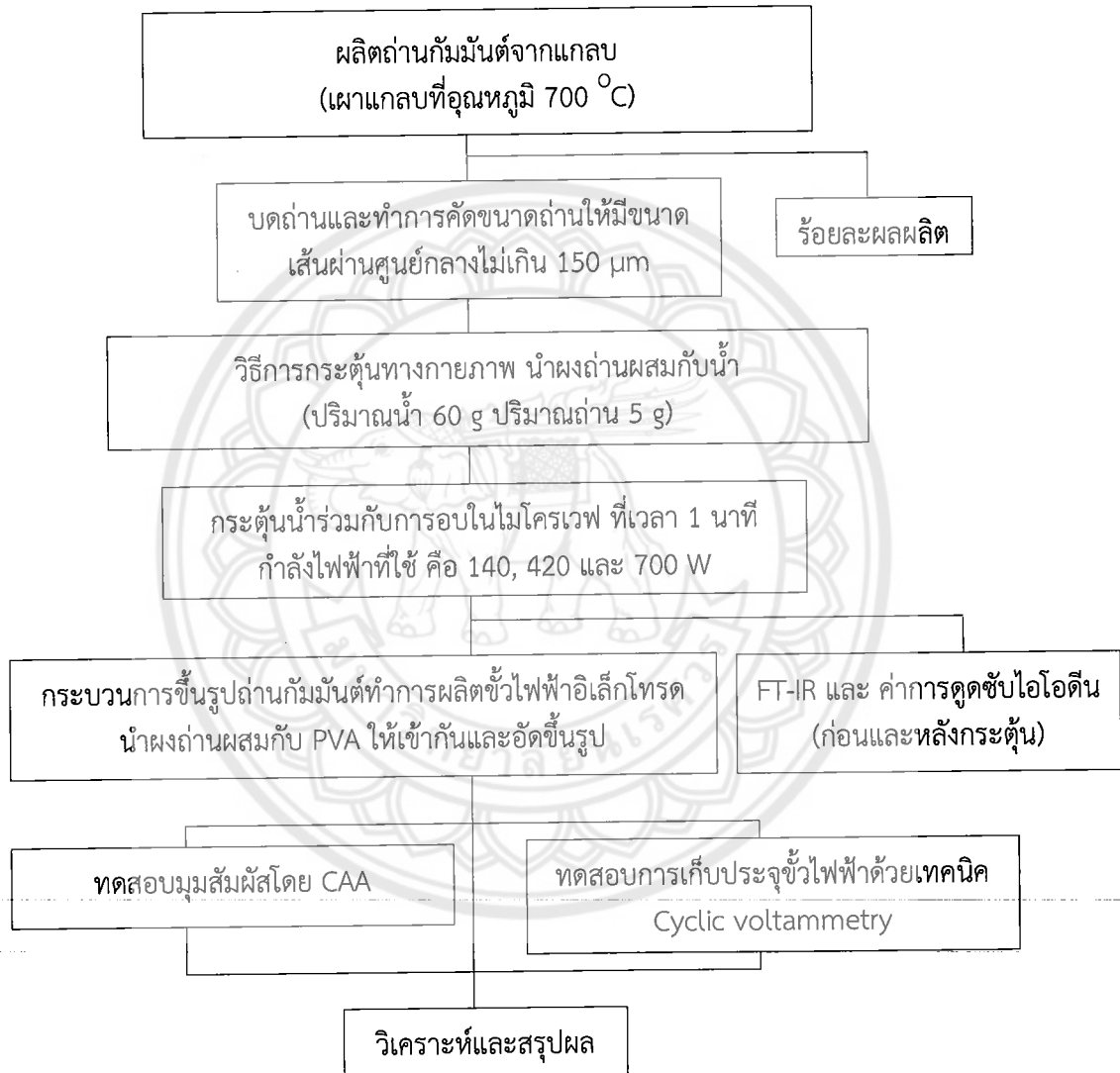
การพัฒนาวัสดุทางธรรมชาติให้เป็นถ่านกัมมันต์ในวัสดุเหลือใช้ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ทำการกระตุ้น 2 ขั้นตอน ด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ และการกระตุ้นทางกายภาพด้วยแก๊ส CO_2 ถ่านกัมมันต์ที่ได้มาสร้างเป็นขั้วไฟฟ้ารูพรุนสูง จากการทดสอบการแยกเกลือออกจากน้ำที่ความเข้มข้นสารละลาย 0.5 mM NaCl ที่การนำไฟฟ้าเริ่มต้น 65 ms cm^{-1} ที่การทดสอบแบบน้ำนิ่ง พบว่าค่ามีดูดซับและคายประจุไฟฟ้าภายในเซลล์เป็นรอบวัฏจักร ทั้งนี้การเกิดการคายประจุในรอบวัฏจักรถัดไปไม่ได้ทำให้เกิดผลเสียน้ำที่ทำการแยกประจุ ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดการดีโพลาไรเซชันขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรด ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อิเล็กโทรดที่ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 โวลต์ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 โวลต์ มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยที่สุดเป็นผลจากค่าสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่สูงทำให้ไอออนเกิดการเคลื่อนตัวได้มากขึ้น ผลการทดสอบการเก็บประจุด้วย cyclic voltammograms กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม สอดคล้องกับพฤติกรรมการเป็นตัวเก็บประจุทางอุดมคติและไม่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ สอดคล้องกับควมมีพื้นที่ผิวสูงเพื่อใช้เก็บประจุของขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ แบบ capacitive double-layer ทั้งนี้ค่าความสามารถการเก็บประจุเป็นค่าสะท้อนถึงศักยภาพการแยกไอออนเกลือในน้ำ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามศักย์ไฟฟ้าและปริมาณรูพรุน

ถ่านกัมมันต์จากกะลาทั้งที่ไม่เติมและเติมอนุภาคผงนาโน TiO_2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมี นอกจากจะเพิ่มรูพรุนภายในถ่านแล้วยังไปเพิ่มสมบัติพื้นผิวให้มีกลุ่มโครงสร้างองค์ประกอบที่ชอบน้ำ

เรียกว่า hydrophilic groups มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับและคายประจุ พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์มีค่าเริ่มต้น $932.4 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยการกระตุ้นซ้ำทางเคมีด้วยสารละลาย KOH และทางกายภาพด้วยแก๊ส CO_2 พบว่าค่าพื้นที่ผิวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ KOH และระยะเวลาในการเผาปรับปรุง ส่งผลให้ค่าพื้นที่ผิวถ่านที่ได้มีค่ามากกว่า $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ แม้ว่าค่าพื้นที่ผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่อัตราส่วนระหว่างปริมาตรรูพรุนขนาด mesoporous ต่อปริมาตรรูพรุนทั้งหมด ($V_{\text{meso}}/V_{\text{tot}}$) มีอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างรูพรุนปรากฏภายในเนื้อถ่านกัมมันต์และเงื่อนไขการกระตุ้น เมื่อทำการเติมอนุภาคนาโน TiO_2 จะไปลดพื้นที่ผิวของถ่านลง 8% แม้จะพื้นที่ผิวลดลงก็ตามแต่ค่าความจุประจุของเซลล์ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความดูดซับประจุเป็นตัวบ่งชี้ตัวหนึ่งในการบอกความสามารถของการแยกเกลือออกจากน้ำ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH ความเข้มข้น 1 โมล แล้วทำการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่าความจุประจุของอิเล็กตรอนที่ถูกดูดซับ (electrosorption capacity) 9.72 mg/g สามารถดูดซับเกลือได้ดีที่สุด [16] กล่าวได้ว่า ถ่านกัมมันต์แม้จะทำมาจากวัสดุเดียวกันแต่มีพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันก็ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับอิเล็กตรอน นอกจากนั้นแล้วปริมาณรูพรุนแบบ mesopore มีผลต่อการค่าประจุของการดูดซับ (electrosorption capacity) มากกว่าปริมาณรูพรุน micropore [17]

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

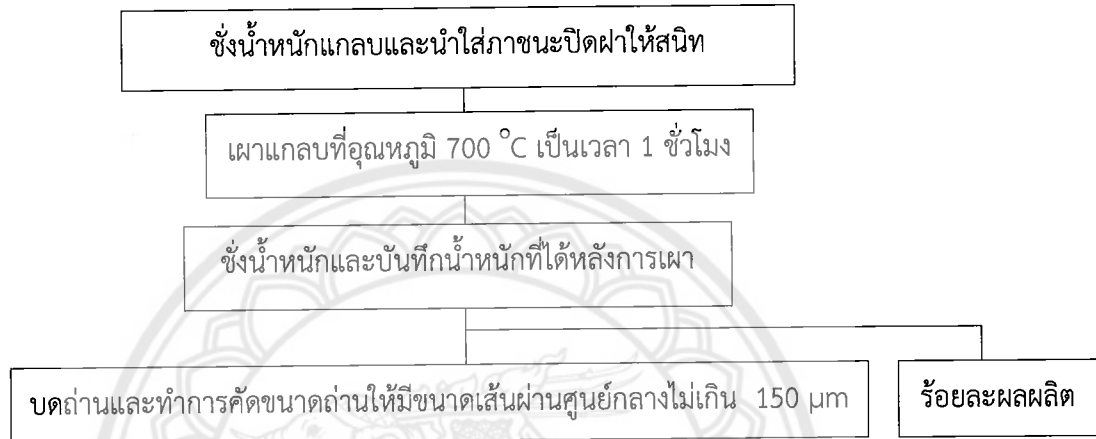
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูป 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การคาร์บอนไนซ์เซชัน

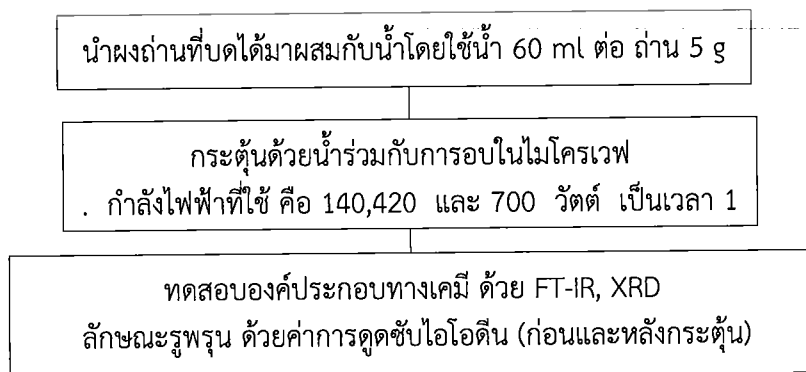
ทำการเผาแลกเปลี่ยนอับอากาศโดยใช้อุณหภูมิเริ่มที่ 300 °C เพื่อไล่สารระเหยออกจากนั้นทำการเผาอุณหภูมิที่ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากแลกเปลี่ยนขั้นตอนในการคาร์บอนไนซ์เซชันสามารถสรุปได้ดังรูป 3.2



รูป 3.2 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

3.3 การกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ

- นำถ่านที่บดได้มาแช่ในน้ำและนำเข้าเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 1 นาที กำลังไฟฟ้า 140, 420, 700 วัตต์ อัตราส่วนของน้ำต่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง คือ โดยใช้น้ำหนักของน้ำต่อปริมาณถ่าน 60 ml ต่อ ถ่าน 5 g
- นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำมาทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์และการขึ้นรูปถ่านกัมมันต์
- ทำซ้ำตามที่กล่าวข้างต้น โดยเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็น 420 และ 700 วัตต์ ที่ระยะเวลาการนำเข้าเตาอบไมโครเวฟเป็น 1 นาที สามารถสรุปได้ดังรูป 3.3



รูป 3.3 ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยน้ำ

3.4 ขั้นตอนการผลิตขั้วอิเล็กโทรดจากถ่านกัมมันต์

1. นำกระดาษกรองเบอร์ 1 มาตัดเป็นทรงสี่เหลี่ยม ผสม PVA กับกราไฟต์ แล้วนำมาทาลงบนแผ่นกระดาษกรอง

2. นำผงถ่านที่กัมมันต์มาโรยลงบนผิวขั้วไฟฟ้า ทำการอัดแผ่นอิเล็กโทรดด้วยเครื่องอัดแรงดันที่ความดัน 1000 psi และอบในกล่องอบไล่ความชื้นอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำอิเล็กโทรดมาประกอบคู่เพื่อสร้างเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยมีแผ่นกั้นลวดจอร์ที่น้ำสามารถไหลผ่านได้ชั้นกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง

3.5 การวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์และขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์

3.5.1 การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

การศึกษาร้อยผลผลิตของถ่านแกลบ ตามมาตรฐาน ASTM D 1087 โดยนำแกลบมาเผาในเตาเผาควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักก่อนเผา และหลังเผานำค่าน้ำหนักที่ได้มา การคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้โดยคำนวณจากสมการ

$$Y = \left\{ \frac{B}{A} \times 100 \right\} \quad (3.1)$$

เมื่อ Y = ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%)

A = น้ำหนักของแกลบก่อนเผา (g)

B = น้ำหนักของแกลบหลังเผา (g)

3.5.2 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWA B 600 ดังต่อไปนี้

การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- สารเคมี และวิธีเตรียม

1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) จำนวน 70.00 ml ลงในน้ำกลั่น 550.00 ml เขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.100 N (normal, N) ซึ่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml

3) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N (normal, N) ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 24.8200 g ใน น้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ้วยสารละลายลงในขวด ปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 l ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บ สารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N) ชั่งไอโอดีน 12.7000 g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 ml คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำที่ละน้อย (ครึ่งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 ml ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่า ของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 l ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้น กับ สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N

5) น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สารละลายแป้ง (soluble starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็น 5 - 10 ml คนสารละลาย พร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 l แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4 - 5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

-3.5.3 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

3.5.3.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

1. ปิเปตต์สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 25.00 ml ใส่ในขวด รูปชมพู่ ขนาด 250 ml เติมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0000 g เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่
2. ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลาย จางลงจนกระทั่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ทำการไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

จากสูตร

$$N_1 = \frac{P \times R}{V} \quad (3.2)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N

P = ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, ml

R = ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, N

V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml

3.5.3.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

1. ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน 25.00 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
2. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยดน้ำแป้ง 2 - 3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ทำการไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีน ดังสมการ

$$N_2 = \frac{V \times N_1}{I} \quad (3.3)$$

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

3.5.3.3 วิธีวิเคราะห์การหาค่า Iodine number

- 1) ชั่งผงถ่านตัวอย่างละ 1.0000 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงใน ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
- 2) เติมสารละลายไอโอดีน 0.1 N ปริมาตร 50 ml เขย่า ประมาณ 1 นาที
- 3) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทั้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก
- 4) บีบอัดสารละลายที่กรองได้มา 25.00 ml ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml
- 5) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสารละลายไอโอดีน จางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยดน้ำแบ่ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำ เงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 6) คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ วิธีการคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M)

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad (3.4)$$

- เมื่อ $\frac{X}{M}$ = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ
 A = $(N_2)(12693.0)$
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)
 B = $(N_1)(126.93)$
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้
 M = ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)
 DF = ค่าคงที่ของการเจือจางหาได้จากสูตร

$$DF = \frac{I+H}{F} \quad (3.5)$$

- เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)
 H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)
 F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรต (ml)

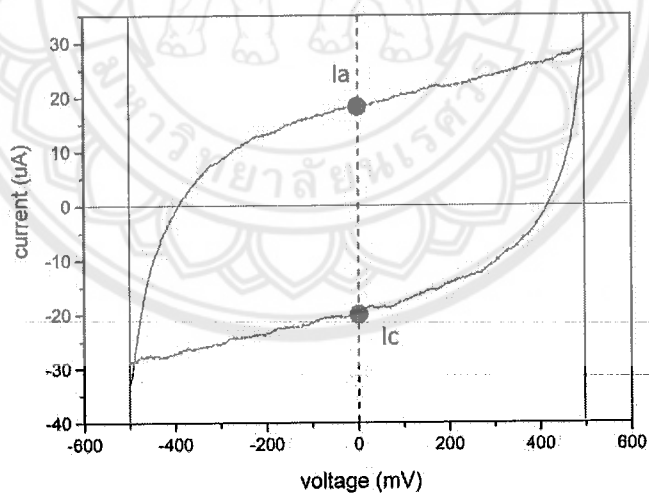
3.6 ขั้นตอนทดสอบขั้วอิเล็กโทรดด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry

1. นำขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layers และ แบบ Hybrid จุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์คือน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38, 6.54 และ 9.50 และน้ำส้มสายชูความเข้มข้นร้อยละ 6
2. ทำการทดลองด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ดังรูป 3.4
3. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขั้วอิเล็กโทรดในช่วงความต่างศักย์ -500 - 500
4. ทดสอบการชาร์จและคายประจุที่อัตราการสแกน 1.0 , 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0 และ 13.0 V/s

การหาค่าความจุจำเพาะของอิเล็กโทรด จากกราฟจากเทคนิค Cyclic voltammetry ค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้ขั้วไฟฟ้า -500 - 500 ที่อัตราการสแกน 1.0 , 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0 และ 13.0 V/s เขียนสมการได้ว่า

$$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT} \quad (3.6)$$

เมื่อ I_a = กระแสไฟฟ้าไม่ติดลบ (μA)
 I_c = กระแสไฟฟ้าติดลบ (μA)
 $\frac{dE}{dT}$ = อัตราการสแกน (V/s)



รูป 3.4 กราฟจากเทคนิค Cyclic voltammetry

3.7 การทดสอบการดูดซับไอออนเกลือ

มีรายละเอียด ดังนี้

1. เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำกลั่น 100 ml คนจนเกลือละลายหมด ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า
2. เตรียมเซลล์ไฟฟ้าเคมี คือ ขั้วแอโนดและแคโทดที่ทำจากถ่านกัมมันต์เกลบมา โดยมีแผ่นเมนเบรณฉนวนที่น้ำสามารถไหลผ่านได้วางชั้นกลางเพื่อป้องกันการลัดวงจร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2-4 มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบการบำบัดน้ำแบบการกักเก็บประจุเกลือ (Capacitive deionization)
3. นำน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 200 ml ใส่ลงภาชนะทดสอบ โดยทำการปั้มน้ำไหลวนรอบเซลล์ไฟฟ้าด้วยอัตราการไหล 0.08 ml/s
4. ทำการป้อนไฟฟ้าแก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ทำจากถ่านกัมมันต์เกลบที่แรงดันไฟฟ้า 1.5, 2.5, 3.5, 6.5 และ 6.5 โวลต์ ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าทุกๆ 20 นาที

3.8 การหาค่าร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับไอออนเกลือของขั้วไฟฟ้า

ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับไอออนเกลือของขั้วไฟฟ้าที่ทำจากถ่านกัมมันต์เกลบ ด้วยเทคนิคการบำบัดน้ำแบบการกักเก็บประจุ จะทำการหาจากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนการบำบัด และหลังการบำบัด ดังสมการ

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{(C_f - C_i)}{C_i} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ C_f คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ผ่านการบำบัดที่เวลาใดๆ

C_i คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ก่อนผ่านการบำบัด

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านแกลบ

จากตาราง 4.1 ร้อยละของถ่านแกลบที่เผาในอุณหภูมิ 700 °C พบว่า ร้อยละผลผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 28 – 31 มีค่าร้อยละเฉลี่ย 30.15 ± 1.55 ทั้งนี้การเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการหลุดของอินทรีย์สารและองค์ประกอบคาร์บอนที่ไม่เสถียรภายในถ่านเกิดการหลุดออกส่งผลให้น้ำหนักถ่านมีค่าลดลง

ตาราง 4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านแกลบ

อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละผลผลิตที่ได้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
700	31.51	30.48	28.47	30.15 ± 1.55

4.2 การดูดซับไอโอดีนของถ่านจากแกลบ

ผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีนของถ่านแกลบ ที่อุณหภูมิ 700 °C มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 646.11 ± 1.54 mg/g

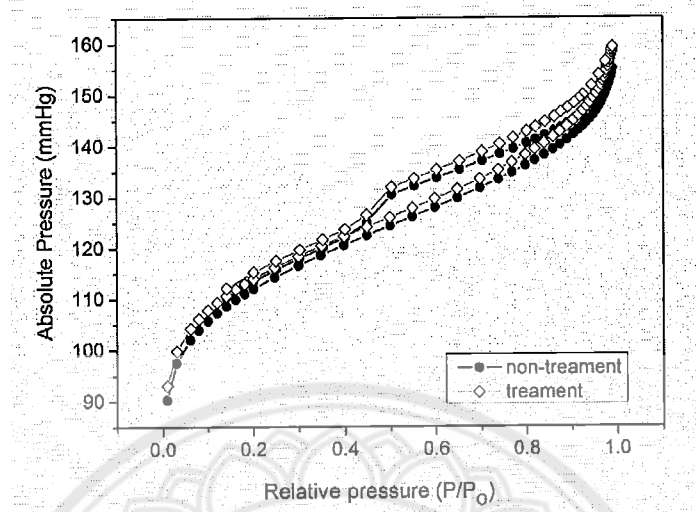
ตาราง 4.2 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์แกลบไม่ผ่านการกระตุ้น

อุณหภูมิ (°C)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
700	645.32	645.13	647.88	646.11 ± 1.54

4.3 การดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวด้วยไนโตรเจนไอโซเทอม

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 W มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 778.19 mg/g ที่อุณหภูมิ 700 °C เวลาการกระตุ้น 1 นาทีค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนผ่านตามาตรฐาน AWWA B 604 ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 756.21-778.19 mg/g

ลักษณะพื้นที่ผิวที่ปรากฏมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ถ่านแกลบมีพื้นที่ผิว 392.6 m²/g และถ่านกัมมันต์แกลบที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 700 วัตต์ มีพื้นที่ผิว 399.3 m²/g ดังรูป 4.1 มีลักษณะกราฟเป็นแบบ Type IV แสดงถึงลักษณะรูพรุนแบบ macropore ที่มี micropore อยู่ภายใน



รูป 4.1 กราฟการดูดและคายไนโตรเจนไอโซเทอมของถ่านและถ่านกัมมันต์เคลือบที่ถูกกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

ตาราง 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้าร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 วัตต์ ที่เวลาการกระตุ้น 1 นาที

อุณหภูมิ (°C)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ค่าดูดซับไอโอดีน (mg/g)			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
700	140	754.32	760.45	753.87	756.21 ± 3.67
	420	769.13	761.70	768.11	766.31 ± 4.02
	700	781.24	776.04	777.28	778.19 ± 2.71

4.4 การศึกษาด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

4.4.1 การศึกษาหากลุ่มฟังก์ชันของถ่านจากแคลบเผาในอุณหภูมิ 700 °C โดยไม่ผ่านการกระตุ้นและที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟระยะเวลาในการกระตุ้น 1 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 140, 420 และ 700 วัตต์

ดังรูป 4.2-4.5 จากการศึกษากลุ่มฟังก์ชันของถ่านและ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นโดย กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (FT-IR) ศึกษา ในช่วงความยาวคลื่น 4000 - 400 cm^{-1} จากสเปกตรัม FT-IR ของถ่านในตำแหน่งความยาวคลื่นในช่วง 3186 cm^{-1} มีลักษณะกว้างและต่ำเกิดจากพันธะ O - H ของหมู่ฟังก์ชันกรดซิลิสิกจากซิลิกาที่มีความถี่ของการสั่นในรูปแบบการยืด สำหรับตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1566 cm^{-1} แสดงถึงพันธะคู่คาร์บอน C = C ของหมู่ฟังก์ชันอะโรมาติกมีความถี่ของการสั่นในรูปแบบการยืด ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1046 - 796 cm^{-1} แสดง

จ. QC
182
นางนุส
นช.ล
1052579



14 มิ.ย. 2565 สำนักหอสมุด

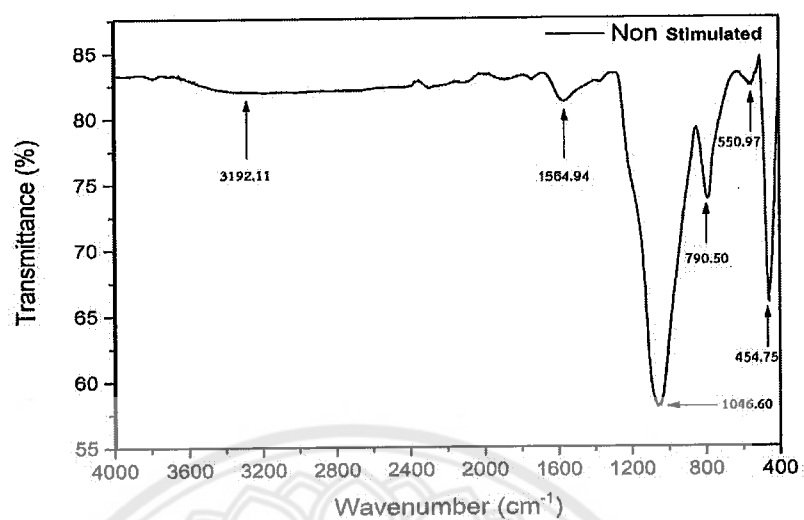
การสั่นของ Si-O-Si ในรูปแบบการสั่นแบบยืด และตำแหน่งความยาวคลื่นที่ $458 - 557 \text{ cm}^{-1}$ เป็นหมู่ฟังก์ชัน Si-O-Si การสั่นแบบงอ จำนวนพีคที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของซิลิกา ดังรูป 4.6 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัม FT-IR ของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้น พบว่าการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟไม่มีผลทำให้หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลง

ตาราง 4.4 หมู่ฟังก์ชันสเปกตรัม FT-IR ในช่วงความยาวคลื่น $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

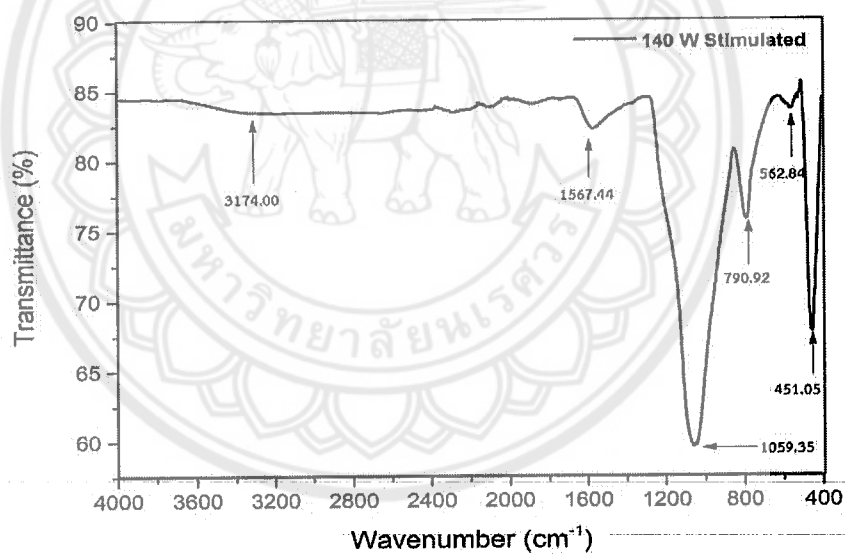
หมู่ฟังก์ชัน	Wavenumber (cm^{-1})
O - H	3186
C = C	1566
Si-O-Si การสั่นแบบยืด	1046-796
Si-O-Si การสั่นแบบงอ	458 - 557

ตาราง 4.5 หมู่ฟังก์ชันนอลของถ่านและถ่านกัมมันต์จากแกลบที่ผ่านการกระตุ้นโดยด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟระยะเวลาในการกระตุ้น 1 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 140, 420 และ 700 วัตต์

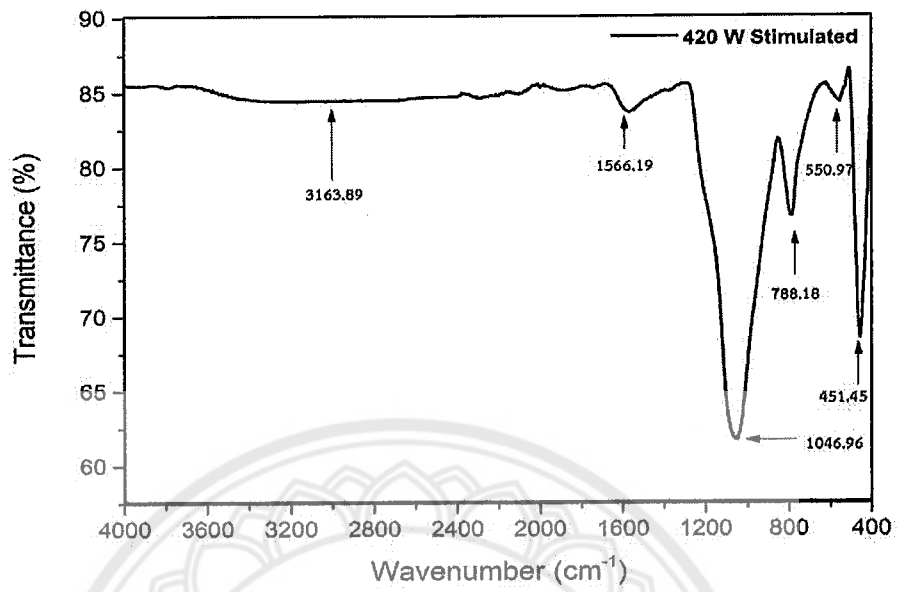
ชนิดถ่าน	Wavenumber (cm^{-1})			
	2400 - 3400 (O - H)	1600 - 1450 (C = C)	1090 - 800 (Si-O-Si) การสั่นแบบยืด	400 - 600 (Si-O-Si) การสั่นแบบงอ
ไม่กระตุ้น	3192.11	1564.94	1046.60 - 790.50	454.75 - 550.97
140 วัตต์	3174.00	1567.44	1059.35 - 790.92	459.14 - 562.84
420 วัตต์	3163.89	1566.19	1046.96 - 788.18	455.45 - 550.97
700 วัตต์	3186.12	1566.36	1059.02 - 791.45	458.29 - 549.93



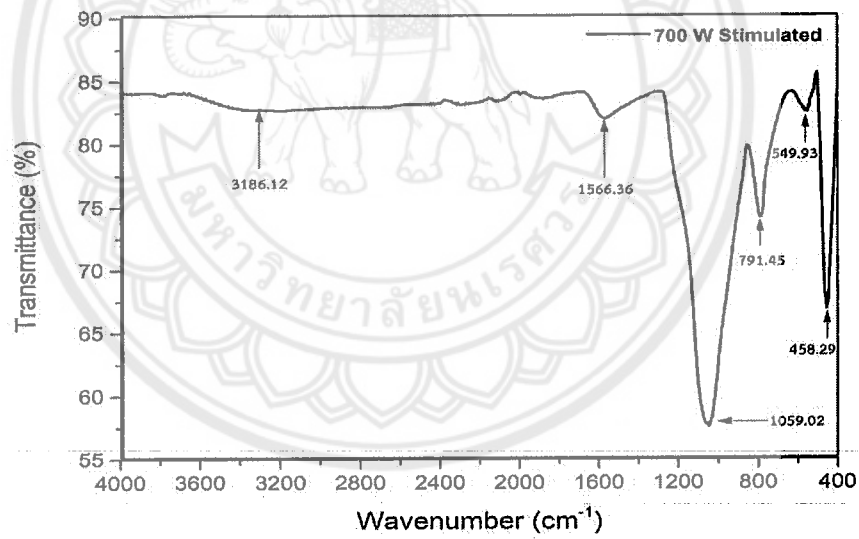
รูป 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านจากแกลบที่ได้จากการเผาอุณหภูมิ 700°C ไม่ผ่านการกระตุ้น



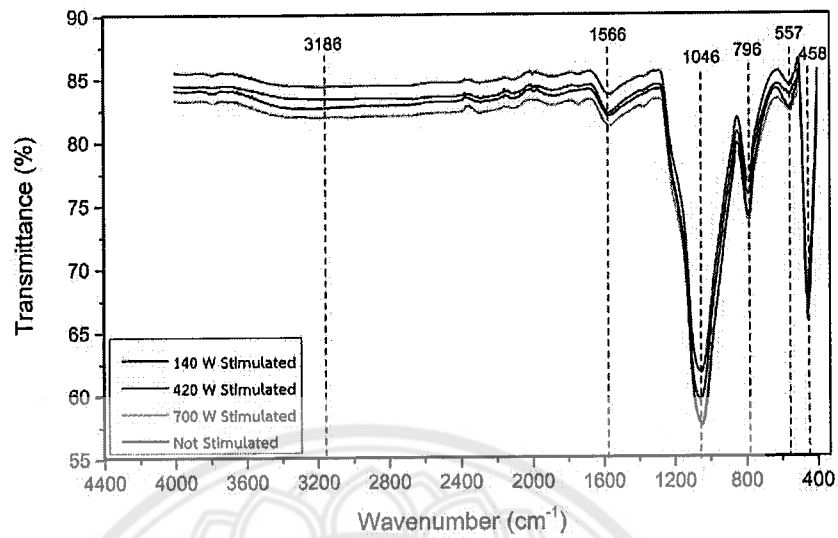
รูป 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแกลบผ่านการกระตุ้น 140 วัตต์



รูป 4.4 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากเกลบผ่านการกระตุ้น 420 วัตต์



รูป 4.5 สเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากเกลบผ่านการกระตุ้น 700 วัตต์

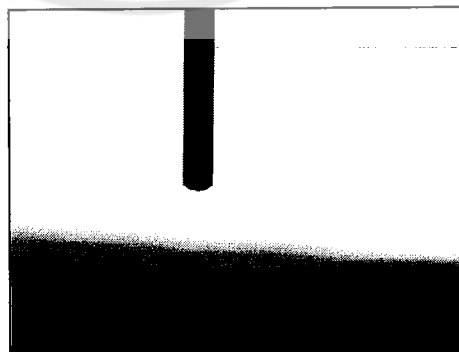


รูป 4.6 เปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากแกลบ ที่ไม่ได้รับการกระตุ้นและได้รับการกระตุ้น

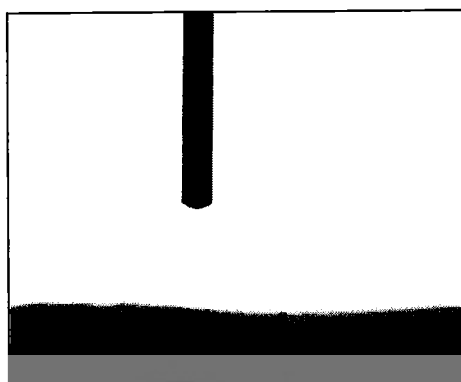
4.5 การศึกษาสมบัติการเปียกบนพื้นผิวข้ออิเล็กโทรดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส

4.5.1 การศึกษาบนพื้นผิวข้ออิเล็กโทรดของถ่านจากแกลบเผาในอุณหภูมิ 700 °C ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟระยะเวลาในการกระตุ้น 1 นาที กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 140, 420 และ 700 วัตต์

จากการทดสอบวัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องมือวัดมุมสัมผัส Contact angle เพื่อวิเคราะห์สมบัติการเปียกของพื้นผิวตัวอย่างข้ออิเล็กโทรด โดยจากการทดสอบบนพื้นผิวข้ออิเล็กโทรดเมื่อหยดน้ำสัมผัสกับผิวข้ออิเล็กโทรด หยดน้ำทำมุมน้อยกว่ามุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา คือ การเปียกอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เมื่อน้ำสัมผัสผิวข้อไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน 3 วินาที หยดน้ำจากหลอดหยดจะถูกดูดซับในทันที จึงไม่ปรากฏรูปหยดน้ำที่ผิวข้อไฟฟ้า ดังรูป 4.7-4.9 ที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นเมื่อหยดน้ำถูกหยดลงบนผิวของเหลวจะกระจายไปตามผิวของข้ออิเล็กโทรดกลายเป็นชั้นของเหลวปกคลุมพื้นผิวเป็นบริเวณกว้างที่สุดซึ่งชี้ถึงสมบัติการชอบน้ำของข้ออิเล็กโทรด



รูป 4.7 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวหน้าข้ออิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์



รูป 4.8 ลักษณะของหยดน้ำมันผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 420 วัตต์



รูป 4.9 ลักษณะของหยดน้ำมันผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดที่กระตุ้นกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

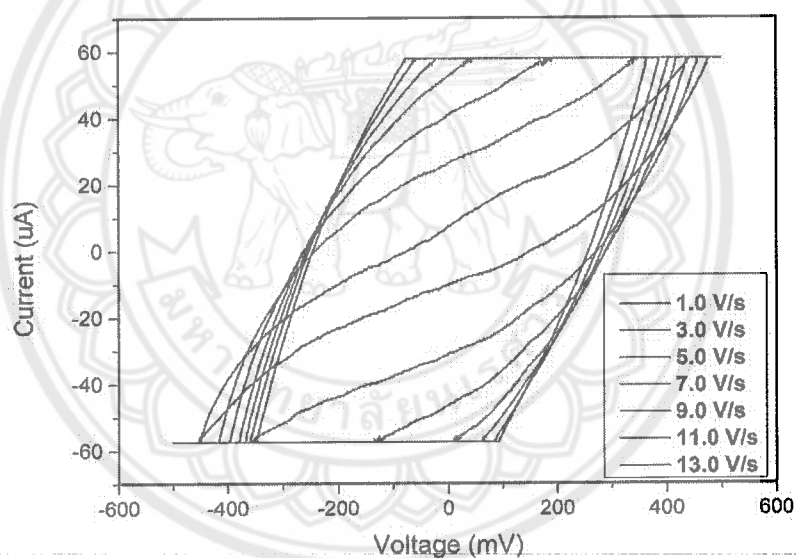
4.6 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38

4.6.1 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือปนไขกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์

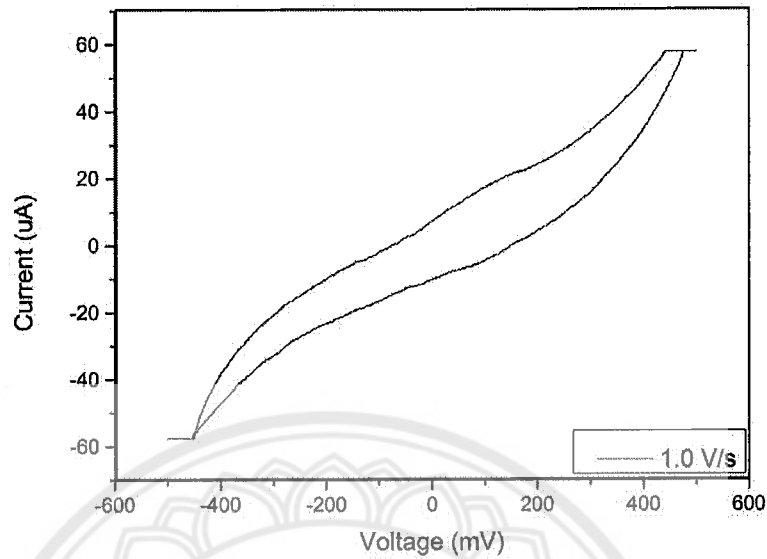
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.62 - 4.43 μF

ตาราง 4.6 การทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	8.154	-14.88	8.62	1.0	8.62
3.0	25.30	-26.23	25.76	3.0	8.59
5.0	40.07	-45.52	42.79	5.0	8.56
7.0	52.25	-57.53	54.89	7.0	7.84
9.0	57.70	-57.48	57.59	9.0	6.39
11.0	57.73	-57.50	57.62	11.0	5.23
13.0	57.70	-57.48	57.59	13.0	4.43



รูป 4.10 กราฟ Cyclic voltammety ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38



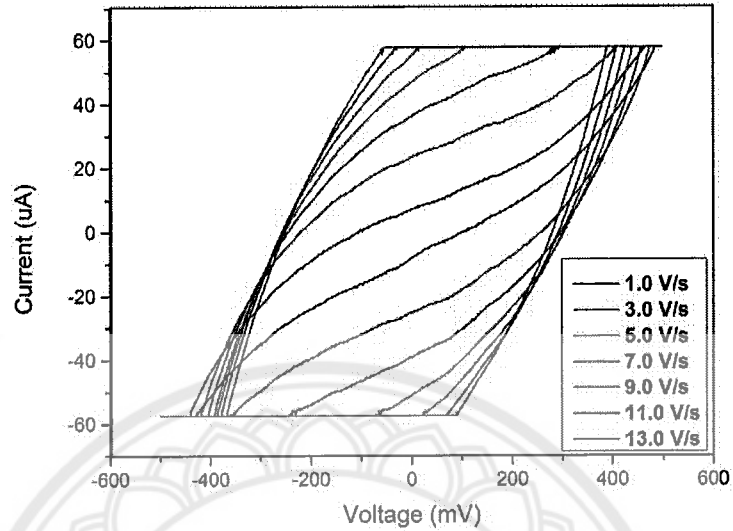
รูป 4.11 กราฟ Cyclic voltammetry ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 140 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.6.2 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือปนไขกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์

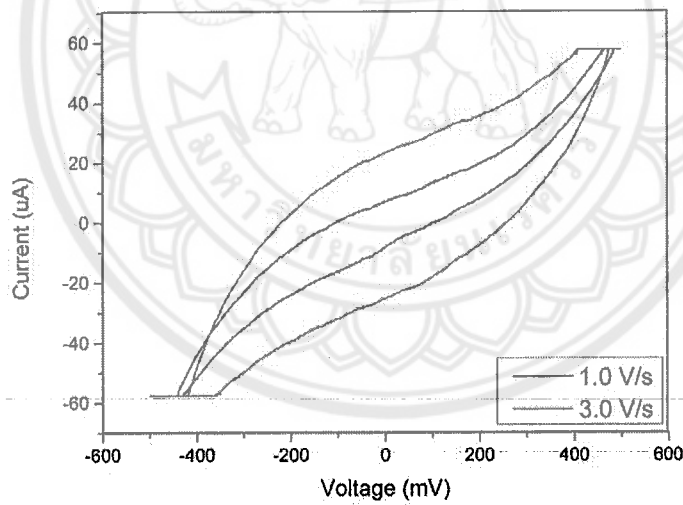
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.56 - 4.43 μF

ตาราง 4.7 การทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	7.06	-9.06	7.56	1.0	7.56
3.0	23.45	-21.75	22.59	3.0	7.53
5.0	36.09	-35.02	37.53	5.0	7.51
7.0	46.67	-51.30	48.99	7.0	6.99
9.0	55.11	-57.53	56.32	9.0	6.26
11.0	57.76	-57.53	57.65	11.0	5.24
13.0	57.76	-57.53	57.65	13.0	4.43



รูป 4.12 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38



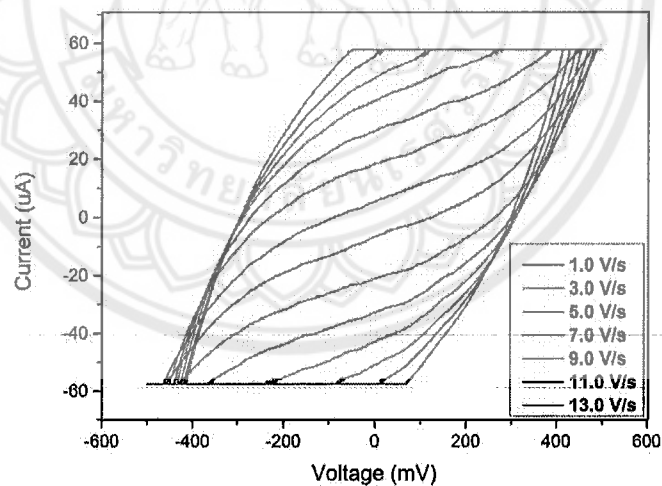
รูป 4.13 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 420 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.6.3 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือปนไขกระดูกด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

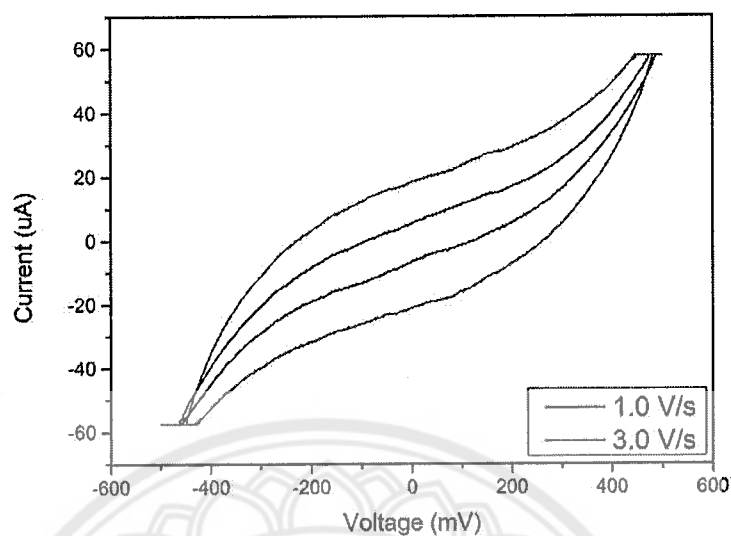
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.54 - 4.43 μF

ตาราง 4.8 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	5.51	-7.58	6.54	1.0	6.54
3.0	18.18	-18.01	19.52	3.0	6.51
5.0	29.60	-32.98	31.29	5.0	6.26
7.0	40.09	-43.12	41.60	7.0	5.94
9.0	47.75	-50.70	49.22	9.0	5.47
11.0	55.55	-57.50	56.53	11.0	5.14
13.0	57.76	-57.53	57.65	13.0	4.43



รูป 4.14 กราฟ Cyclic voltammetry ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38



รูป 4.15 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 700 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

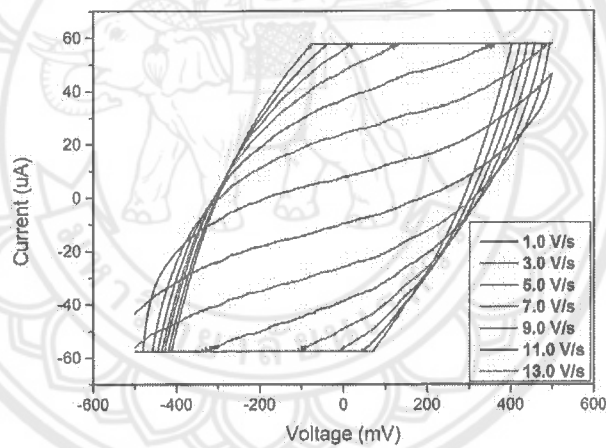
4.7 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54

4.7.1 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือไนเซอกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์

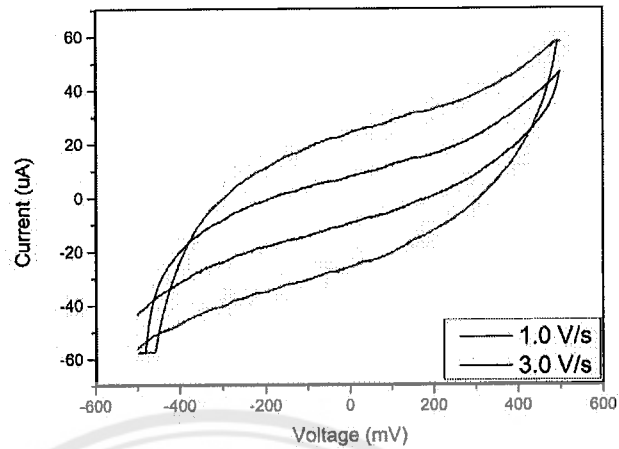
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.60 - 4.43 μF

ตาราง 4.9 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	7.9119	-9.2889	8.6004	1.0	8.60
3.0	23.8739	-25.901	24.8875	3.0	8.29
5.0	36.7869	-38.9391	37.8630	5.0	7.57
7.0	47.3726	-49.1494	48.2609	7.0	6.89
9.0	55.6058	-56.9322	56.2689	9.0	6.25
11.0	57.762	-57.5867	57.6744	11.0	5.24
13.0	57.7579	-57.5328	57.6454	13.0	4.43



รูป 4.16 กราฟ Cyclic voltammetry ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54



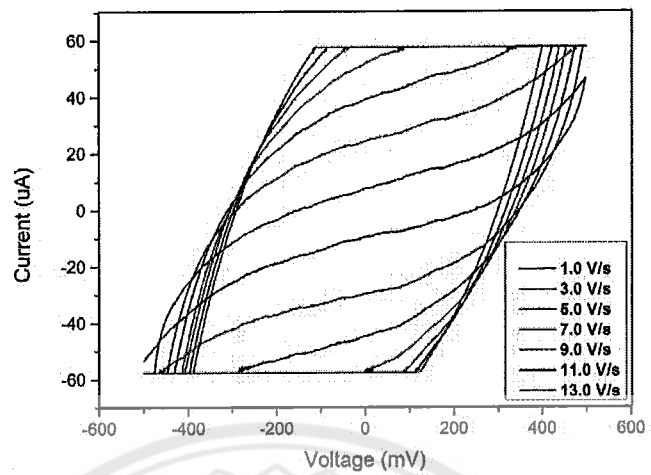
รูป 4.17 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 140 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.7.2 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์เคลือบ เจือปนไซโครเรซินด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์

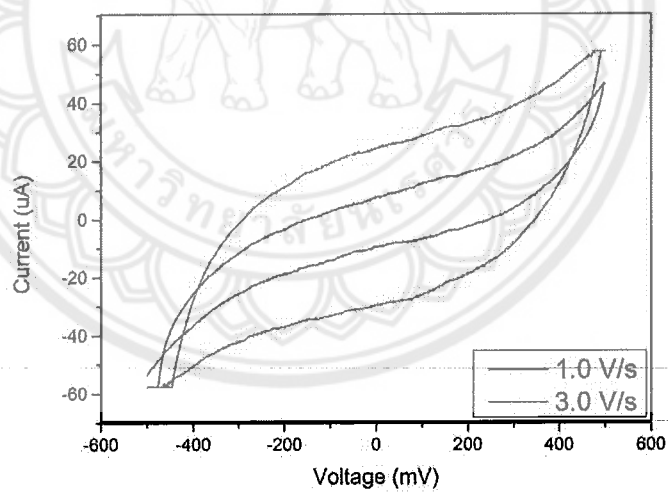
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.84 - 4.43 μF

ตาราง 4.10 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	7.6827	-9.9894	8.8361	1.0	8.84
3.0	24.3244	-28.6298	26.4770	3.0	8.83
5.0	39.2089	-44.6170	41.9129	5.0	8.38
7.0	51.8270	-57.5077	54.6674	7.0	7.81
9.0	57.7579	-57.5328	57.6454	9.0	6.41
11.0	57.7333	-57.5581	57.6457	11.0	5.24
13.0	57.7579	-57.5328	57.6454	13.0	4.43



รูป 4.18 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54



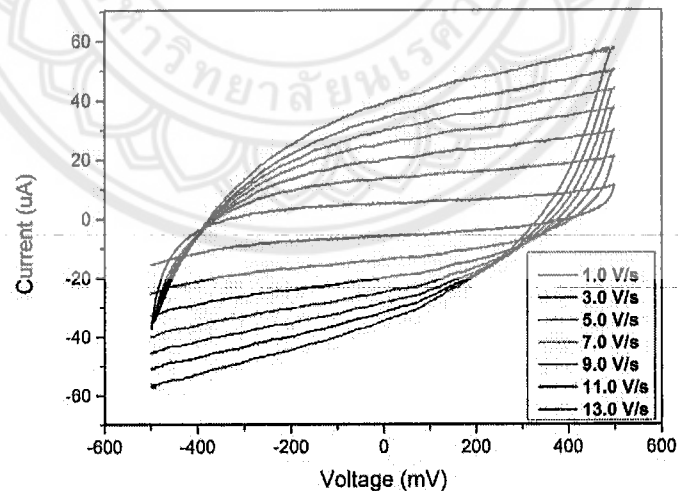
รูป 4.19 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 420 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.7.3 ซีวอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือไนโตรเจนด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

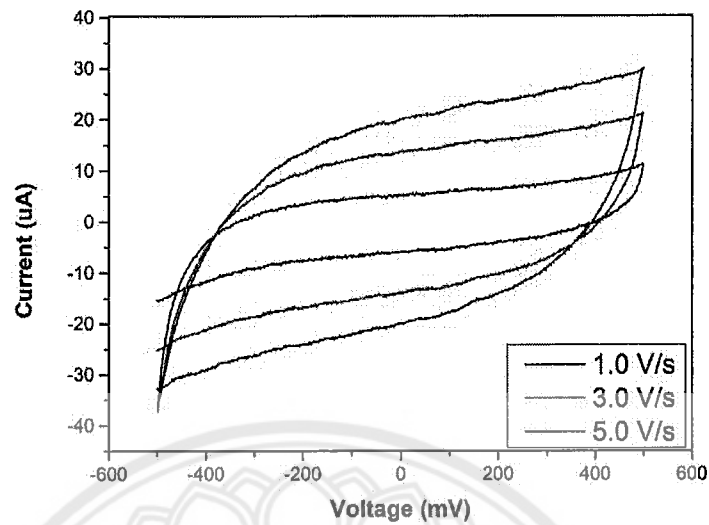
ผลการทดสอบซีวอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.58 – 2.83 μF

ตาราง 4.11 การทดสอบซีวอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	5.2329	-5.9339	5.5834	1.0	5.58
3.0	13.6205	-13.8208	13.7207	3.0	4.57
5.0	19.8851	-19.7850	19.8350	5.0	3.97
7.0	25.3256	-24.7750	25.0503	7.0	3.58
9.0	29.6846	-28.3069	28.9958	9.0	3.22
11.0	33.9591	-31.6818	32.8205	11.0	2.98
13.0	38.9641	-34.5847	36.7744	13.0	2.83



รูป 4.20 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ซีวอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6.54



รูป 4.21 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 700 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

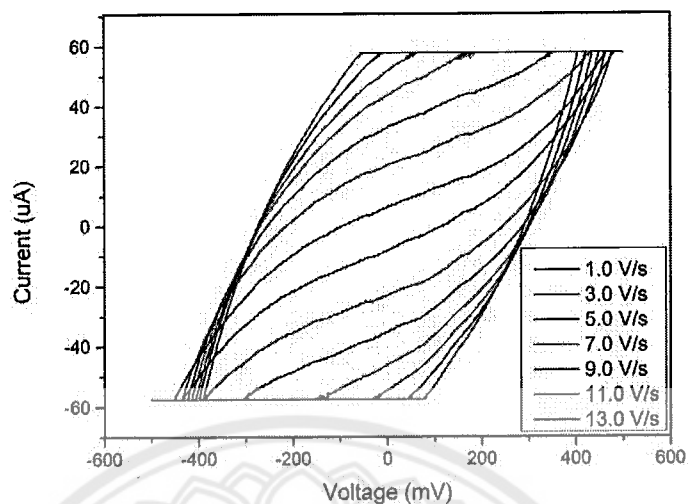
4.8 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดแบบ Double layer ด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50

4.8.1 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์เคลือบ เจือปนไขกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์

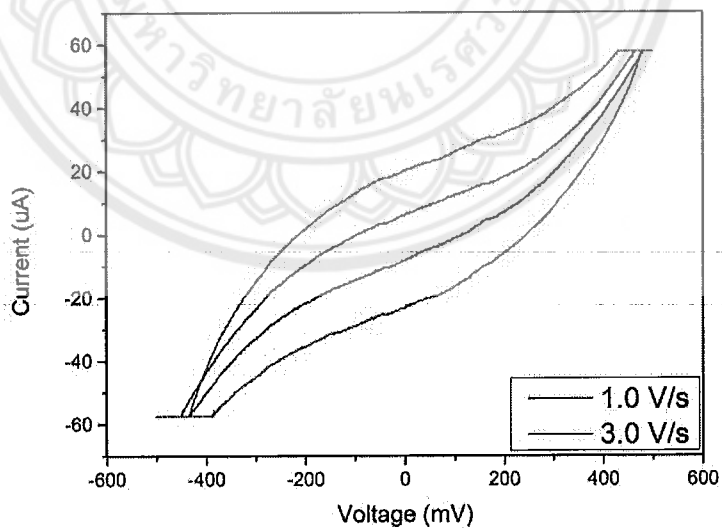
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.21 - 4.43 μF

ตาราง 4.12 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50

Sweep rate (V/s)	i_a μA	i_c μA	$\frac{i_a - i_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{i_a - i_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	6.1312	-8.2833	7.2072	1.0	7.21
3.0	20.3204	-23.3985	21.859	3.0	7.29
5.0	32.6328	-35.2854	33.9590	5.0	6.79
7.0	43.4937	-46.2715	44.8826	7.0	6.41
9.0	51.5276	-54.7324	53.1300	9.0	5.90
11.0	57.7579	-57.5328	57.6454	11.0	5.24
13.0	57.7333	-57.5581	57.6457	13.0	4.43



รูป 4.22 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับริงส์ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50



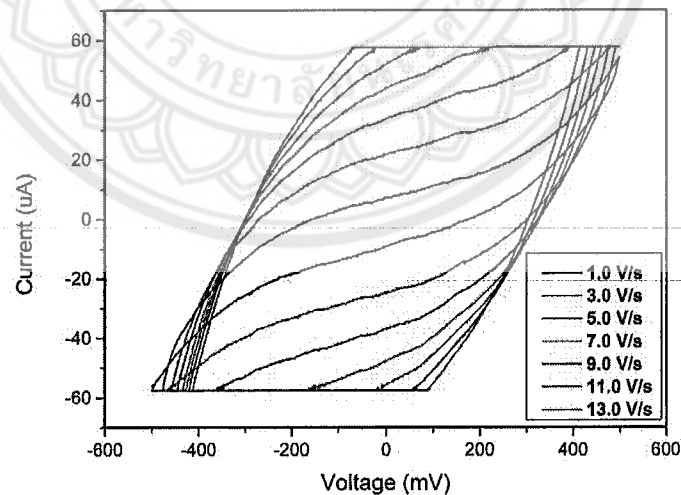
รูป 4.23 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับริงส์ไมโครเวฟ 140 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.8.2 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ เจือปนไซโครเรซินด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์

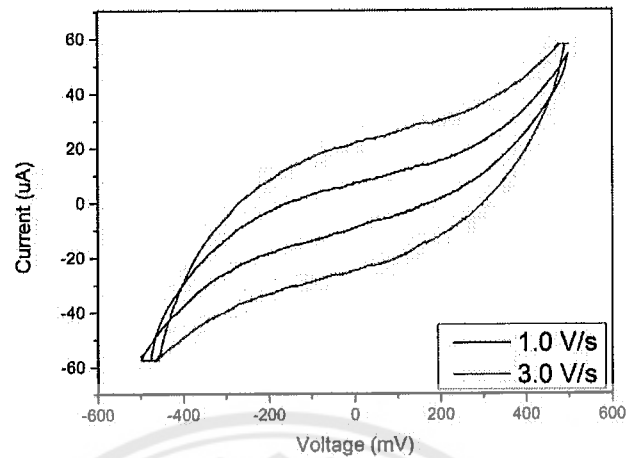
ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ ระหว่าง 8.07 - 4.43 μF

ตาราง 4.13 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ใน สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	16.1412	-9.1092	8.0706	1.0	8.07
3.0	46.5718	-24.7749	23.2859	3.0	7.76
5.0	70.6709	-36.7369	35.3355	5.0	7.07
7.0	91.5084	-47.5453	45.7542	7.0	6.54
9.0	107.4329	-55.3306	53.7164	9.0	5.97
11.0	115.2913	-57.5581	57.6457	11.0	5.24
13.0	115.2908	-57.5328	57.6454	13.0	4.43



รูป 4.24 กราฟ Cyclic voltammetry ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำ ร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 420 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50



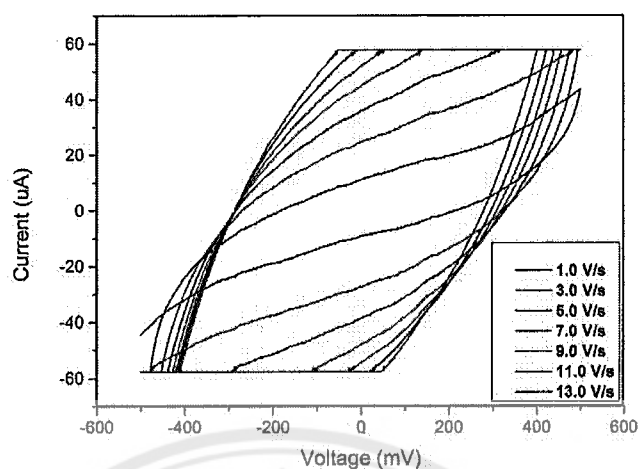
รูป 4.25 กราฟ Cyclic voltammetry ของคู่ขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์เคลือบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ 420 วัตต์ แสดงลักษณะสมมาตรใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.8.3 ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์เคลือบ เจือปนไซโครเรซินด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลาการกระตุ้น 1 นาที ในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50 มีค่าความจุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.24 - 4.43 μF

ตาราง 4.14 ผลการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยน้ำกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50

Sweep rate (V/s)	I_a μA	I_c μA	$\frac{I_a - I_c}{2}$	$C_{di} \frac{dE}{dT}$ (V/s)	$\frac{I_a - I_c}{2} = C_{di} \frac{dE}{dT}$ (μF)
1.0	11.2113	-9.2593	10.2353	1.0	10.24
3.0	24.8749	-27.3775	26.1262	3.0	8.71
5.0	35.9039	-38.5329	37.2184	5.0	7.44
7.0	44.7174	-47.7219	46.2196	7.0	6.60
9.0	52.1023	-54.3546	53.2284	9.0	5.91
11.0	57.7868	-57.5615	57.6741	11.0	5.24
13.0	57.7579	-57.5328	57.6454	13.0	4.43

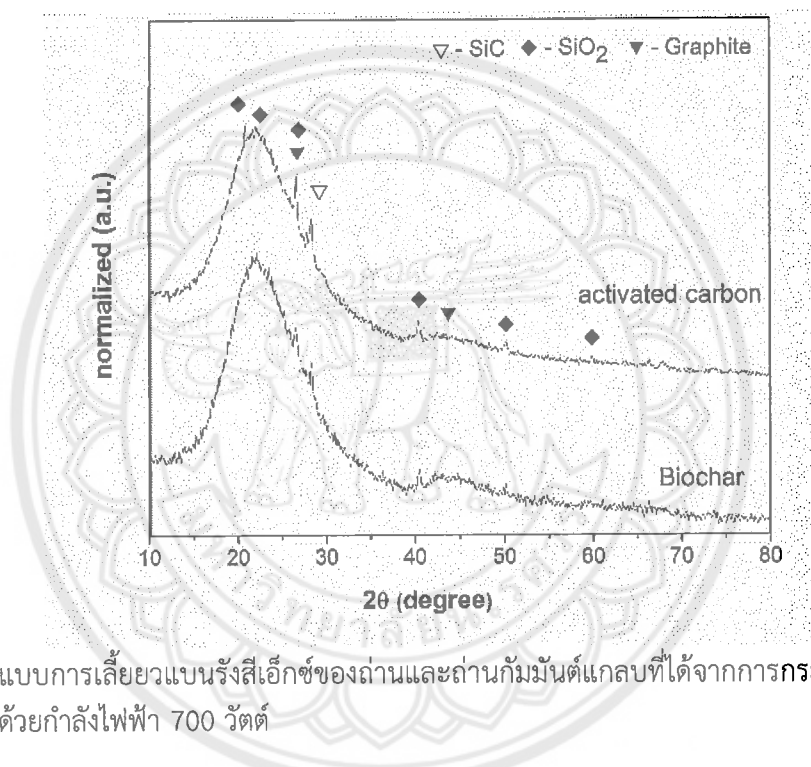


รูป 4.26 กราฟ Cyclic voltammetry ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผลิตจากถ่านกัมมันต์แกลบที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในสารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 9.50

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเก็บประจุจำเพาะที่ถูกวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมทรี ของขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านแบบ Double layers ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 วัตต์ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3.38, 6.54 และ 9.50 และสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้ำส้มสายชูความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่อัตราในการสแกนที่แตกต่างกัน พบว่า อัตราเร็วในการสแกนค่าการเก็บประจุมีค่าลดลงเมื่ออัตราเร็วในการสแกนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะแพร่เข้าไปที่ผิวด้านนอกของขั้วไฟฟ้าเท่านั้น ขณะที่อัตราเร็วในการสแกนต่ำๆ ไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถแพร่เข้าไปได้ภายในรูพรุนของขั้วอิเล็กโทรด สามารถอธิบายได้ว่าพฤติกรรมอัตราสแกนที่เพิ่มมากขึ้นอิเล็กโทรไลต์ไม่มีเวลาในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสแกนอย่างรวดเร็ว สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะสามารถเข้าถึงผิวขั้วอิเล็กโทรดขึ้นอยู่กับอัตราการสแกน ถ้าอัตราการสแกนถูกเปลี่ยนแปลงการตอบสนองที่ผิวขั้วอิเล็กโทรดจะถูกเปลี่ยนแปลงไปจากการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดทำจากถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้านแบบ Double layers ในสารละลายน้ำเกลือขั้วอิเล็กโทรดไม่สามารถแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุได้ดีที่อัตราการสแกนที่เพิ่มขึ้น แต่แสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุได้ดีที่อัตราการสแกนต่ำๆ เนื่องจากโมเลกุลของเกลือไปบดบังพื้นที่ผิวของขั้วอิเล็กโทรดทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ผิวภายในรูพรุนของขั้วอิเล็กโทรดได้ ขณะที่ขั้วอิเล็กโทรดในสารละลายน้ำส้มสายชูแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุได้ดีที่อัตราการสแกนที่เพิ่มสูงขึ้นและแสดงพฤติกรรมเป็นเก็บประจุในอุดมคติ ยิ่งอัตราการสแกนสูงยิ่งบ่งบอกประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุ แต่อย่างไรก็ตามขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ในน้ำเกลือความเข้มข้น 6.54 แสดงพฤติกรรมตัวเก็บประจุในอุดมคติ เนื่องจากถ่านที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ มีค่าการดูดซับดีที่สุดจากการทดสอบการดูดซับไอโอดีน

4.9 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของผงถ่านและถ่านกัมมันต์จากแกลบ

จากรูป 4.27 ผลจากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่าถ่านและถ่านกัมมันต์จากแกลบประกอบไปด้วยคาร์บอนอสัณฐาน สังเกตได้จากกราฟที่มีฐานกว้างของมุม $10-30^{\circ}$ และปรากฏคาร์บอนที่มีโครงสร้างที่ชัดเจน คือ กราไฟต์ หมายเลข JC-PDF 752078 นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบทางเคมีของ SiO_2 หมายเลข JC-PDF 850335 และ SiC หมายเลข JC-PDF 31146 ทั้งนี้ในแกลบมีองค์ประกอบของ Si อยู่ภายในเมื่อนำแกลบมาผ่านกระบวนการให้เป็นถ่าน Si เกิดการรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและคาร์บอนในช่วงเวลาการเปลี่ยนโครงสร้างจากแกลบไปเป็นถ่าน ที่ภายใต้อุณหภูมิสูง 700 องศาเซลเซียส

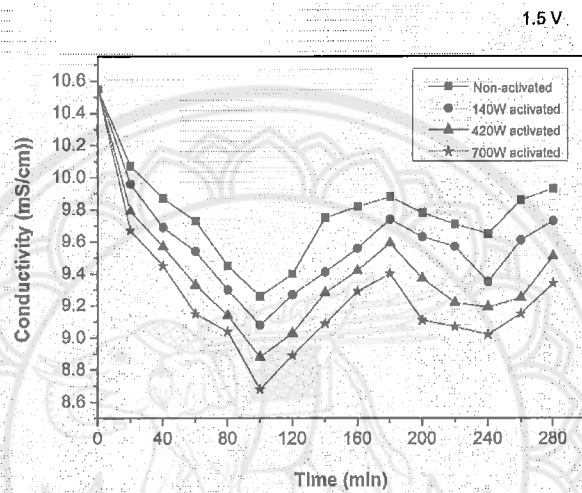


รูป 4.27 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของถ่านและถ่านกัมมันต์แกลบที่ได้จากการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

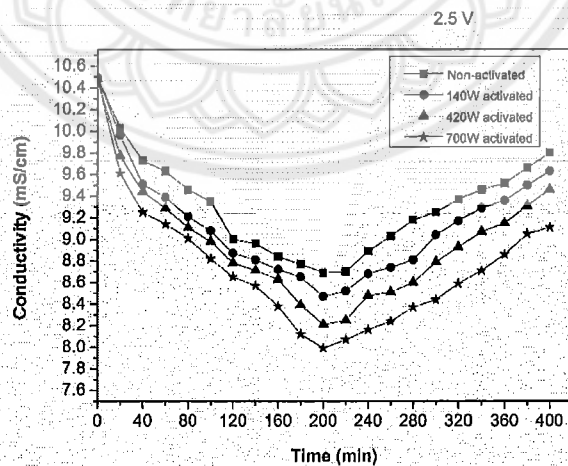
4.10 ผลการทดสอบการดูดซับเกลือภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบการดูดซับเกลือภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน จากรูป 4.28 ที่เวลา 0-100 นาที พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงต่ำสุดคิดเป็น 17.73% ของถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ และร้อยละการนำไฟฟ้าที่เป็นผลจากดูดซับเกลือในน้ำมีค่าลดลงตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น เมื่อเวลามากกว่า 100 นาที ปรากฏค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นเป็นผลจากการที่ขั้วไฟฟ้าที่มีรูพรุนที่ทำหน้าที่กักเก็บประจุ เกิดการคายไอออนออกจากขั้วไฟฟ้า เนื่องจากค่าประจุของขั้วไฟฟ้าภายใต้แรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ มีค่าน้อยกว่าค่าการแพร่ของสารที่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายเกลือ ทำให้เกิดการจับคู่พันธะของ Na^+ และ Cl^- ลงในน้ำ ทำให้เกิดพาหะนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นภายในน้ำ ที่เวลา 170 นาที ค่าการนำไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดของค่าการนำไฟฟ้าและเริ่มมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าที่จุดนี้ มีค่าน้อยกว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนการบำบัด ดังรูป 4.29 อธิบายได้ว่า การ

คายนประจุของถ่านกัมมันต์ไม่ได้คายนประจุของไอออนเกลือที่ทำการกักเก็บไว้ไม่สามารถออกจากรูพรุนที่ทำการดูดซับมาได้ทั้งหมด จากลักษณะดังกล่าว อาจอธิบายได้ว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้าในการกักประจุมีค่าน้อยหรืออาจไม่เพียงพอต่อการกักประจุ เมื่อเวลาผ่านไปจนทำให้เกิดการคายประจุเกิดขึ้น ลักษณะเช่นนี้ก็ปรากฏกับขั้วไฟฟ้าที่ทำการป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ แต่ลักษณะของกราฟที่ปรากฏการคายประจุจะพบที่เวลา 200 นาที และมีค่าร้อยละของประสิทธิภาพการดูดซับไอออน ที่มากที่สุดที่การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ 700 วัตต์ 23.76% และเริ่มคายประจุออกมาเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น



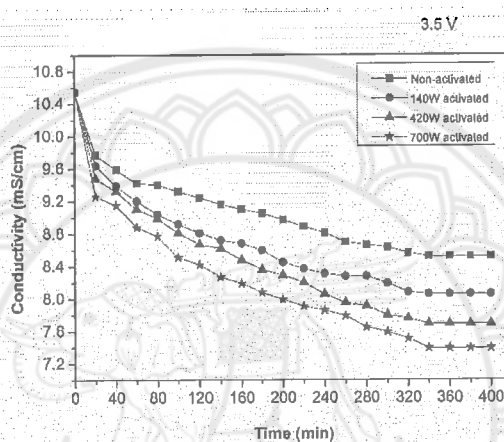
รูป 4.28 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์ภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์



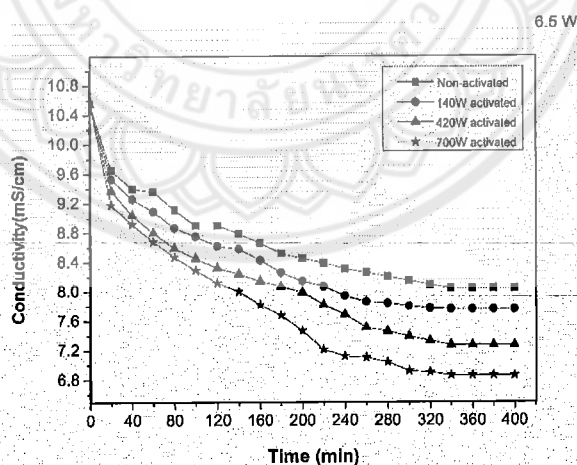
รูป 4.29 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขั้วขั้วไฟฟ้าถ่านกัมมันต์ภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 2.5 โวลต์

จากรูปที่ 4.30 ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 3.5 โวลต์ ที่เวลา 0-340 นาที ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 340 นาที ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าคงที่ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่าน ที่การนำไฟฟ้า 700 วัตต์ ให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไอออนเกลือในน้ำได้ถึง 30.02%

จากรูปที่ 4.31 ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6.5 โวลต์ ที่เวลา 0-340 นาที ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 340 นาที ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าคงที่ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่าน ที่การนำไฟฟ้า 700 วัตต์ ให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไอออนเกลือในน้ำได้ถึง 35.04%



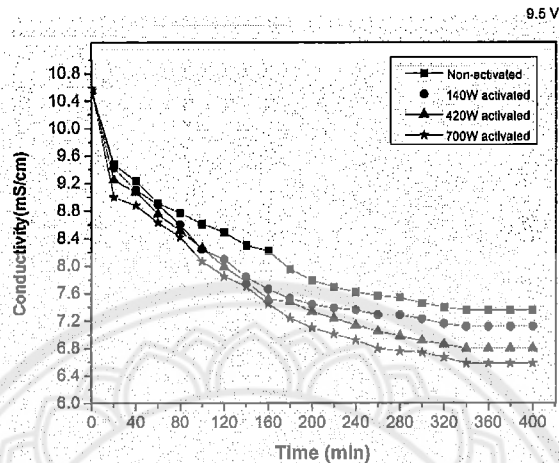
รูป 4.30 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากซบซัวไฟฟ้าถ่านกัมมันต์กลบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 3.5 โวลต์



รูป 4.31 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากซบซัวไฟฟ้าถ่านกัมมันต์กลบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 6.5 โวลต์

จากรูปที่ 4.32 ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 9.5 โวลต์ ที่เวลา 0-340 นาที ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 340 นาที ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าคงที่ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่าน ที่การนำไฟฟ้า 700 วัตต์ ให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไอออนเกลือในน้ำได้ถึง

นำไฟฟ้า 700 วัตต์ ให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไอออนเกลือในน้ำได้ถึง 37.69%



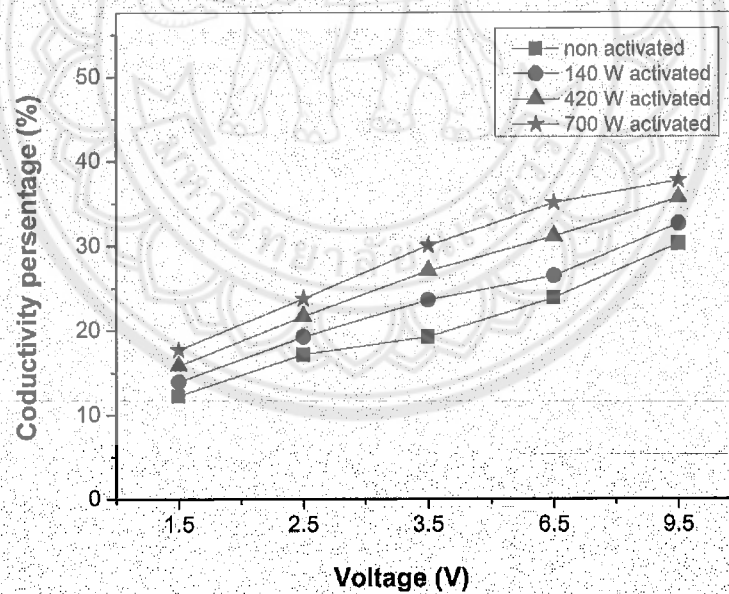
รูป 4.32 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากการดูดเกลือจากขี้ข้าวไฟฟ้าถ่านกัมมันต์เคลือบภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า 9.5 โวลต์

จากตาราง 4.15 และ รูป 4.33 พบว่าการใช้แรงดันไฟฟ้าช่วง 1.5-2.5 โวลต์ ความสามารถในการดูดซับไอออนเกลือในน้ำได้ประสิทธิภาพต่ำกว่า 30% ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ เมื่อทำการเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ขี้ไฟฟ้าที่ 6.5-9.5 โวลต์ ร้อยละประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนเกลือมีค่าที่ค่ามากกว่า 30% เมื่อการกระตุ้นถ่านด้วยรังสีไมโครเวฟร่วมกับน้ำมีค่ามากกว่า 420 วัตต์ ที่การป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า 9.5 โวลต์ ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่านด้วยรังสีไมโครเวฟมีค่าประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนมากกว่า 30% ทุกเงื่อนไขของการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอออนในน้ำได้ดีทุกเงื่อนไขของการกระตุ้นถ่าน อย่างไรก็ตามแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขี้ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับไอออน ทั้งนี้สนามไฟฟ้าที่มีปริมาณมากจะช่วยให้การกักไอออน แต่ไม่มีผลต่อความเร็วของการดูดซับไอออน จะพบว่าที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่า 3.5-9.5 โวลต์ การดูดซับไอออนของขี้ไฟฟ้ามีค่าคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป 340 นาที ทุกเงื่อนไขของการป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า กล่าวได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงจะช่วยให้การกักประจุให้มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความสามารถในการกักประจุขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

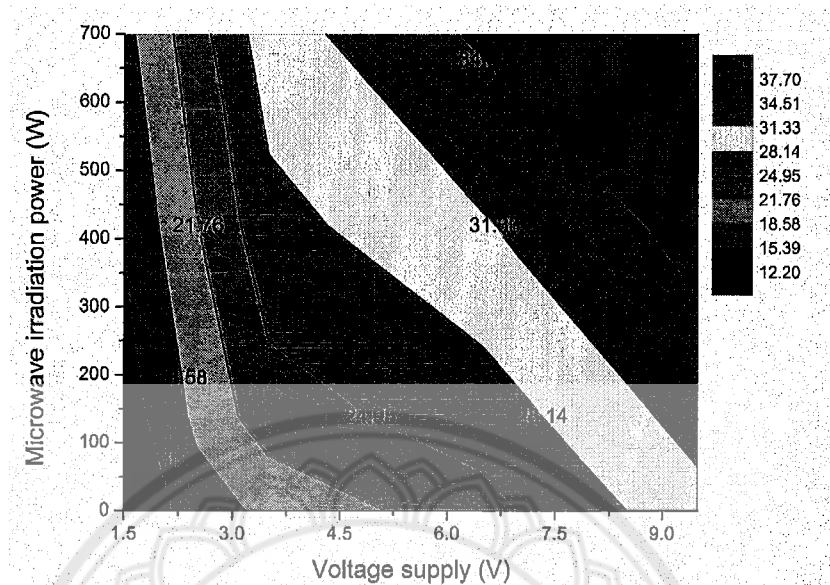
เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟแบบ 3 มิติ เพื่อหาความสัมพันธ์จากเงื่อนไขการกระตุ้นถ่านกัมมันต์แรงเคลื่อนไฟฟ้า และร้อยละประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนที่ละลายในน้ำ ดังรูป 4.34 พบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ 700 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ขี้ไฟฟ้ามากกว่า 4.5 โวลต์ จะให้ค่าร้อยละประสิทธิภาพมากกว่า 30% และ กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ 400-500 วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขี้ไฟฟ้า 3.5-6.5 โวลต์ มีร้อยละประสิทธิภาพการลดไอออนในน้ำได้ถึง 28.14-31.33% เป็นเงื่อนไขที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ประหยัดพลังงาน

ตาราง 4.15 ค่าประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนเกลือในน้ำ

แรงดันไฟฟ้า ตกคร่อม (โวลต์)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ภายใต้การกระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้ากระตุ้น (วัตต์)			
		ไม่กระตุ้น	140	420	700
1.5	100	12.23	13.93	15.83	17.73
2.5	200	17.16	19.26	21.66	23.76
3.5	340	19.24	23.60	27.04	30.02
6.5	340	23.86	26.45	31.09	35.04
9.5	340	30.24	32.58	35.61	37.69



รูป 4.33 แสดงค่าร้อยละประสิทธิภาพของขึ้นไฟฟ้าที่ทำจากถ่านกัมมันต์แกลบ ของการดูดซับไอออนในน้ำ



รูปที่ 4.34 แสดงแผนภูมิสามมิติของ กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม และร้อยละประสิทธิภาพของการดูดซับไอออน

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

กลายเป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการสีข้าว เมื่อนำมาเปลี่ยนเป็นถ่านด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ร้อยละผลผลิตของถ่านแกลบ 30.15 ± 1.55 ถ่านที่ได้นำมากระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 140, 420 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 756.21-778.19 mg/g พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของถ่านและถ่านกัมมันต์แกลบปรากฏ คาร์บอนอสัณฐาน กราไฟต์ SiO₂ และ SiC ลักษณะของโครงสร้างพันธะของคาร์บอนแบบ O-H, C=C, Si-O-Si (การสั่นแบบยืด), Si-O-Si (การสั่นแบบงอ) ที่ความยาวคลื่น 3186, 1566, 1046-796, 458 - 557 cm⁻¹ ชั่วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบที่ผ่านการกระตุ้นมีสมบัติการดูดซับน้ำได้ดี

ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5-9.5 โวลต์ ที่ป้อนให้ระบบบำบัดน้ำแบบ CDI พบว่าชั่วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบมีแนวโน้มการบำบัดไอออนในน้ำเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่การกระตุ้นถ่านด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟ ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำที่ปรากฏมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการบำบัด และจะมีค่าคงที่ ประสิทธิภาพของชั่วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบสามารถลดค่าไอออนในน้ำได้มากกว่า 30% ที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่า 2.5 โวลต์ กล่าวได้ว่า การกระตุ้นถ่านแกลบด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟให้เป็นถ่านกัมมันต์มีผลต่อสมบัติการกักเก็บไอออนได้ดีขึ้น ส่งผลให้การลดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้สามารถนำมาเป็นชั่วไฟฟ้ารุกรุนสำหรับการบำบัดน้ำด้วยเทคนิคการกักเก็บประจุได้ดี

เอกสารอ้างอิง

1. <http://contentcenter.prd.go.th/contentviewfullpage.aspx?folder=928&subfolder=&contents=63860> (สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2560)
2. <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html> (สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2560)
3. http://www.wwf.or.th/what_we_do/wetlands_and_production_landscape/freshwater/ (สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2560)
4. <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A2> (สืบค้นวันที่ 1 กันยายน 2560)
5. M. A. Anderson, A. L. Cudero, J. Palma, "Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices: Will it compete?", *Electrochimica Acta*, 2010, 55, 3845–3856.
6. K. zaid, A.B. Suriani, "A review on electrode materials used in capacitive deionization processes for water treatment applications", *Sci. Int. (Lahore)*, 2017, 29(1), 285-289.
7. L. Zoa, G. Morris, D. Qi, "Using activated carbon electrode in electrosorptive deionisation of brackish water-2008", *Desalination*, 2008, 225, 329-340.
8. V.M. Starov, V.G. Zhdanov, "Effective viscosity and permeability of porous media", *Colloids Surf. A*, 2001, 192, 363-375.
9. J. Friedl, U. Stimming, "Determining electron transfer kinetics at porous electrodes", *Electrochimica Acta*, 2017, 227, 235-245.
10. T. J. Welgemoed, "Capacitive deionization technology™: development and evaluation of industrial prototype system", Thesis, University of Pretoria etd – Welgemoed, 2005.
11. H. Marsh, F. Rodríguez-Reinoso, "Activated carbon", Elsevier Science & Technology Books, 2006.
12. Y. Zhang, R. Zheng, J. Zhao, F. Ma, Y. Zhang, Q. Meng, "Characterization of H₃PO₄-Treated Rice Husk Adsorbent and Adsorption of Copper(II) from Aqueous Solution", *BioMed Res. Int.*, 2014, 1-8.
13. Z. Asif, Z. Chen, "Removal of arsenic from drinking water using rice husk", *Appl. Water. Sci.*, 2017, 1449–1458.
14. F. Hanum, O. Bani, A. M. Izdiharo, "Characterization of Sodium Carbonate (Na₂CO₃) Treated Rice Husk Activated Carbon and Adsorption of Lead from Car Battery Wastewater", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2017, doi 180 012149

15. M. Ahiduzzaman, A. K. M. Sadrul Islam, "Preparation of porous biochar and activated carbon from rice husk by leaching ash and chemical activation", SpringerPlus, 2016, 5:1248
16. C.-L. Yeh, H.-C. Hsi, K.-C. Li, C.-H. Hou, "Improved performance in capacitive deionization of activated carbon electrodes with a tunable mesopore and micropore ratio", Desalination, 2015, 367, 60–68
17. G. Wang, B. Qian, Q. Dong, J. Yang, Z. Zhao, J. Qiu, "Highly mesoporous activated carbon electrode for capacitive deionization", Sep. & Pur. Tech., 2013, 103, 216–22



ภาคผนวก





คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

ยื่นทางไปรษณีย์

- การประดิษฐ์
- การออกแบบผลิตภัณฑ์
- อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535
และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่
วันที่รับคำขอ 25 ส.ย. 2563
วันที่ยื่นคำขอ 12 ส.ย. 2563
เลขที่คำขอ 2003001426

สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ

ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์
ประเภทผลิตภัณฑ์

วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
ชุดสัญญาณขนาดเล็กสำหรับขวดดรองสาร

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร บุคคลธรรมดา นิติบุคคล หน่วยงานรัฐ มูลนิธิ อื่นๆ

ชื่อ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ที่อยู่ 99 หมู่ 9

ตำบล/แขวง ท่าโพธิ์ อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด พิจิตร รหัสไปรษณีย์ 65000 ประเทศ ไทย

อีเมล kanyaratp@nu.ac.th

เลขประจำตัวประชาชน เลขทะเบียนนิติบุคคล เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 0 9 9 4 0 0 0 0 4 1 7 8 8 1 เพิ่มเติม (ดั่งแนบ)

ในกรณีที่กรมา สื่อสารกับท่าน ท่านสะดวกใช้ทาง อีเมลผู้ขอ อีเมลตัวแทน

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
 ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ผู้รับโอน ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี)

ชื่อ

ที่อยู่

ตำบล/แขวง อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์ ประเทศ

อีเมล

เลขประจำตัวประชาชน เพิ่มเติม (ดั่งแนบ)

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ ชื่อและที่อยู่เดียวกับผู้ขอ

6.1 ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นุชจิรา ดีแจ้ง

ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ 99 หมู่ 9

ตำบล/แขวง ท่าโพธิ์ อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด พิจิตร รหัสไปรษณีย์ 65000 ประเทศ ไทย

อีเมล

เลขประจำตัวประชาชน 3 6 0 0 1 0 0 8 4 9 8 4 8 เพิ่มเติม (ดั่งแนบ)

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม

ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร
เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ

ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ผู้รับโอน ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม้อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียด เพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

สำหรับเจ้าหน้าที่

จำแนกประเภทสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> กลุ่มวิศวกรรม สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (วิศวกรรม) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ไฟฟ้า) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฟิสิกส์)	<input type="checkbox"/> กลุ่มเคมี สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เคมีเทคนิค) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ปิโตรเคมี) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เทคโนโลยีชีวภาพ) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เภสัชภัณฑ์)	สิทธิบัตรการออกแบบ <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 1) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 2) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 3)	อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (วิศวกรรม) <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (เคมี)
--	--	---	--

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

ชุดสุญญากาศขนาดเล็กสำหรับขวดกรองสาร

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

- 5 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดสุญญากาศขนาดเล็กพร้อมตัวกรองสาร และของเหลวสำหรับการกรองแบบลดความดัน

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

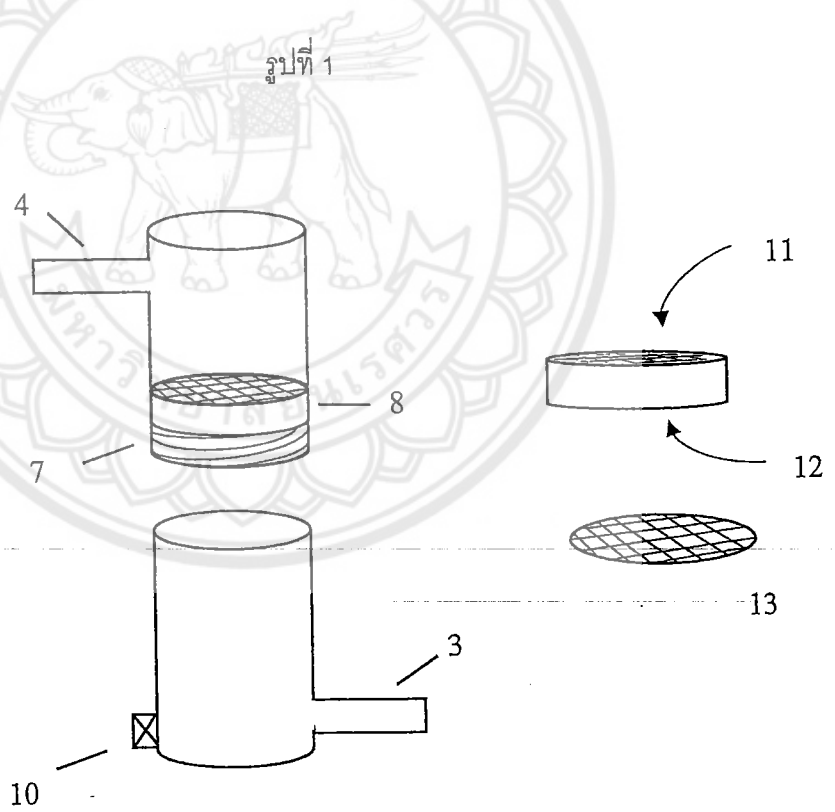
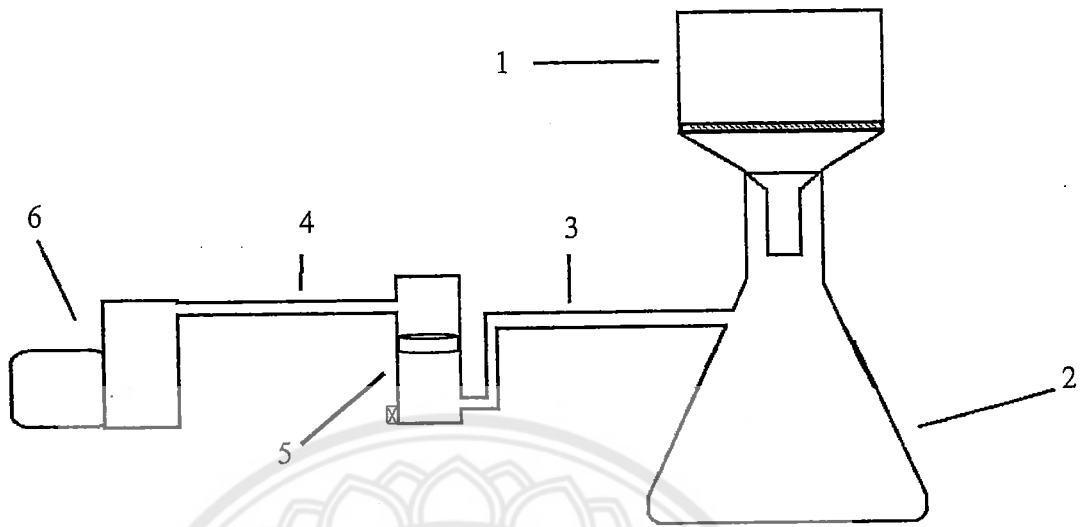
- 10 การกรองสารหรืออนุภาคของของแข็งที่อยู่ภายในสารละลายเช่น น้ำ แอลกอฮอล์ หรือ ตัวทำละลายอื่น ๆ จะถูกแยกออกมาได้ด้วยการใช้ตัวกลางที่มีขนาดรูพรุนขนาดเล็กที่ให้เพียงสารละลายไหลผ่านและกันไม่ให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่หรือตะกอนไม่ให้ไหลผ่านออกมา ทำให้สามารถแยกของเหลวออกจากอนุภาคของของแข็งหรือสารแขวนลอย ลักษณะการทำงานของกระบวนการกรองด้วยการไหลสารละลายใส่กรวยกรองที่ด้านล่างประกอบด้วยมีตะแกรงหรือกระดาษกรองสำหรับแยกอนุภาควางไว้อยู่ด้านล่าง ณ ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ กระบวนการกรองที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนของตะแกรงหรือกระดาษกรอง

- 15 การกรองในขนาดเล็กหรือห้องปฏิบัติการนิยมใช้น้ำทำการดึงอากาศออกโดยปล่อยให้ น้ำไหลผ่านท่อส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการแยกอนุภาคของของแข็งหรือสารแขวนลอยที่ต้องผ่านตะแกรงหรือกระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก ๆ อีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำ นอกจากนี้การใช้ปั๊มสุญญากาศขนาดใหญ่ก็ส่งผลให้เกิดการฉีกขาดของกระดาษกรองหรือการแตกเสียหายของขวดกรอง และการที่ของเหลวเข้าสู่ตัวปั๊มสุญญากาศทำให้เกิดการชำรุด

20 ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

- ชุดสุญญากาศขนาดเล็กสำหรับขวดกรองสารประกอบด้วย ชุดฟิลเตอร์ที่แยกออกจากปั๊มสุญญากาศขนาดเล็กที่ต่อเข้ากับชุดขวดกรองสาร ที่แยกจากกันเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานหรือติดตั้ง โดยของเหลวและอากาศจากขวดกรองสารจะถูกดักจับก่อนเข้าสู่ปั๊ม อากาศจากขวดกรองจะถูกดูดซับกลืนหรือไอระเหยก่อนเข้าสู่ตัวปั๊ม ระบบปั๊มสุญญากาศเป็นแบบโรตารีขนาดเล็กทำให้การดึงอากาศเพื่อให้เป็นสุญญากาศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ก่อให้เกิดแรงดึงอากาศที่รุนแรงทำให้การกรองสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

- 30 วัตถุประสงค์ของการสร้างชุดสุญญากาศขนาดเล็กสำหรับขวดกรองสารเป็นการกรองแบบลดความดันขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการก่อกำเนิดสุญญากาศภายในภาชนะบรรจุ ด้วยปั๊มเชิงกลแบบโรตารีขนาดเล็กและมีระบบป้องกันของเหลวหรือแก๊สที่ไม่พึงประสงค์เข้าไปสู่ตัวปั๊มสุญญากาศ สามารถถอดประกอบหรือเคลื่อนย้ายได้



รูปที่ 2

ข้อถ้อยสิทธิ

1. ชุดสัญญาภาคขนาดเล็กพร้อมฟิลเตอร์สำหรับขวดกรองสาร ประกอบด้วย กรวยกรองสาร (1) สำหรับวางแผ่นกรองหรือกระดาษกรอง ที่สวมอยู่กับขวดกรองสาร (2) ที่วางแนบสนิทกับกรวยกรองสาร (1) ขวดกรองสาร (2) มีท่ออากาศขาเข้า (3) ด้วยแรงดูดอากาศจากปั๊มสัญญาภาค (6) แบบโรตารีขนาดเล็ก 5 อากาศที่ไหลออกจากขวดกรองสาร (2) จะไหลเข้าสู่ชุดฟิลเตอร์ (5) ที่ทำหน้าที่ดักของเหลวและกรองอากาศ ก่อนเข้าสู่ปั๊มสัญญาภาค (6) มีลักษณะเฉพาะคือ

ชุดฟิลเตอร์(5) แยกออกจากปั๊มสัญญาภาค(6) โดยมีลักษณะทรงกระบอกสองส่วนแยกออกจากกัน ด้วยเกลียวเปิด/ปิด(7) อากาศจากขวดกรองสาร(2) จะไหลเข้าสู่ชุดฟิลเตอร์(5) ทางท่ออากาศขาเข้า(3) ของเหลวที่หลุดรอดออกมาจะถูกกักเก็บไว้ภายในส่วนกักของเหลว(9) ส่วนอากาศจะเคลื่อนที่ไหลผ่านชั้นกรองที่ประกอบด้วย ช่องสำหรับบรรจุสารดูดซับ(8) ด้านบนของช่องบรรจุสารดูดซับอากาศ ตะแกรงกั้นสารดูดซับ(11) และด้านล่างเป็นตะแกรง (12) โดยตะแกรงมีลักษณะเป็นตาข่าย(13) เพื่อให้การเคลื่อนตัวของอากาศเป็นไปได้สะดวกสามารถถอดเปลี่ยนได้ สำหรับของเหลวที่ถูกกักภายในสามารถระบายออกด้วยวาล์วเปิด/ปิด(10)





คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

ยื่นทางไปรษณีย์

- การประดิษฐ์
- การออกแบบผลิตภัณฑ์
- อนุสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522
แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535
และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่	
วันที่รับคำขอ 25 ส.ย. 2563	เลขที่คำขอ 2003001427
วันที่ยื่นคำขอ 2 ส.ย. 2563	
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
.....
.....
.....

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
.....
..... คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร บุคคลธรรมดา นิติบุคคล หน่วยงานรัฐ มูลนิธิ อื่นๆ

ชื่อ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ที่อยู่ 99 หมู่ 9

ตำบล/แขวง อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด พิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000 ประเทศ ไทย

อีเมล kanyaratp@nu.ac.th

เลขประจำตัวประชาชน เลขทะเบียนนิติบุคคล เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร 8 8 1 เพิ่มเติม (ตั้งแบบ)

ในกรณีที่กรมา สื่อสารกับท่าน ท่านสะดวกใช้ทาง อีเมล สัมภาษณ์

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
 ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ผู้รับโอน ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี)

ชื่อ
ที่อยู่
ตำบล/แขวง อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์ ประเทศ

อีเมล
เลขประจำตัวประชาชน เพิ่มเติม (ตั้งแบบ)

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ ชื่อและที่อยู่เดียวกับผู้ขอ

6.1 ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นุชจิรา ตีนั่ง

ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ เลขที่ 99 หมู่ 9

ตำบล/แขวง อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด พิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000 ประเทศ ไทย

อีเมล
เลขประจำตัวประชาชน 3 6 0 0 1 0 0 8 4 9 8 4 8 เพิ่มเติม (ตั้งแบบ)

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม

ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร

เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ

ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ผู้รับโอน ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่าจะบรรยายละเอียดครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียด เพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

สำหรับเจ้าหน้าที่

<input type="checkbox"/> กลุ่มกิจกรรม สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (วิศวกรรม) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ไฟฟ้า) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (สิริกส์)	<input type="checkbox"/> กลุ่มเคมี สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เคมีเทคนิค) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ปิโตรเคมี) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เทคโนโลยีชีวภาพ) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เภสัชภัณฑ์)	สิทธิบัตรการออกแบบ <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 1) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 2) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 3)	อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (วิศวกรรม) <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (เคมี)
--	--	---	--

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

ขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบ สำหรับการกักเก็บไอออน

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

- 5 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบ สำหรับการกักเก็บไอออน

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

การแยกเกลือออกจากน้ำด้วยวิธีการกักเก็บประจุไฟฟ้าภายใต้สนามไฟฟ้าเป็นกระบวนการลดปริมาณเกลือ (NaCl) ที่ละลายอยู่ในน้ำ เกลือที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของไอออนของเกลือจะถูกกักเก็บไว้ที่ขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะรูพรุนสูงทำให้สามารถกักเก็บไอออนได้มากกว่าขั้วไฟฟ้าที่เรียบหรือไม่มีรูพรุน การใช้งานขั้วไฟฟ้างดกล่าวจะถูกจุ่มลงในน้ำที่มีการเจือปนของเกลือหรือสารละลายอื่น ๆ ไอออนของเกลือ คือ Na^+ และ Cl^- จะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้าน คือ ขั้วไฟฟ้าลบ (แคโทด) และขั้วไฟฟ้าบวก (อโนด) ตามลำดับ ไอออนของเกลือที่เคลื่อนที่ด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าเมื่อไอออนมาจับที่ผิวของขั้วไฟฟ้าจะเกิดการรับและส่งประจุไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองทำให้ไอออนของ Na^+ และ Cl^- จะปรากฏที่ผิวของขั้วไฟฟ้าโดยถูกกักหรือยึดไว้ ที่ผิวหรือรูพรุนของขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้เกลือที่ละลายอยู่ในน้ำมีความเค็มลดลง ดังนั้น วัสดุที่เหมาะสมจะต้องมีรูพรุนสูงและไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายใต้สนามไฟฟ้า ตัวอย่างวัสดุ เช่น ซีโอไลต์ แอโรเจล ถ่าน และถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์จัดเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักคาร์บอนจึงไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือการกัดกร่อน อีกทั้งมีปริมาณรูพรุนสูง

20 การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเฉพาะแกลบที่เป็นผลเหลือจากการสีข้าวเปลือก มักนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ส่วนผสมในดินเพื่อลดความแน่น เป็นวัสดุเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นต้น การนำแกลบมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่า คือ ถ่านกัมมันต์ ด้วยการนำแกลบมาเผาเพื่อเปลี่ยนวัสดุอินทรีย์ไปเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบคาร์บอน เรียกว่า ถ่าน แล้วทำการกระตุ้นถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ เรียกถ่านที่ผ่านการกระตุ้นนี้ว่า ถ่านกัมมันต์

25 การกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์มีด้วยกัน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 1 การกระตุ้นทางเคมีและการกระตุ้นทางกายภาพ ทั้งนี้การกระตุ้นทางเคมีจะต้องใช้สารเคมีโดยเฉพาะสารละลายที่เป็นกรดและเบสที่มีความเข้มข้นสูง เช่น กรดไฮโดรคลอริก โฟแทสเซียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การทำให้โครงสร้างของอินทรีย์วัตถุเกิดการย่อยสลายให้เกิดการเปลี่ยนแปลงก่อนนำมาเผาให้เป็นถ่านกัมมันต์ กระบวนการที่ 2 การกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นถ่านที่ผ่านการเผาให้เป็นถ่านกัมมันต์ด้วยแรงดันไอน้ำวดยิ่งกรรมวิธีนี้จะต้องใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส กล่าวได้ว่า

30 กระบวนการกระตุ้นมีความต้องการอุปกรณ์เฉพาะทางและมีราคาสูง เหมาะกับการผลิตในปริมาณมาก ดังนั้น การมีกรรมวิธีกระบวนการกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพและไม่ซับซ้อนก็จัดเป็นส่วนสำคัญในการผลิตวัสดุรูพรุน คือ ถ่านกัมมันต์ สำหรับเป็นวัสดุในขั้วไฟฟ้าที่มีรูพรุน

แล้วนำมาอบด้วยอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิททดสอบความต้านทานไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์บนชั้นเคลือบกราฟาไฟต์มีค่า 2-5 โอห์ม ตามรูปที่ 3 ชั้นเคลือบกราฟาไฟต์ (1)

5 ง. นำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมจากขั้นตอน ข. ทาลงบนแผ่นกราฟาไฟต์จนทั่วทั้งแผ่นชั่วคราว (2) นำแผ่นชั่วคราวที่เคลือบถ่านผงกัมมันต์เคลือบทำการอัดขึ้นรูปทั้งด้านบนและล่างของชั่วคราวที่เคลือบด้วยผงถ่านกัมมันต์ด้วยแรงอัด 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ผงถ่าน กัมมันต์เคลือบยึดเกาะกับสารประสาน

จ. นำชั่วคราวที่เคลือบด้วยผงถ่านกัมมันต์เคลือบอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์เคลือบที่ได้จากการทดสอบการสมบัติดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน AWWA B 604 หาพื้นที่ผิวและรูพรุนด้วยเทคนิคไนโตรเจนไอโซเทอม ตรวจสอบฟังก์ชันนอลทางเคมีด้วยเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์เคลือบที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสี ไมโครเวฟ ดังตารางที่ 1

15 ลักษณะชั่วคราวไฟฟ้าที่ได้จะมีผงถ่านกัมมันต์เคลือบเกาะอยู่ที่ภายนอกชั่วคราวไฟฟ้าทำให้เกิดความพรุนผิวภายนอกชั่วคราวไฟฟ้า ทำการทดสอบความสามารถดูดซับเกลือสามารถลดค่าความเก็บของเกลือทดสอบความสามารถการดูดซับน้ำ (Wetability) ด้วยเทคนิคการวัดมุมสัมผัส (Contact angle) พบว่าสามารถดูดซับน้ำได้ดีชั่วคราวไฟฟ้าที่ได้จากการเคลือบผงถ่านกัมมันต์เคลือบจะมีความพรุนที่ผิวของชั่วคราวไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่านกัมมันต์เคลือบยึดเกาะ ทำให้สามารถกักเก็บประจุได้

20 ตารางที่ 1 แสดงค่าการสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์เคลือบ ที่กระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ 1 นาที

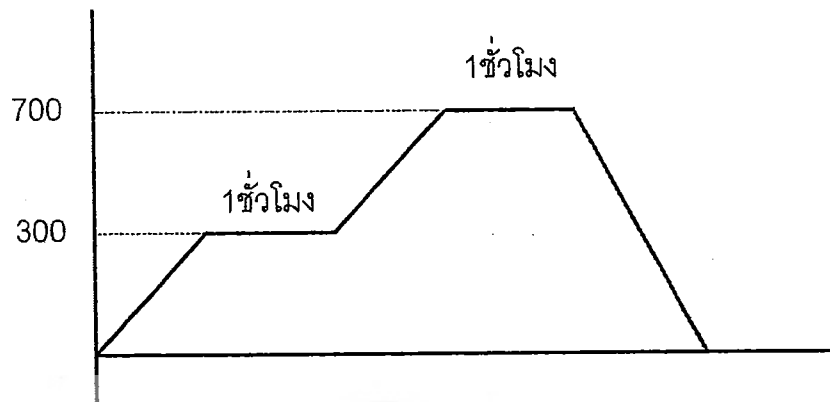
สมบัติทางกายภาพ	รายละเอียด
การดูดซับน้ำ (Wetability)	ดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วกว่าถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้น
ค่าการดูดซับไอโอดีน	ก่อนการกระตุ้น 646.11 ± 1.54 มิลลิกรัมต่อกรัม
	ผ่านการกระตุ้น 778.19 ± 2.71 มิลลิกรัมต่อกรัม
25 การดูดซับและการคายทางกายภาพพื้นที่ผิวของถ่าน	ประเภท Type IV ดังรูป 2
- BET Surface Area	392.63 ตารางเมตรต่อกรัม
- Langmuir Surface Area	495.67 ตารางเมตรต่อกรัม
ปริมาณรูพรุนของถ่าน	0.242 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
30 ขนาดรูพรุน	24.067 อังสตรอม
หมู่ฟังก์ชันคาร์บอน	C=C, C-C, Si-O-Si (โครงสร้างแบบตรงและงอ)

ข้อถือสิทธิ

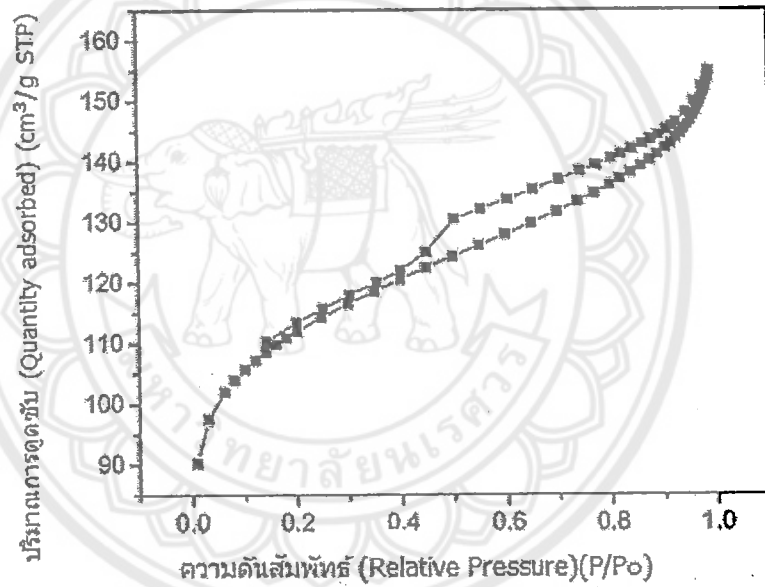
1. ขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์แกลบ สำหรับการกักเก็บไอออน ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 5 ก. การผลิตผงถ่านกัมมันต์จากแกลบ โดยนำแกลบมาทำความสะอาดแล้วตากให้แห้งสนิท นำไปแช่ในกรดอะซิติกความเข้มข้น 7% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำแกลบมาเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เป็นถ่าน นำถ่านไปบดให้เป็นผงขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน นำผงถ่านที่ได้มาล้างน้ำและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นในอัตราส่วนของน้ำกลั่นต่อผงถ่าน 12:1 โดยน้ำหนัก ทำการกวนและแช่ทิ้งไว้ 5 นาที และนำมาทำการกระตุ้นด้วยน้ำร่วมกับรังสีไมโครเวฟในช่วงความถี่ 2,450 เมกกะเฮิร์ต (MHz) กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 10 1 นาที และกรองแยกน้ำออกและอบให้แห้ง จะได้ผงถ่านกัมมันต์แกลบ
- ข. ทำการเตรียมสารประสานที่เตรียมได้จากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำ 1:25 โดยน้ำหนัก เทผสมและตั้งบนเตาด้วยที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ทำการกวนจนสารเป็นเนื้อเดียวกัน
- 15 ค. นำสารละลายตัวประสานมาผสมกับผงกราฟิตีในอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก กวนจนเข้ากันเป็นเนื้อเดียว นำสารละลายกราฟิตีทาลงบนแผ่นกระดาษสร้างเป็นผิวเคลือบกราฟิตีหรือชั้นนำไฟฟ้า แล้วนำมาอบด้วยอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิททดสอบความต้านทานไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์บนชั้นเคลือบกราฟิตีมีค่า 2-5 โอห์ม
- ง. นำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมจากขั้นตอน ข. ทาลงบนแผ่นกราฟิตีจนทั่วทั้งแผ่น ขั้วไฟฟ้าที่เคลือบกราฟิตี ทำการโรยผงถ่านกัมมันต์แกลบลงบนขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้านจนทั่ว 20 นำแผ่นขั้วไฟฟ้าที่เคลือบถ่านกัมมันต์แกลบทำการอัดขึ้นรูปทั้งด้านบนและล่างของขั้วไฟฟ้าที่เคลือบด้วยผงถ่านกัมมันต์ด้วยแรงอัด 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์แกลบยึดเกาะกับสารประสาน
- จ. นำขั้วไฟฟ้าที่เคลือบด้วยผงถ่านกัมมันต์แกลบอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

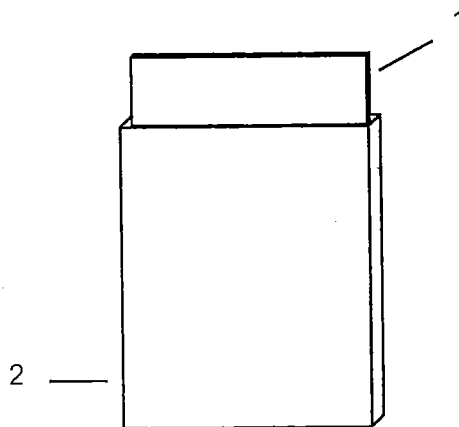
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 1



รูปที่ 2



รูปที่ 3