รายงานการวิจัย

เรื่อง

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

Phosphorus Removal in Surface Water by Activated Carbon from Water Hyacinths

พัทธกมล สมบุตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

Phosphorus Removal in Surface Water by Activated Carbon from Water Hyacinths

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พัทธกมล สมบุตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

Phosphorus Removal in Surface Water by Activated Carbon from Water Hyacinths

พัทธกมล สมบุตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

Phosphorus Removal in Surface Water by Activated Carbon from Water Hyacinths

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พัทธกมล สมบุตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวพัทธกมล สมบุตร

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Pattakamol Somboot

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-3499-00144-4-32

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

เวลาที่ใช้ทำวิจัย 25 ชั่วโมง/สัปดาห์

4. สถานที่ทำงาน สาขาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
โทรศัพท์: 043-741654 โทรสาร: 043-741654
E-mail: pattakamol@hotmail.com
โทรศัพท์มือถือ: 064-4809222

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การบำบัดน้ำเสีย, การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการจัดการสิ่งแวดล้อม

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการ

วัชรวิชญ์ ดาวสว่าง และพัทธกมล สมบุตร. 2560. **แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์สำหรับบำบัดความขุ่นในน้ำด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.** วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มกราคม-เมษายน 25(1).

ศิวดล กัญญาคำ, วงศ์ผกา พิมพา,พัทธกมล สมบุตร, ปนัดดา แทนสุโพธิ์.(2560). ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเหง้ามันสำปะหลังเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแป้งมัน.**การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 3**,มหาสารคาม,(20-21กรกฎาคม),75-82.

พัทธกมล สมบุตร และคณะ.2559. **แบบจำลองสภาวะที่เหมะสมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดลิกนินด้วยกระบวนการเฟนตันแบบไม่ใช้แสง**.วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มกราคม- มิถุนายน 1(1).

วงศ์ผกา พิมพา และคณะ. 2558. **การผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากมันสำปะหลัง**. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

Khuanmar, K. and Somboot, P.(2011). Removal of Red Acid Dye from Synthetic Wastewater by Adsorption onto Low-cost Material. Advanced Materials Research Vols.156-157, Trans Tech Publications, Switzerland, pp. 375 - 378.

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายวุฒิกร อนันตสิริชัย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Wuttikorn Anuntasirichai
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-3499-00144-4-32
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
เวลาที่ใช้ทำวิจัย 10 ชั่วโมง/สัปดาห์
4. สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
โทรศัพท์: 082-9731022 โทรสาร: 043-741654
E-mail: konggunner@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ประชุมวิชาการระดับประเทศ

วุฒิกร, วัชรพล. (2560). ระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน. **ในการประชุมวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 3.**(น.150-155) 20 กรกฎาคม 2560. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

นักวิจัยในโครงการ “การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา” ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและเป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษาวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อรายงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อจัดเตรียมวัตถุดิบ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ประกอบกับการจัดทำรายงานการวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะนักวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้ทำการศึกษาวิจัยต้องขออภัยและขอน้อมรับในความผิดพลาดและขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา
ผู้ดำเนินการวิจัย พัทธกมล สมบุตร
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนปริมาณถ่านต่อปริมาณน้ำเดียวกัน ที่ระดับค่า pH เดียวกัน ถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้ประสิทธิภาพดีกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านคาร์บอนผักตบชวามีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 4.05 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.019 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 30.42 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนรวม 0.210 มิลลิลิตรต่อกรัม และถ่านคาร์บอนผักตบชวายังมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1,883 นาโนเมตร ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 276.1 นาโนเมตร เพราะถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำปฏิกิริยาทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีรูพรุนขนาดเล็กแทรกตามพื้นผิวถ่านจำนวนมาก และเมื่อนำไปดูดซับแล้วจะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสได้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ การใช้อัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ผักตบชวา 0.5 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ค่าระดับเป็นกลางคือ pH 7

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title Phosphorus Removal in Surface Water by Activated Cabon from Water Hyacinths
Researcher Pattakamol Somboot
Organization Faculty of Engineering
Rajabhat Maha Sarakham University
Year 2018

ABSTRACT

This research aimed to study the Phosphorus removal in the synthetic wastewater using carbon and activate charcoal obtained from the water hyacinth activated with Sodium hydroxide. The test result indicated that with a ratio between the charcoal content and the same type of water and pH, the water hyacinth-based activated charcoal could effectively absorb and remove the Phosphorus from wastewater better than the water hyacinth-based activated carbon since this carbon only had a specific surface area of 4.05 m^2/g and a total porosity of 0.019 ml/g which were lower than the activated charcoal with a specific surface area of 30.42 m^2/g and a total porosity of 0.210 ml/g. Additionally, this carbon had an average porosity of 1,883 nm which was higher than the activate charcoal that had an average porosity of 276.1 nm. This happened because the water hyacinth-based activated charcoal had been activated by Sodium hydroxide and when it was burned at a very high temperature, its specific surface area and porosity were expanded and increased. Accordingly, this activated charcoal had a number of tiny holes on its surface that made it more effective to absorb the Phosphorus when its optimal absorption environment required 0.5 grams of the water hyacinth-based activated charcoal for 100 ml water with a neutral PH of 7.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ ภาษาไทย	ข
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	2
ขอบเขตของการศึกษา	2
ประโยชน์ที่ได้คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)	3
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	3
ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption)	4
ประเภทของตัวดูดซับและความหมายของถ่านกัมมันต์	6
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	7
วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์	9
รูปแบบการดูดซับ	11
ผักตบชวา (Water Hyacinth)	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	17
วิธีการดำเนินการวิจัย	18
ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา	19
ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง	23
ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา	25

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	28
ผลการศึกษาการตรียมถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา	28
ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา	30
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา	33
.	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ	35
สรุปผลการวิจัย	35
ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง	42
ประวัติผู้วิจัย	43

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับเชิงกายภาพและเชิงเคมี.....	4
2.2	วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์.....	8
2.3	คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของเส้นใยผักตบชวา.....	13
2.4	คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของเส้นใยผักตบชวา.....	13
2.5	สมบัติทางเคมีของผักตบชวาสด.....	14
4.1	ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
	สมบัติทางเคมีของผักตบชวาสด.....	26

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลไกการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์	5
2.2	ลักษณะผักตบชวา	12
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	18
3.2	ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา	19
3.3	ภาพขั้นตอนการเตรียมถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา	21
3.4	ภาพขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา	22
3.5	ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง	23
3.6	ภาพลักษณะของน้ำเสียฟอสฟอรัสสังเคราะห์	24
3.7	ขั้นตอนการทดลองการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา	25
3.8	ขั้นตอนการทดลองวิเคราะห์การดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา	27
4.1	ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	28
4.2	ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่กำลังขยาย 5000 เท่า	29
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาของการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	31
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนผักตบชวา	32
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ผักตบชวา	33
4.6.	กราฟความสัมพันธ์เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา	34
ก.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Mahasarakham Rajabhat University

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาสำคัญที่พบในแหล่งน้ำทั่วไปตามธรรมชาติปัญหาหนึ่งคือการเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ของสาหร่ายในน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ด้วยตนเองดังนั้นในที่มีแสงแดด จึงเหมาะต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลกระทบหลักจากการแพร่กระจายของสาหร่ายในแหล่งน้ำที่มากเกินความจำเป็นคือทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงจนกระทั่งส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตในแหล่งน้ำโดยเฉพาะสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) หรือเรียกว่า แพลงก์ตอนพืช เป็นที่มาของการเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ยูโทรฟิเคชัน” ซึ่งปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันนั้นมีสาเหตุมาจากการที่ แหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลองอ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ มีการปนปื้อนปริมาณธาตุอาหารในปริมาณมากเกินความจำเป็น คือ เป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัสหรือไนโตรเจนสูงและฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่พืชน้ำต้องการ เมื่อฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีมากเกินความจำเป็นทำให้พืชและวัชพืชน้ำโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวและผักตบชวามีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วแพร่กระจายทั่วแหล่งน้ำ ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวจึงทำให้สาหร่ายขนาดเล็กมีจำนวนมากเกินไปยากต่อการกำจัดออกจากแหล่งน้ำทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนเกิดการเน่าเสียและสูญเสียทัศนียภาพความสวยงามเนื่องจากสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ “ยูโทรฟิเคชัน” เป็นปัญหามลพิษทางน้ำที่มีหลายภาคส่วนพยายามหาวิธีแก้ปัญหาเพราะเกิดปัญหานี้ในแหล่งน้ำหลายเขตพื้นที่ในประเทศไทย

การกำจัดฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การบำบัดทางชีวภาพ การใช้สารเคมี การกรอง การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี การดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ซึ่งวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายไม่สูงเพราะถ่านกัมมันต์สามารถสังเคราะห์ ขึ้นได้จากวัตถุดิบจากของเหลือใช้ได้ เช่น กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าวัชพืชอย่างหนึ่งที่มีการนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ผักตบชวา เพราะเป็นวัชพืชที่หาง่ายและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว ซึ่งผักตบชวาเป็นวัชพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงทนทานต่อสภาพแวดล้อมเป็นพืชที่มีทุ่นลอยสามารถอยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหลมีการขยายและแพร่พันธุ์เป็นจำนวนมากทำให้แม่น้ำลำคลองในภูมิภาคต่างๆ เกิดผลกระทบอย่างหนักโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตในน้ำ การคมนาคมทางน้ำและชาวบ้านที่อาศัยอยู่ตามริมแม่น้ำลำคลอง ดังนั้น หากนำผักตบที่เป็นวัชพืชที่สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุนี้ จึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำที่เป็นต้นเหตุของการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน รวมทั้งเพื่อช่วยกำจัดวัชพืชน้ำจำพวกผักตบชวาที่มีจำนวนมากในปัจจุบันให้ลดลงอีกทางหนึ่งด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา เพื่อหาความสามารถและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาในการกำจัดฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ รวมทั้งสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหายูโทรฟิเคชัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณสาหร่ายมีจำนวนมากเกินความจำเป็นรวมทั้งนำวัชพืชน้ำพวกผักตบชวามาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำให้ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

2.3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 การศึกษานี้กำหนดให้ใช้ผักตบชวาจากแก่งเลิงจาน ในเขตจังหวัดมหาสารคาม

3.2 ใช้น้ำเสียฟอสฟอรัสสังเคราะห์ในการทดลอง

3.3 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

3.3 การศึกษานี้แบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 คือ ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์

ส่วนที่ 2 คือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

ส่วนที่ 3 คือ ขั้นการทดลองกระบวนการดูดซับ

3.4 การศึกษานี้ ทำการทดสอบแบบทีละชุด (Batch) โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ทราบถึงลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

4.3 ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

4.4 ลดการเกิดปัญหายูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาเรื่องการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา โดยมีข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)

เป็นสภาวะที่แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสสูงมากกว่าปกติ ซึ่งเกิดจากน้ำทิ้งชุมชน การชะล้างปุ๋ยและธาตุอาหารต่างๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำและน้ำทะเล เป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และวัชพืชน้ำ ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในรูปคาร์บอน สารอนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และระยะเวลากักเก็บน้ำ โดยแหล่งคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของคาร์บอเนต ส่วนแหล่งของไนโตรเจนนั้นได้มาจากการชะล้างปุ๋ยจากพื้นดินและการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสมาจากหิน ฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่ มูลสัตว์ ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้น อาจสรุปได้ว่าการเกิดยูโทรฟิเคชั่น คือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง (ธงชัย และคณะ, 2536)

2.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

2.2.1 ประเภทของฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติและในน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่ในรูปของแข็งหรือสารแขวนลอยและสารละลาย โดยฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีลักษณะที่แตกต่างกัน (กรรณิการ์, 2525) และ (อุบลวรรณ, 2536) สามารถแบ่ง ประเภทได้ดังนี้

2.2.1.1 ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) สารประกอบเหล่านี้ ละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสารประกอบประเภทนี้ ที่พบมากคือ Trisodium Phosphate (Na_3PO_4), Disodium Phosphate (Na_2HPO_4), Monosodium Phosphate (NaH_2PO_4) และ Diammonium Phosphate ($(NH_4)_2HPO_4$)

2.2.1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนหรือโรงงานอตุสาหกรรมเนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาดเมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟตออกมา สารประกอบประเภทนี้ ที่พบมากคือ Sodium Hexametaphosphate ($Na_3(PO_4)_6$), Sodium Triphosphate ($Na_5P_3O_{10}$) และ Tetrasodium Pyrophosphate ($Na_4P_2O_7$) สารประกอบเหล่านี้เป็น Dehydrated Phosphate ดังนั้น จะถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำกลับไปเป็นพวกออร์โธฟอสเฟต(Orthophosphate) ตามเดิม อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอณุหภูมิและค่าพีเอชที่ต่ำการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้า ถ้าอยู่ในน้ำสะอาด 4 - 50 วัน แต่จะเกิดได้เร็วในน้ำเสียประมาณ 20 ชั่วโมง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) ซึ่งได้จากกระบวนการทางชีวภาพ สารฟอสฟอรัสเหล่านี พบได้ ในสารละลาย สารแขวนลอยหรืออนิทรียวัตถุที่ก้าลังเน่าสลายหรือเป็นองค์ประกอบในร่างกายสิ่งมีชีวิต

2.2.2 ผลกระทบฟอสฟอรัสต่อแหล่งน้ำฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth Limiting Nutrient ของพืชน้ำ ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่ยังมีสารประกอบของฟอสฟอรัสสูงลงไปในน้ำเป็นจำนวนมากอาจกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและวัชพืชน้ำอย่างรวดเร็วทำให้แหล่งน้ำมีสีเขียว ขุ่น ออกซิเจนลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดมากขึ้นแล้ว ยังอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคสารพิษที่มีอยู่ในสาหร่ายบางชนิด (Callery, 1977) ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับห่วงโซ่อาหารคือสาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์, อนินทรีย์ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟตและแร่ธาตุต่างๆ ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่โดยการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารและสมดุลของห่วงโซ่อาหารจะถูกควบคุมโดยปริมาณธาตุอาหารที่มีในแหล่งน้ำ แต่เมื่อปริมาณอาหารในแหล่งน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารและห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้สาหร่ายบางส่วนที่เกิดการย่อยสลายในน้ำจะจมตัวลงใต้แหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดน้อยลงส่งผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ (Hammer, 1996)

2.3 ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption)

2.3.1 การดูดซับ (Adsorption) คือ การเกาะติดของแก๊สหรือสารละลายบนพื้นผิวของของแข็ง (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2548) หรือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดแรงกิริยาที่พื้นผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลว และก๊าซของเหลวและของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า วัสดุดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) โดยแรงที่เกิดขึ้นในการดูดซับนี้ อาจเป็นแรงทางกายภาพ (Physical Adsorption) หรือแรงทางเคมี (Chemical Adsorption) กระบวนการนี้ จึงอาจจัดเป็นหน่วยปฏิบัติการทางกายภาพหรือหน่วยกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางเคมีกึ่งกายภาพ

2.3.2 กลไกการดูดซับ การดูดซับแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การดูดซับเชิงกายภาพ และ การดูดซับเชิงเคมี โดยมี ลักษณะที่แตกต่างที่สำคัญดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับเชิงกายภาพและเชิงเคมี

การดูดซับเชิงกายภาพ	**การดูดซับเชิงเคมี**
1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลเป็นแรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลล์หรือแรงไฟฟ้าสถิต	1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลเป็นแรงทางเคมีทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่บนพื้นผิว
2) แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นเป็นแรงขนาดอ่อน (Weak Bond)	2) แรงยึดเหนยี่วทางเคมีเป็นแรงยึดที่หนาแน่น(Strong Bond)
3) เป็นกระบวนการผันกลับได้ (Reversible Process) ซึ่งสามารถท้าให้ตัวถูกดูดซบัหลดุออกจากผิวของตัวดูดซับได้ในภายหลัง	3) เป็นกระบวนการผันกลับไม่ได้ (Irreversible Process)

ที่มา : ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ, 2550

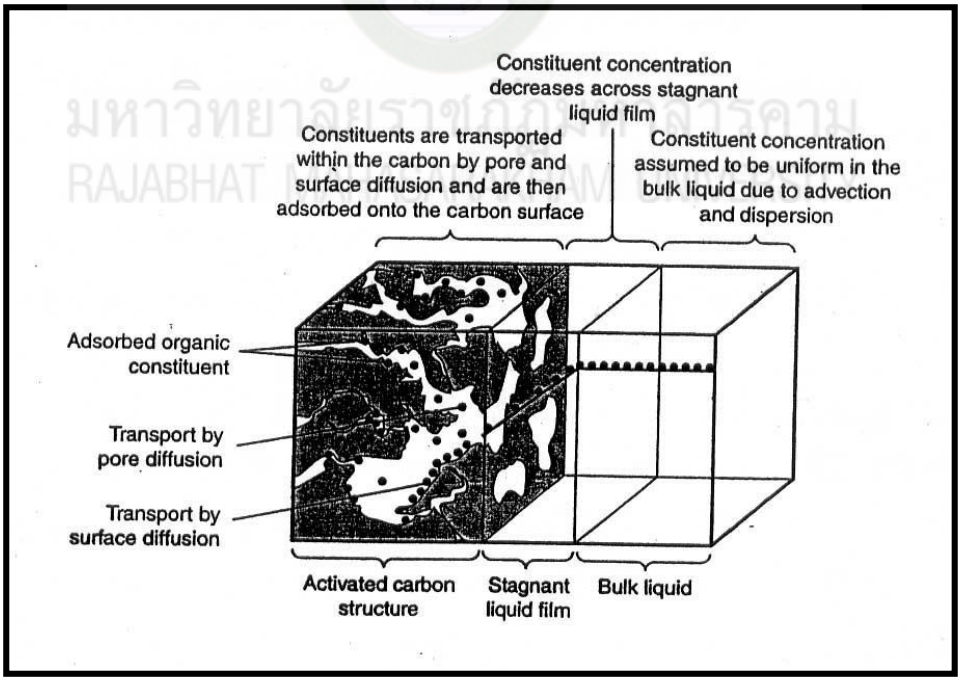
กลไกในการดูดซับแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน คือ

1. การเคลื่อนตัวแบบมหภาค (Macro Transport) เป็นการเคลื่อนที่ของมวลสารที่อยู่ในทุกอณูของสารละลาย (Bulk Solution) ด้วยลักษณะของการพา (Advection) โดยอาศัยสภาพการเคลื่อนที่ของมวลของเหลวซึ่งเกิดจากความเร็ว มายังแผ่นฟิล์มน้ำ (Liquid Film)

2. การเคลื่อนตัวแบบจุลภาค (Micro Transport) เป็นการเคลื่อนที่ต่อจากขั้นตอนแรก โดยมวลของสารเหล่านี้จะแพร่ (Diffuse) จากอณูของสารละลายผ่านเข้าไปในแผ่นฟิล์มน้ำ ที่ภายในไม่มีการเคลื่อนที่ (Quiescent) ในขั้นตอนนี้ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแพร่เข้าสู่แผ่นฟิล์ม (Film Diffusion) หรือการเคลื่อนตัวกระจายเข้าสู่แผ่นฟิล์ม (Film Diffusion Transport)

3. การเคลื่อนตัวผ่านช่อง (Pore Transport) มวลของสารที่ผ่านทะลุแผ่นฟิล์มน้ำจะแพร่กระจายไปยังผิวของตัวดูดซับและไหลเข้าสู่ช่องว่างต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นรอยแยกตามยาวขนาดเล็ก (Capillaries) เพื่อผนึกติดกับผิวที่อยู่ในช่องว่างของรอยแยกเหล่านั้นขั้นตอนนี้ อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการแพร่เข้าสู่ช่องว่าง (Pore Diffusion)

4. การซับ(Sorption) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกลไกการดูดซับ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพหรือแรงทางพันธะเคมี ระหว่างมวลโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ โดยใช้ช่วงเวลาหนึ่งที่เหมาะสม เพื่อดูดซับมวลซึ่งวัดเป็นความเข้มข้น จนถึงจุดสมดุล (Equilibrium) ซึ่งหมายถึงจุดที่อัตราการดูดซับเท่ากับศูนย์ ณ จุดนี้ ความเข้มข้นที่เหลือที่วัดได้จะมีค่าคงที่ (ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ, 2550) กลไกการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กลไกการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ (Metcalf & Eddy, 2003)

2.4 ประเภทของตัวดูดซับและความหมายของถ่านกัมมันต์

2.4.1 ประเภทของตัวดูดซับ สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) มีหลายชนิด แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) ประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic Compounds) เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอคติวิเตดซิลิกา(Activited Silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่มีขีดจำกัด คือ สามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดดังนั้นการใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

(2) ประเภทถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง คือ ประมาณ 600 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมสภาพแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีขีดจำกัด คือ ในการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ใหม่จะต้องเผาซ้ำที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการบดกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

(3) ประเภทอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว (Synthetic Exchange Resins) สามารถดูดจับกับวัตถุอื่นที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น Styrene Divinylbenzene Resin และ Phenolformaldehyde Resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ประมาณ 300 – 500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ มีข้อดี คือ สามารถบำบัดเพื่อคืนสภาพได้ง่ายและสารที่ใช้คืนสภาพของ วัสดุชิ้นนี้ ก็มีราคาถูก เช่น เกลือแกง ในประเทศไทยเลือกใช้เรซินดูดซับมากกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดใน เรื่องของการคืนสภาพ (จตุพร และคณะ, 2547)

2.4.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) ถ่านกัมมันต์เป็นของแข็งที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นหลัก มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง สามารถผลิตจากชีวมวล เช่น กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ มักมีความเป็นขั้วต่ำหรือไม่มีขั้ว แม้ว่าการใช้คาร์บอนในปัจจุบันจะอยู่ในรูปของตัวดูดซับ ตัวกรอง และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของยาง และอื่นๆ ถ่านกัมมันต์เตรียมได้จากการให้ความร้อนวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอน เช่น ถ่านหินลิกไนต์ การเผาไม้ ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนเพื่อกำจัดน้ำและสารระเหยได้ง่าย นอกจากนี้ยังอาจทำให้โมเลกุลอินทรีย์สลายตัว จึงได้วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ หลังจากนั้น จึงนำมาก่อกัมมันต์ (Activate) ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สารเคมีและการออกซิไดซ์โดยใช้น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เรียกว่าการกัมมันต์ทางกายภาพ การใช้สารเคมี คือ การใช้สารที่มีสมบัติเป็นตัวดึงน้ำที่ดี (Strong Dehydrating Agent) เช่น กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ผสมกับวัสดุตั้งต้น แล้วจึงให้ความร้อนในช่วงประมาณ 500 – 800 °C อีกวิธีหนึ่ง คือ การก่อกัมมันต์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไอน้ำ หรือคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเปิดรูพรุนที่มีอยู่และเพิ่มพื้นที่ผิว โดยใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า คือประมาณ 800 – 1000 °C

สมาคม ASTM (American Society for Testing and Material) ได้ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ว่าเป็นวัสดุจำพวกคาร์บอน ซึ่งผลิตได้จากการนำวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมาผ่านกระบวนการผลิต เพื่อทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดีขึ้นส่วนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ คือ กระบวนการที่โมเลกุลของสารในสภาวะของไหลไปจับบนผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางเคมีหรือกายภาพหรือแรงทั้งสองชนิดร่วมกัน (บุญเรือน, 2543) สมาคมคุณภาพน้ำ (Water Quality Assosiation : WQA)

กล่าวว่าถ่านกัมมันต์เป็นสารสำหรับบำบัดน้ำ ซึ่งใช้ในรูปแบบของการอัดเป็นเม็ดหรือผง ผลิตได้โดยให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงจนถึงอุณหภูมิ 700 ℃ หรือต่ำกว่าภายใต้สภาวะไร้อากาศ จากนั้นจึงกระตุ้นหรือออกซิไดซ์ที่ 800 – 1000℃ โดยใช้ก๊าซช่วยกระตุ้น (Oxidizing Gases) เช่น ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในวัตถุ เนื่องจากก๊าซเหล่านั้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของคาร์บอนเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ของคาร์บอนหลุดออกไปจากโครงสร้าง เนื้อของคาร์บอน บางส่วนจึงหายไปกลายเป็นวัสดุที่มีรูพรุน ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสูง ถ่านกัมมันต์นิยมใช้เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น สารประกอบอินทรีย์ เป็นต้น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2532) กล่าวว่าถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี (จตุพร และคณะ, 2547)

2.4.3 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติแตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่น คือ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้วหรือมีความเป็นขั้วเล็กน้อยเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ หรือสารอนินทรีย์ ปัจจุบันนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานอยู่หลายประการดังต่อไปนี้ (บุญเรือน, 2543)

(1) มีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง ถ่านกัมมันต์เป็นโครงสร้างของคาร์บอนที่พื้นผิวมีความขรุขระมาก ทำให้พื้นที่ผิวสามารถสัมผัสกับสารอื่นจากของไหลได้มากพอด้วยแรงจับทางกายภาพหรือมีพันธะเคมีเกิดขึ้น

(2) สามารถบำบัดให้คืนสภาพเพื่อนำมาใช้งานซ้ำถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีแรงดึงดูดของการดูดซับ ต่ำกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น สามารถนำสารที่ถูกดูดซับออกจากผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย จึงใช้พลังงานต่ำในการบำบัดถ่านให้คืนสภาพ

(3) นำกลับไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวที่ไม่มี ขั้วหรือมีขั้วเล็กน้อย ทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์มีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หรือสามารถดูดซับน้ำได้น้อยมากเมื่อเทียบกับการดูดซับสารอินทรีย์และสารไม่มีขั้ว

(4) สามารถผลิตได้จากวัสดุราคาถูก วัตถุดิบของการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งมีอยู่หลายชนิด วัสดุที่ใช้ในปัจจุบันนี้ ได้แก่ ถ่านหินบิทูมิมัส ถ่านหินลิกไนต์ กระดูก กะลามะพร้าว เปลือกถั่ว วัสดุที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียม วัสดุที่เหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย ชานอ้อย แกลบ และไม้ เป็นต้น

(5) มีความทนทานสูง ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ดี นอกจากสามารถดูดซับได้ดีจากการมีรูพรุนเพราะว่ามีความพรุนมาก และมีขนาดรูพรุนเหมาะสมแล้วจะต้องมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดีและมีความปนเปื้อนต่ำด้วย (จตุพร และคณะ, 2547)

2.5 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นวัสดุอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นพวกเซลลูโลสที่ได้จากพืช เช่น ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลา มะพร้าว ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีพวกถ่านหิน เช่น

ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ นั้นก็มีเช่นกันแต่ไม่มากนัก เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น (จตุพร และคณะ, 2547)

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่ สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่าน มักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันอินทรีย์วัตถุหรือ เรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Char) เช่น ถ่านหินก็ได้ ถ่านสังเคราะห์ แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard Artificial Char) เช่น ถ่านหินน้ำมัน ถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันที่ความดันสูง เป็นต้น

(2) ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft Artificial Char) เช่น ถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านหินน้ำมัน ถ่านกากน้ำตาล เป็นต้น (ประพิณ,2548)

ตารางที่ 2.2 วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

อินทรีย์วัตถุ			อนินทรีย์วัตถุ
วัตถุดิบที่มาจากพืช	**ถ่านหิน**	**วัตถุดิบที่มาจากสัตว์**	
ชานอ้อย (Bagasse) กากน้ำตาล (Beet – Sugar Sludge) สารจำพวกแป้ง(Carbohydrate) เมล็ดพืช (Cereal) กะลามะพร้าว (Coconut Shell) เปลือกถั่ว (Nut Shell) กากกาแฟ (Coffee Bean) ซังข้าวโพด (Corncob and Corn Stalk) เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cottonseed Hull) เมล็ดแข็งของผลไม้ (Fruit Pit) วัชพืชทะเล (Kelp and Seaweed) แกลบ (Rice Husk) ขี้เลื่อย (Sawdust) ไม้ (Wood)	ถ่านหิน (Coal) แกรไฟต์ (Graphite) ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) หินน้ำมัน (Oil Shale) ถ่านพีท (Peat) ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum Coe)	เลือด (Blood) กระดูก (Bone) ปลา (Fish) กากหนัง (Leather Waste)	ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue Dust) เขม่า (Soot) กากโปแตสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ (Potassium Ferrocyanide Residue) เศษยาง (Rubber Waste) กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum Acid Sludge) ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (Pulp – Mill Waste) ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา (Distillery Waste)

ที่มา: ลลิดา นิทัศนจารุกุล, 2544

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร RAJABHAT SAKONNAKHON UNIVERSITY

2.6 วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์

ปัจจุบันมีเทคนิคการผลิตที่หลากหลาย ซึ่งคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของสารตั้งต้นและวิธีผลิต สรุปวิธีผลิตเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.6.1 กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นคาร์บอน (Carbonization Process)

ในกระบวนการนี้จะทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นมีความเป็นคาร์บอนมากขึ้นด้วยการกำจัดสารอื่นๆ ในโครงสร้างออกไป โดยให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศเฉื่อยหรือเรียกว่ากระบวนการ ไพโรไลซิส ส่วนคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยากกว่าก็จะเหลืออยู่ในโครงสร้างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการนี้ อยู่ในช่วง 400 – 700 ℃ ได้ถ่านเป็นสารผลิตภัณฑ์ในขั้นนี้ กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำให้โครงสร้างมีความเป็นคาร์บอน คือ

(1) ที่อุณหภูมิ 100 ℃ น้ำและสารระเหยง่ายต่างๆ ถูกกำจัดออก

(2) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 170 ℃ จะทำให้สารประกอบคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ขยาย

(3) การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 270 - 280 ℃ เป็นกระบวนการคายความร้อนเนื่องจากเกิดการก่อตัวขึ้นของไฮโดรคาร์บอน เมทานอล ทาร์ และสารอื่นๆ

(4) กระบวนการคายความร้อนสิ้นสุดที่อุณหภูมิประมาณ 350 ℃ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงช่วง 400 – 600 ° C สารพวกทาร์ และสารระเหยยากจะถูกกำจัดออก

(5) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการนี้จะได้ถ่านเป็นผลิตภัณฑ์

2.6.2 กระบวนการกระตุ้น (Activation Process)

ขั้นนี้เป็นขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ โดยนำถ่านที่ผลิตได้จากกระบวนการในขั้นตอนแรก มาผ่านกระบวนการกระตุ้นให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนนี้มีหน้าที่ 2 ประการ คือ การเผาสารทาร์ที่เหลืออยู่ในถ่านและการขยายขนาดของรูพรุนที่เกิดอยู่ในถ่าน ซึ่งเกิดขึ้นช่วงอุณหภูมิสูง 800 – 1000 ℃ โดยประมาณถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีคุณสมบัติดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นมีผลต่อลักษณะทางพื้นผิวและความสามารถในการกระตุ้น การกระตุ้นด้วยไอน้ำควรทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 ° C ส่วนการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำในช่วง 800 – 900 ℃ และสำหรับการกระตุ้นด้วยอากาศจะทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 ℃ การกระตุ้นถ่านมีดังนี้

(1) การกำจัดความชื้น (Dehydration) โดยให้ความร้อนจนถึง 170 ℃ ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ จะไล่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอะซิติก จนถึงอุณหภูมิ 270 ℃ คาร์บอนบางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็นทาร์ เมทานอล และสารพลอยได้อื่นๆ

(2) ที่อุณหภูมิ 400 – 600 ℃ สารที่ไม่ใช่คาร์บอนจะสลายตัวออกไปจนมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงถึงประมาณ 80 % แล้วจึงนำไปกระตุ้น

(3) ระหว่างกระตุ้นทาร์จะถูกเผาทิ้ง รูพรุนจะขยายออก (จตุพรวิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, 2547)

2.6.3 ประเภทกระบวนการกระตุ้น

แบ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ละลายหมดไปได้เร็วขึ้น จากนั้นนำไปเผาในถังที่มีออกซิเจนเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 600 - 700 °C แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ซึ่งติดมากับถ่านกัมมันต์ออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้าง โดยล้างด้วยกรดและน้ำร้อนจนสารเป็นกลาง (บุญเรือน สรรเพชร, 2543)

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยทั่วไปจะใช้ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

- การกระตุ้นด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กลไกของการกระตุ้นด้วย KOH ผลของการกระตุ้นวัตถุดิบด้วย KOH เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงที่ผ่านมามีรายงานไว้โดย Marsh et al. Wennerberg และ O'Grady ต่อมาได้มีผู้วิจัยได้รายงานว่า สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยใช้ KOH ซึ่งดีกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดอื่นๆ โดย Otawa et al. และ Hsu et al. ได้เสนอกลไกการกระตุ้นด้วย KOH ไว้ว่าเนื่องจาก KOH เป็นเบสแก่ ซึ่งมีความสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับอะตอมของคาร์บอนได้มาก อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นส่งผลให้เกิดการเกิดทาร์ (tar) จากการสลายตัวของโครงสร้างด้วยความร้อนมีน้อยลง ปฏิกิริยาทั้งหมดเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) เกิด K_2O ขึ้นโดยปฏิกิริยา dehydration ของ KOH ดังนี้

$$2KOH \longrightarrow K_2O + H_2O$$

(2) ไอน้ำที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยา water - gas ได้ดังนี้

$$C(s) + H_2O \longrightarrow H_2 + CO$$

(3) CO ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยา water- gas shift reaction ดังต่อไปนี้

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2$$

จากปฏิกิริยาที่ (1) และ (2) ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นอย่างรวดเร็วและได้มากเนื่องจากอะตอมของคาร์บอนถูกทำปฏิกิริยาได้โดยตรงกับสารเคมีที่มีอยู่ นอกจากนี้ ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 700 °C จะเกิดโลหะ K ขึ้นได้จากปฏิกิริยารีดักชัน K_2O ด้วย H_2 หรือ คาร์บอน ดังนี้

$$K_2O + H_2 \longrightarrow 2K + H_2O \text{ (Reduction by } H_2)$$

$$K_2O + C \longrightarrow 2K + CO \text{ (Reduction by C)}$$

โลหะ K ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในระหว่างชั้นของโครงสร้างคาร์บอนทำให้มีความกว้างขึ้นและสร้างเป็นรูพรุนได้อีกทางหนึ่ง

- สำหรับการกระตุ้นโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก็สามารถอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้เช่นเดียวกับการกระตุ้นโดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเป็นเบสแก่เหมือนกันและเป็นพวกดึงน้ำได้เช่นเดียวกันมีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้น ซึ่งวัตถุดิบที่ได้ทำการศึกษา คือ เมล็ดถั่ว เปลือกถั่ว เศษวัสดุ เหลือทิ้งทางการเกษตรและไม้ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นทางเคมีก็มีหลายกระบวนการที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แตกต่างกัน เพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพ ในการดูดซับที่ดีขึ้น ซึ่งพบว่าสารกระตุ้นชนิดอื่นๆ ก็สามารถให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงได้ เช่น โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ อลูมิเนียมคลอไรด์หรือเฟอริกคลอไรด์ ซึ่งพบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้ ชัยยศ, 2544)

(2) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้ก๊าซหรือไอน้ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800 – 1000 ℃ เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated Stream) ทำให้สารอินทรีย์ต่างๆ สลายไป ทำให้โครงสร้างภายใน มีลักษณะรูพรุนอยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ข้อดีของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี คือ สามารถนำมาใช้งานได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องล้างสารที่ตกค้างออกไป นอกจากนี้ยังอาจจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันก็ได้ คือ เมื่อใช้สารเคมีกระตุ้นเสร็จแล้วนำไปกระตุ้นต่อโดยใช้แก๊สหรือไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด เพื่อเพิ่มจำนวนรูพรุนให้มากขึ้น (ธราพงษ์ วิทิตศานต์ และคณะ, 2549)

ปัจจุบันนิยมใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีมากกว่า เนื่องจากให้ข้อดีดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่ำและใช้เวลาน้อย
- ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ได้รูพรุนขนาดเล็ก และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน
- ช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างสูง
- องค์ประกอบเถ้าของสารตั้งต้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อการกระตุ้น

2.7 รูปแบบการดูดซับ แบ่งได้ 4 ลักษณะ ดังนี้

(1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับแบบนี้ อาศัยการดูดติดด้วยแรงประเภทแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงอ่อน ไม่ยึดติดแน่น และยังพบว่าไม่มีแรงกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่าย และการดูดซับเกิดซ้อนกันได้หลายชั้น และเกิดขึ้นไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

(2) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับที่ได้ยากและการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว

(3) การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange Adsorption) การดูดซับแบบนี้ อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์บริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม

(4) การดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (Specific Adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้ จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี (รัตนา มหาชัย และสุนันทา เฮงรัศมี, 2541)

2.8 ผักตบชวา (Water Hyacinth)

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำล้มลุก ประกอบด้วยลำต้นที่มีหัวราก (rhizomatous system) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5- 6 เซนติเมตร และยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ลำต้นมีสีม่วงแดง มีขนาดแตกต่างกัน ประกอบด้วยกลุ่มใบเรียงกันเป็นกลีบชัน (rosettes) ก้านใบมีลักษณะกลมพองออก ภายในมีเนื้อพรุนคล้ายฟองน้ำเป็นเครื่องพยุงให้ต้นลอยน้ำได้ ผักตบชวามีระบบรากเป็นรากฝอย โดยแตกออกจากข้อบนลำต้น มีความยาวตั้งแต่ 10 - 90 เซนติเมตร มีไหลซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน และมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซึมธาตุอาหารต่างๆ ที่ปะปนในน้ำ ส่วนดอกมีสีม่วงฟ้าลักษณะเป็นช่อดอกมีประมาณ 6 -12 ดอก ผักตบชวาจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้เร็วที่สุด โดยสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่ใช้เพศ (vegetative propagation) และแบบใช้เพศ (sexual reproduction) แต่โดยทั่วไปมักจะขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ โดยสามารถเพิ่มการครอบคลุมพื้นที่ได้เป็น 2 เท่า ทุกระยะเวลา 62 วันหรือเพิ่มจำนวนจาก 10 ต้น เป็น 6 แสนต้น ภายในเวลา 8 เดือน สำหรับการขยายพันธุ์โดยใช้เพศจะผสมเกสรภายในตัวเอง (self pollination) แต่บางครั้งสามารถผสมข้ามต้นได้ โดยจะเกิดเฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้น

ภาพที่ 2.2 ลักษณะผักตบชวา

2.8.1 แหล่งที่พบ

ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาดเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4 -10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 °C และในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 ประกอบด้วยในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96 (เปล่งศักดิ์ และภู่ขจร, 2546) ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามีการแพร่กระจายของผักตบชวาอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำต่างๆ ในหลายจังหวัดทั่วประเทศ

2.8.2 คุณสมบัติของเส้นใยผักตบชวา

โครงสร้างลำต้นผักตบชวาส่วนใหญ่มีความพรุนคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นผักตบชวาจึงมีความสามารถในการดูดความชื้นในอากาศได้ดีและดูดซึมน้ำได้สูงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของเส้นใยผักตบชวา

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย
เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	0.80 -1.20
ความถ่วงจำเพาะ	0.428
ปริมาณความชื้น (%)	8.44
การดูดซึมน้ำ (%)	38.8

ที่มา: (จิระศักดิ์ และคณะ,2000)

2.8.3 องค์ประกอบของผักตบชวา

ต้นผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าผักตบชวาประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และแร่ธาตุต่างๆ แสดงดังตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของเส้นใยผักตบชวา

องค์ประกอบ	สัดส่วนร้อยละ
ลิกนิน	12 - 13
เซลลูโลส	43 - 44
เพนโตแซน	14 - 15
ไนโตรเจน	2.8 - 3.5
โซเดียม	1.5 - 2.5
โปแตสเซียม	2.0 - 3.5
แคลเซียม	0.6 - 1.3

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางเคมีของผักตบชวาสด

คุณสมบัติทั่วไป	**(ร้อยละ)**	**ปริมาณธาตุอาหาร**	**(ร้อยละ)**
โปรตีน	17.22	คาร์บอน (C)	32 - 35
ไฟเบอร์	15-18	ไนโตรเจน (N)	2.8 - 3.5
ขี้เถ้า	16-20	โพแทสเซียม (K_2O)	2.0 - 3.5
ความชื้น	90	แมกนีเซียม (Mg)	0.6 - 1.3
pH	6.85	ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.1 - 0.4
		แคลเซียม (Ca)	0.6 - 1.3

ที่มา : (สุภาพร และคณะ, 2542)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามี ดังนี้

กรกช ธิวงศ์ค้า (2547) ศึกษาประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสี ออกจากน้ำเสียด้วยระบบดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากท้องตลาด เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย พบว่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดติดจะเพิ่มขึ้นด้วยและเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช พบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อ pH เพิ่มจาก 3 ถึง 5 แต่พบว่าแนวโน้มประสิทธิภาพลดลงหลังจาก pH มากกว่า 7

สมใจ ขจรชีพพันธ์งาม (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุด และศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในการดูดซับไอออนของโลหะหนักโครเมียมและสีย้อมจากน้ำเสีย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลิตผลถ่านกัมมันต์มากที่สุดคือ การเผากระตุ้นด้วยก๊าซ CO_2 ที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 1 หรือ 2 ชม. จะได้ผลผลิตในปริมาณเท่ากัน คือ 35.12 % ส่วนสภาวะที่ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวดูดซับมากที่สุด คือ 2.734 ppm/g และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นด้วยก๊าซ CO_2 ที่ 650 °C ใช้เวลาเผากระตุ้น 2 ชม. จะสามารถดูดซับสีย้อมได้ในปริมาณสูงสุดคือ 0.21 ppm/g

รัตนา มหาชัย และ นาถ ภูวงศ์ผา (2545) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งด้วยวัสดุแกลบเผา ซึ่งวัสดุแกลบเผาที่นำมาใช้ได้แก่ เถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบดำพบว่า มีปริมาณซิลิกอนและคาร์บอน เท่ากับ 84.87% และ 9.79% โดยมวล พื้นที่ผิวจำเพาะรูพรุน เท่ากับ 83.71 ตารางเมตร/กรัม ขนาดรูพรุน เท่ากับ 6.22 นาโนเมตร (nm) เมื่อนำเถ้าแกลบมาทดลองดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์ 16 ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิห้องและพีเอช 6-8 พบว่า ค่าความจุในการดูดซับอยู่ในช่วง 0.001 – 6.26 มิลลิกรัมของสี/กรัมของตัวกรอง วิธีการบำบัดแบบถังแช่ (Batch) และแบบคอลัมน์ (Colum) ร่วมกัน สามารถกำจัดสีได้มากกว่า 90 % และซีโอดี มากกว่า 60%

ชนิตา เสมรัตต์ (2543) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยสารดูดติดผิวที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์และถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ถ่านกะลาและถ่านชานอ้อย ซึ่งพบว่าถ่านกะลาไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณ 84 - 99 % ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณ 50 - 98 % และถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณ 51 – 95 % โดยประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อใช้กำจัดสีแดงและสีเหลืองที่ความเข้มข้นสี 250 มก./ลิตร

รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์ และคณะ (2541) ได้ผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงจากกะลาปาล์มด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้ซิงค์คลอไรด์, กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด เป็นสารกระตุ้น พบว่า การกระตุ้นถ่านกะลาปาล์มด้วย KOH ได้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณและคุณภาพการดูดซับสูงกว่าการกระตุ้นกะลาปาล์มด้วย H_3PO_4 และ $ZnCl_2$ ตามลำดับ โดยการกระตุ้นถ่านกะลาปาล์มด้วย KOH มีพื้นที่ผิวภายใน 3,422 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับสารเมทิลีนบลู 1,109 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูด

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ซับสารไอโอดีน 2,828 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการกระตุ้นกะลาปาล์มด้วย H_3PO_4 และ $ZnCl_2$ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวภายใน 1,844 และ 1,648 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลู 443 และ 413 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับสารไอโอดีน 1,073 และ 1,056 มิลลิกรัมต่อกรัม

เปี่ยมศักดิ์ ไชยสิงห์ (2542) ได้ทำการศึกษา การบำบัดสารอินทรีย์และโลหะหนักด้วยระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) - ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด การก้าจัดสารอินทรีย์(ซีโอดี) และโลหะหนัก(ทองแดงและสังกะสี) ด้วยระบบเอสบีอาร์ - ถ่านกัมมันต์ ชนิดเกล็ด โดยท้าการทดลองกับน้าเสียสังเคราะห์ที่มีความสกปรกในรูปซีโอดีเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองหาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดตามวิธีมาตรฐานในการดูดซับ ซีโอดี ทองแดง และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 675,698 45,836 และ 37,763 มมิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ทองแดง และสังกะสีของระบบเอสบีอาร์ - ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในช่วง 8 วันแรกของระบบไม่มีความแตกต่าง จากระบบเอสบีอาร์ปกติหลังจากนั้นระบบเอสบีอาร์-ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น การเติมถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์และโลหะหนัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา ซึ่งการทดลอง แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง และส่วนที่ 3 ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

1) ผักตบชวา ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลอง คือผักตบชวาที่ได้จากอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม

3.1.2 สารเคมี

1) น้ำกลั่น
2) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 N (Sodium hydroxide 1.0 N)
4) โซเดียมไฮดรอกไซด์
5) ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟสไดไฮเดรต

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
2) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
3) ตู้อบไล่ความชื้น (Oven)
4) เครื่องชั่ง (Balance) ทศนิยมชนิด 4 ตำแหน่ง
5) ตู้ดูดความชื้น (Dessiccator)
6) บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
7) กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 50 และ 1,000 มิลลิลิตร
8) บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 250 และ 1,000 มิลลิลิตร
9) ปิเปตวัดปริมาตร (volumetric pipet) ขนาด 1 2 5 10 20 และ 50 มิลลิลิตร
10) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
11) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flash) ขนาด 50 และ 1,000 มิลลิลิตร
12) กระดาษกรอง WHATMAN เบอร์ 42
13) เครื่องเขย่าแนวราบ
14) นาฬิกาจับเวลา
15) เตาเผาอุณหภูมิสูง
16) กระดาษกรอง WHATMAN เบอร์ 42
17) ตะแกรงร่อน
18) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

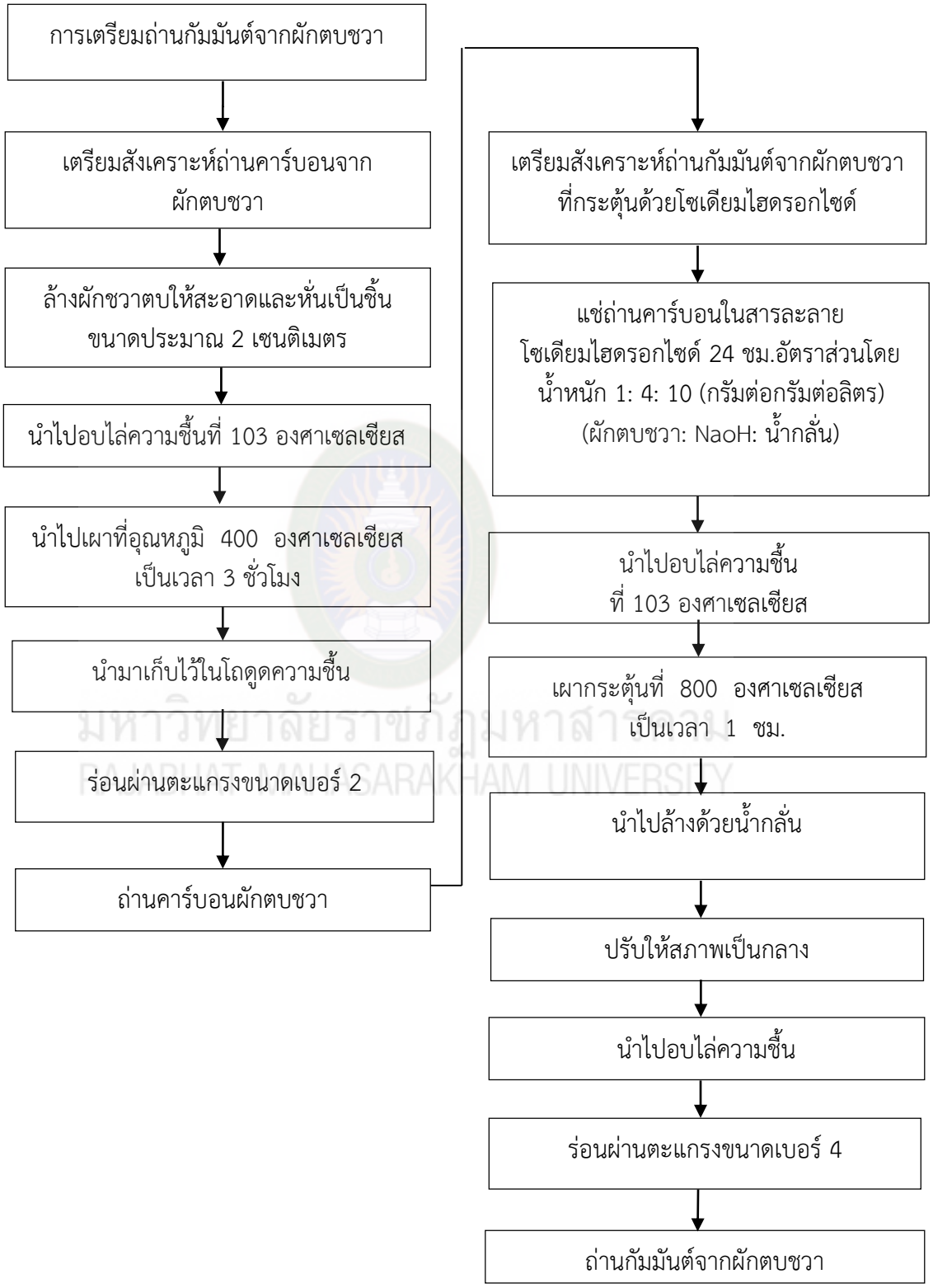
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ส่วน

<u>ส่วนที่ 1</u> ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ดังภาพที่ 3.2

3.2.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รายละเอียดขั้นตอนการตรียมถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวามีดังนี้คือ คือ

3.2.1.1 การเตรียมถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาการผลิตถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา

2) เก็บตัวอย่างผักตบชวาที่แก่งเลิงจาน ในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งจะทำการเก็บตัวอย่างผักตบชวาโดยจะเลือกเก็บส่วนใบและลำต้น

3) ล้างให้สะอาดและนำไปสับหั่นให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร

4) นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

5) นำผักตบชวาที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้วนำใส่ด้วยถ้วยกระเบื้องปิดฝา จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทิ้งตัวให้เย็น นำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

6) จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 2 จะได้ถ่านผักตบชวาคาร์บอน

7) ถ่านผักตบชวาคาร์บอนที่ผ่านการคัดขนาดแล้วเตรียมนำไปเผากระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์

3.2.1.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาโดยกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

1) นำถ่านผักตบชวาที่ได้ ไปแช่น้ำกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1: 4:10 (กรัมต่อกรัมต่อลิตร) (ผักตบชวา: NaoH: น้ำกลั่น) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) จากนั้นนำถ่านผักตบชวาที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามอัตราส่วนที่ต้องการแล้ว นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 4 ชั่วโมง

3) หลังจากนั้นนำผักตบชวาเผาที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปใส่ในถ้วยกระเบื้องปิดฝานำไปเผากระตุ้นเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งตัวให้เย็นและนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

4) จากนั้นนำถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่ผ่านการเผากระตุ้นไปล้างด้วยน้ำกลั่น

5) ปรับสภาพให้เป็นกลาง

6) เมื่อปรับสภาพให้เป็นกลางแล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส

8) จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 จะได้ถ่านผักตบชวากัมมันต์

9) เก็บไว้ในโถดูดความชื้น

10) ได้ถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคัดขนาดแล้วเตรียมนำไปตรวจวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.3 ภาพขั้นตอนการเตรียมถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.4 ภาพขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

<u>ส่วนที่ 2</u> ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง ดังภาพที่ 3.5

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง

ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 1000 ppm จากสาร ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟสไดไฮเดรต ปริมาตร 1 ลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm จำนวน 20 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร ก็จะได้น้ำเสียสังเคราะห์ฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคำนวณได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

การคำนวณ

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น

V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่ตวงมา (มิลลิลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

V_2 = ปริมาณของสารละลายที่ต้องการ (1ลิตร)

เช่น $C_1V_1 = C_2V_2$

1000 ppm x V_1 = 20 ppm ×1000 มิลลิลิตร

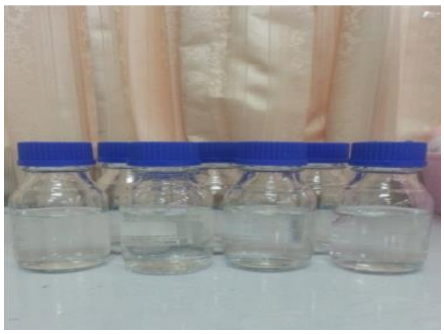
V_1 = 20 มิลลิลิตร

2) ตวงน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับความเข้มข้นแล้วด้วยกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ซึ่งใช้เป็นถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอช ของน้ำเสียด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือสารละลายเจือจางกรดไฮโดรคลอริก

3) นำน้ำเสียฟอสฟอรัสสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร เติมใส่ถังกำจัดฟอสฟอรัสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

4) ปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีความเข้มข้น เท่ากับ 1 โมล หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) มีความเข้มข้น เท่ากับ 1 โมล ให้มีค่าเท่ากับ 3, 5, 7 และ9 ตามลำดับ ตรวจวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH Meter

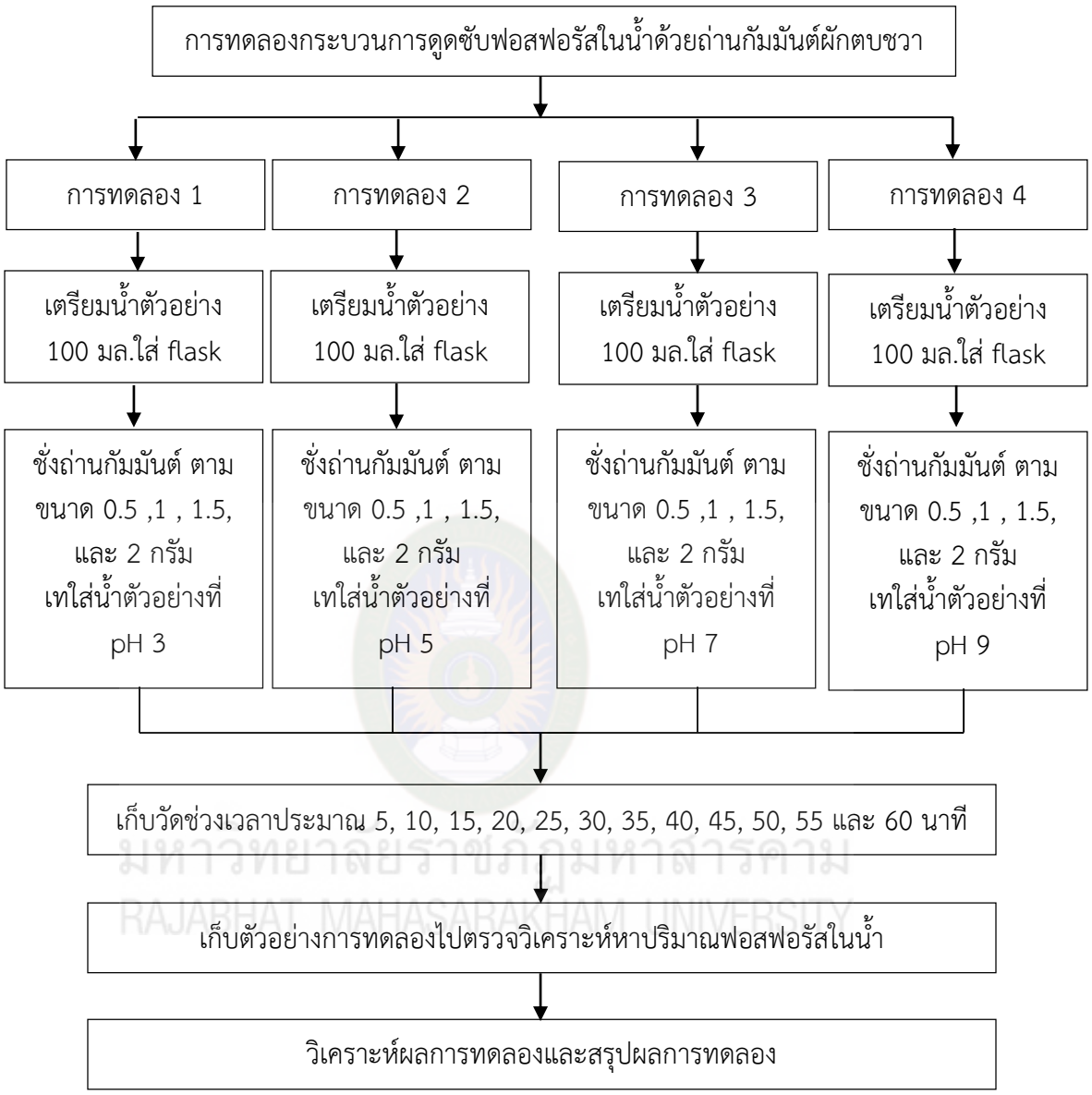
5) ตวงน้ำเสียฟอสฟอรัสสังเคราะห์ด้วยกระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมลงในถังกำจัดฟอสฟอรัสเพื่อทำการทดลองลงสู่ถังกำจัดฟอสฟอรัสที่ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.6 ภาพลักษณะของน้ำเสียฟอสฟอรัสสังเคราะห์

<u>ส่วนที่ 3</u> ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับ ดังภาพที่ 3.7

3.2.3 ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลองการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา

รายละเอียดขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีดังนี้คือ

3.2.3.1 ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา

1) เตรียมน้ำเสียตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เทใส่ขวด flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) ชั่งถ่านกัมมันต์ ตามขนาด 0.5 , 1 , 1.5, และ 2 กรัม เตรียมไว้

3) นำถ่านที่ชั่งไว้เทลงในขวดน้ำตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ในแต่ละค่า pH คือ 3 5 7 และ 9 ปิดฝาแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ

4) เมื่อเริ่มทำปฏิกิริยาการดูดซับของถ่านกัมมันต์ผักตบชวา จะทำการเก็บตัวอย่างที่ช่วงเวลาที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 นาที

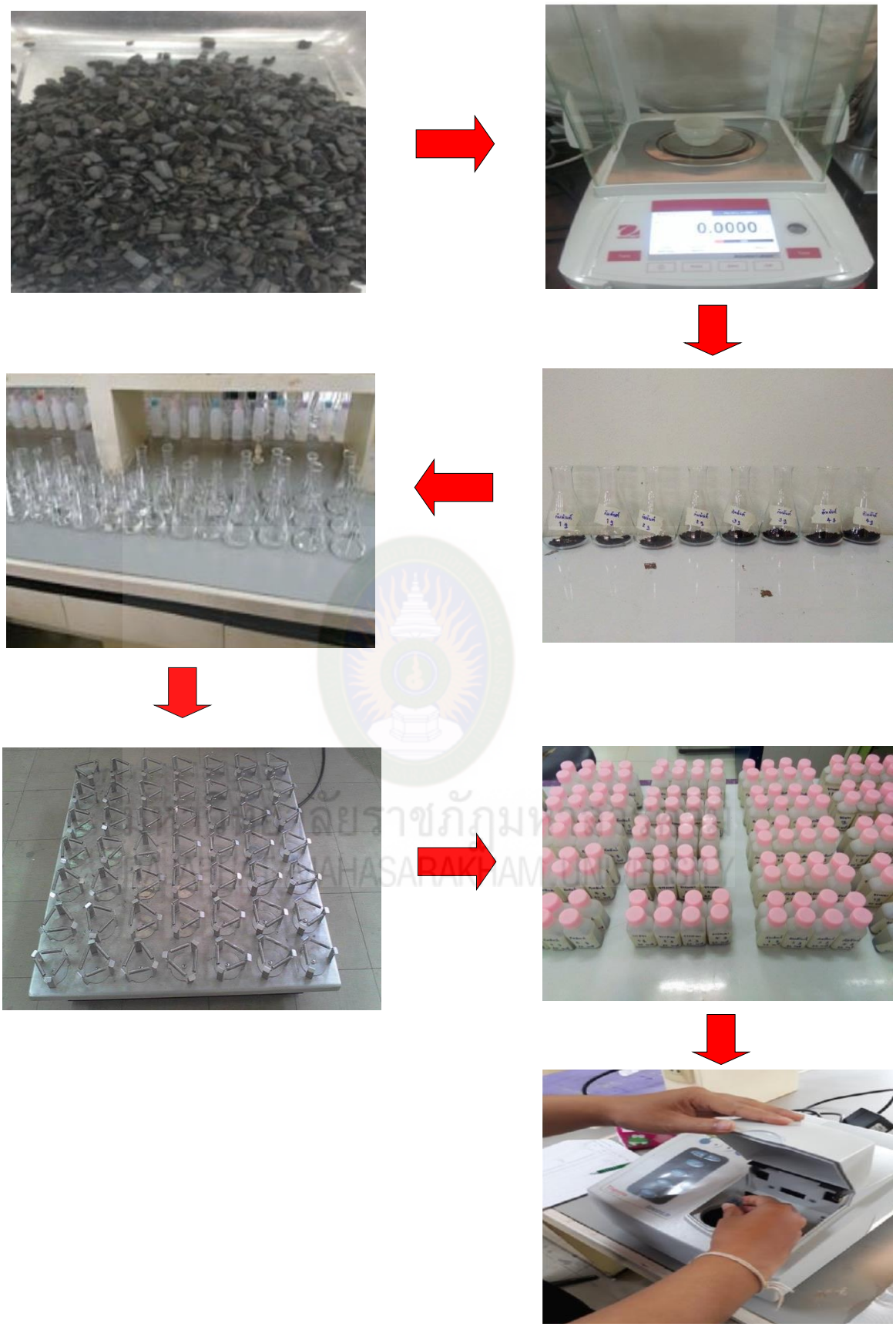
5) หลังจากนั้นกรองแยกน้ำตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับออกจากถ่านผักตบชวาคาร์บอนด้วยแผ่นเยื่อกรอง

6) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วไปนำวิเคราะห์วัดค่าฟอสฟอรัสในน้ำในที่ห้องปฏิบัติการ

7) บันทึกค่าข้อมูล

8) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์หาค่าสภาวะที่เหมาะสมแลประสิทธิภาพความสามารถในการของดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์ผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองวิเคราะห์การดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ผักตบชวา

บทที่ 4
ผลการวิจัย

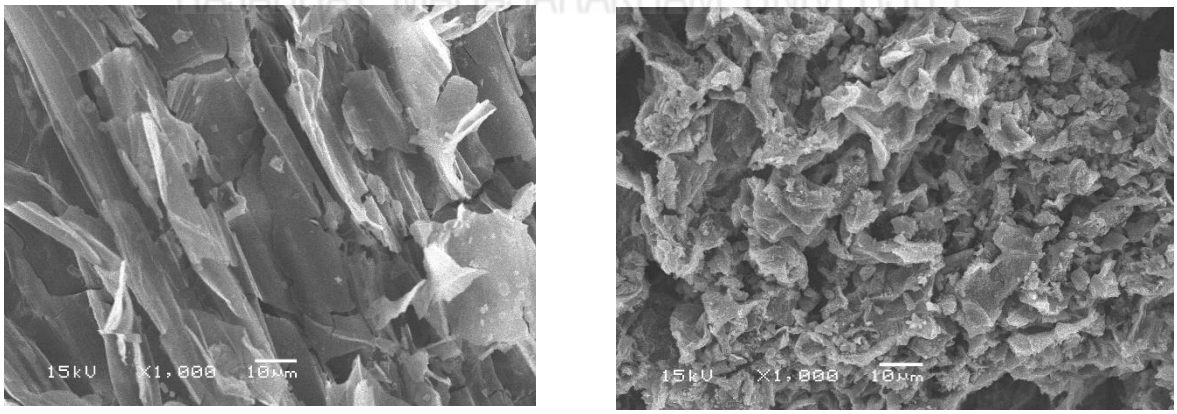
การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเรื่องการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา ซึ่งได้นำผักตบชวาที่เป็นวัชพืชน้ำที่มีจำนวนมากและหาง่ายในแหล่งน้ำผิวดิน มาสังเคราะห์เป็นถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาการตรียมถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา

4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

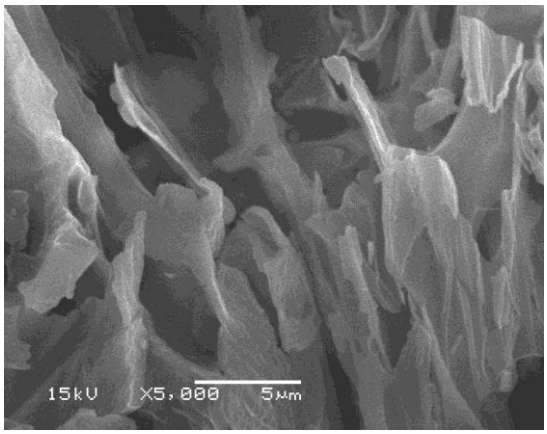
จากการศึกษาทดลองการตรียมถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาในบทที่ 3 เมื่อสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) ปริมาตรรูพรุนรวม (Total Pore Volume) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average Pore Size) โดยได้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Specific Surface Area Analyzer (Autosorb -1 MP) ตามวิธีของ BET (Brunauer – Emmett – Teller) ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 จากนั้นทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ซึ่งลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

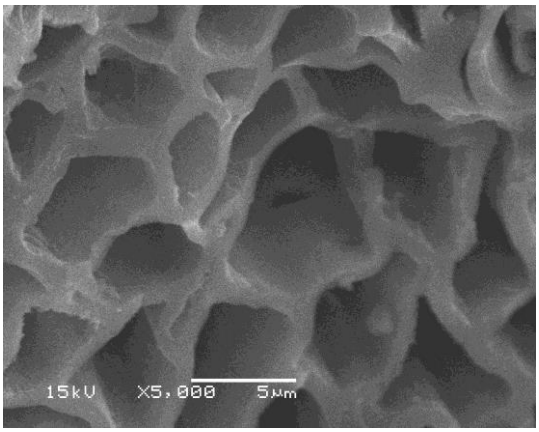


(ก) (ข)

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ถ่านคาร์บอนผักตบชวา (ข) ถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) ถ่านคาร์บอนผักตบชวา (ข) ถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดตัวดูดซับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูพรุนรวม (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
ถ่านคาร์บอน	4.05	0.019	1,883.0
ถ่านกัมมันต์	30.42	0.210	276.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.1 พบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถ่านคาร์บอน 7.5 เท่า โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีค่าเท่ากับ 30.42 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 4.05 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อพิจารณาปริมาตรรูพรุนรวมพบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีปริมาตรรูพรุนรวม 0.210 มิลลิลิตรต่อกรัม มากกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวาอยู่ 11 เท่า ซึ่งถ่านคาร์บอนผักตบชวามีปริมาตรรูพรุนรวม 0.019 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อพิจารณาขนาดของรูพรุนเฉลี่ยพบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเล็กกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา 6.8 เท่า ซึ่งขนาดของรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ผักตบชวาเท่ากับ 276.1 นาโนเมตร ส่วนถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1,883 นาโนเมตร จากผลการศึกษาถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและมีปริมาตรรูพรุนรวมมากกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา แต่ถ่านคาร์บอนผักตบชวามีขนาดรูพรุนเฉลี่ยมากกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น เนื่องมาจากถ่านคาร์บอนผักตบชวาถูกเผากระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีผลทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสละลายออกมาทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้นมาก จนทำให้มีปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ผักตบชวาเพิ่มมากขึ้น

จากภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงลักษณะของภาพโครงสร้างทางกายภาพของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดกำลังขยาย 1000 เท่า พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนผักตบชวามีลักษณะเนื้อแน่นมีผนังรูพรุนหนาและมีจำวนรูพรุนน้อย รูพรุนมีขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาเทียบกับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ผักตบชวาแล้วพบว่าลักษณะเนื้อโครงสร้างจะโปร่งมากกว่า มีรูพรุนจำนวนมากกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวาและมีรูพรุนขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวากระจายอยู่ทั่วพื้นผิว

จากภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงลักษณะของภาพโครงสร้างทางกายภาพของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดกำลังขยาย 5000 เท่า พบว่าลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนผักตบชวามีลักษณะเนื้อแน่นผิวค่อนข้างเรียบมีผนังรูพรุนหนา มีจำนวนรูพรุนน้อยและมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวา ส่วนลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีลักษณะเนื้อขรุขระผนังรูพรุนบางและรูพรุนมีขนาดเล็กจำนวนมากแทรกกระจายอยู่ทั่วทั้งผนังโพรงภายในและผิวภายนอกของเนื้อถ่าน

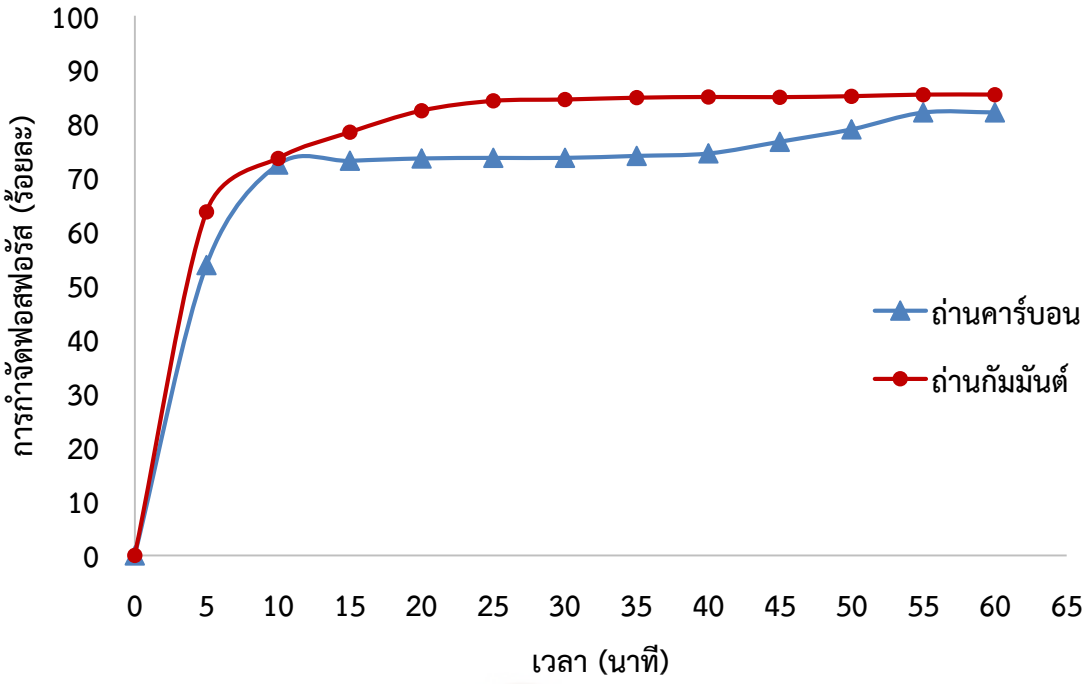
เมื่อนำลักษณะภาพถ่ายทางกายภาพโครงสร้างรูพรุนและพื้นผิวไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยแล้วพบว่าข้อมูลที่ได้สอดคล้องกัน

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

4.2.1 ผลการศึกษาสภาวะการเข้าสู่สมดุลการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

การศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสฟอรัสในน้ำ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่แต่ละช่วงเวลา คือ 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 และ 60 นาที จากนั้นกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำข้อมูลการทดลองไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสกับเวลาจะได้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังภาพที่ 4.3 พบว่าการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับที่เวลา 55 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ โดยถ่านคาร์บอนผักตบชวาสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 82 ส่วนถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 85

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

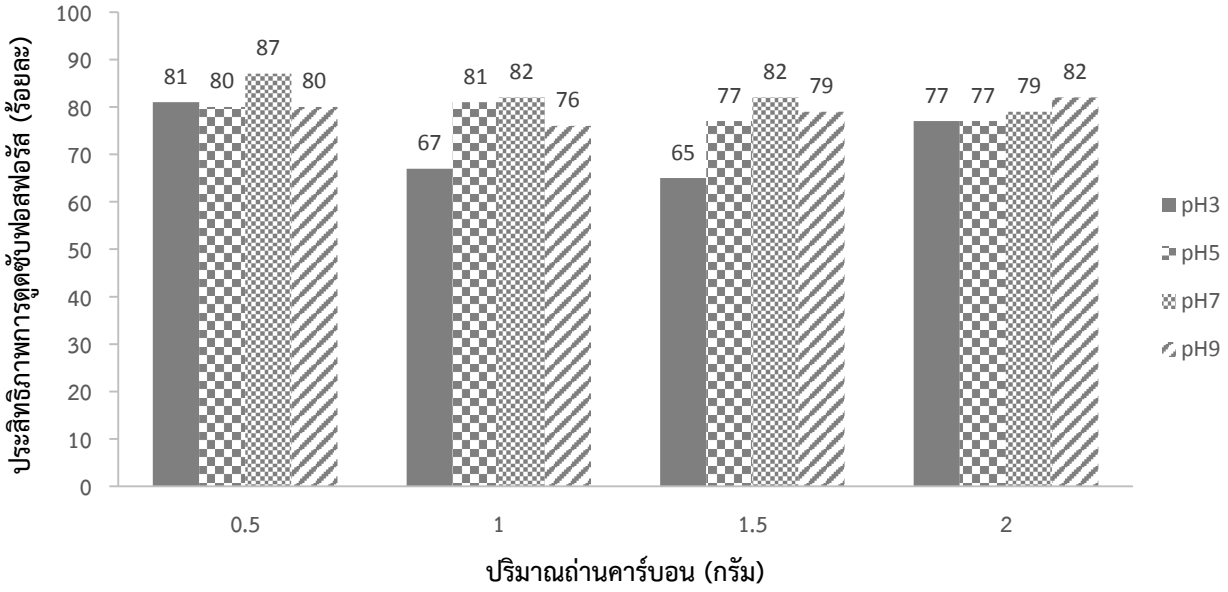


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลปฏิกิริยาของการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

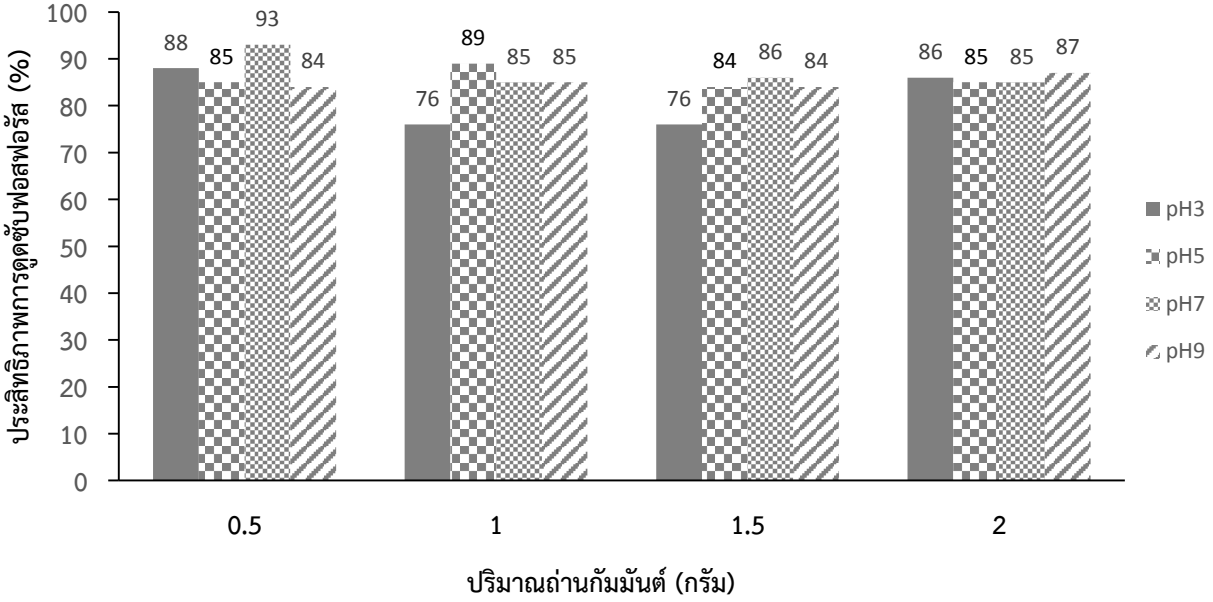
เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่สัดส่วนถ่าน 0.5 1 1.5 และ 2 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 โดยใช้เวลาในการสัมผัส 60 นาที (ตามระยะเวลาเข้าสู่สมดุล) พบว่าปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 0.5 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 81 ร้อยละ 80 ร้อยละ 87 และร้อยละ 80 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 1 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 67 ร้อยละ 81 ร้อยละ 82 และร้อยละ 76 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 1.5 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 65 ร้อยละ 77 ร้อยละ 82 และร้อยละ 79 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 2 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 77 ร้อยละ 77 ร้อยละ 79 และร้อยละ 82 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด ข้อมูลดังภาพที่ 4.4 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือร้อยละ 87 ในสภาวะค่า pH 7 ที่สัดส่วนปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะด่างเล็กน้อย



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนผักตบชวา

4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

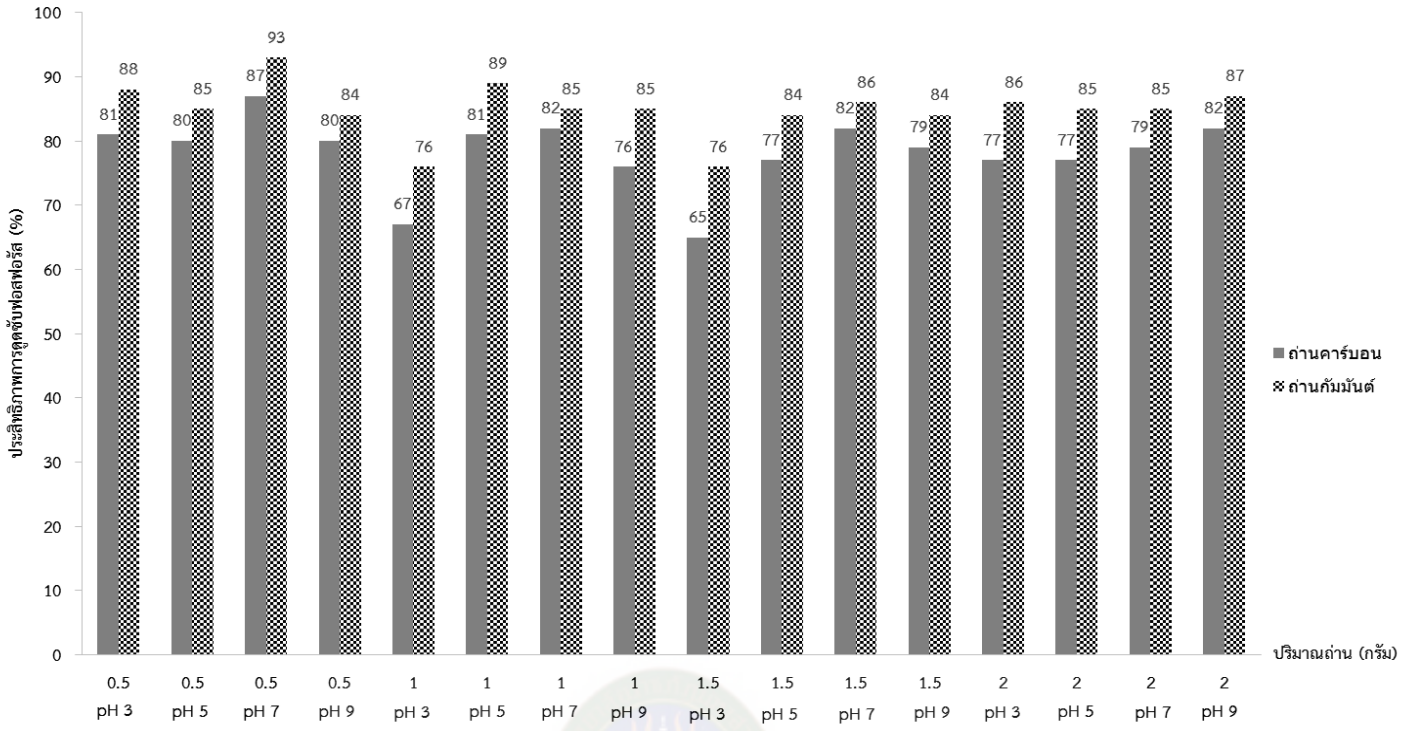
เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สัดส่วนถ่าน 0.5 1 1.5 และ 2 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 โดยใช้เวลาในการสัมผัส 30 นาที(ตามระยะเวลาเข้าสู่สมดุล) พบว่าปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 0.5 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 88 ร้อยละ 85 ร้อยละ 93 และร้อยละ 84 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 1 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 76 ร้อยละ 89 ร้อยละ 85 และร้อยละ 85 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 5 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 1.5 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 76 ร้อยละ 84 ร้อยละ 86 และร้อยละ 84 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่ 2 กรัม ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 86 ร้อยละ 85 ร้อยละ 85 และร้อยละ 87 ตามลำดับ โดยที่ระดับ pH 9 มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด ข้อมูลดังภาพที่ 4.5 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือร้อยละ 93 ในสภาวะค่า pH 7 ที่สัดส่วนปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะกรดเล็กน้อย



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ผักตบชวา

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

เมื่อนำข้อมูลผลการทดลองมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะที่มีสัดส่วนปริมาณถ่าน 0.5 1 1.5 และ 2 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ระดับ pH 3 5 7 และ 9 ตามลำดับ พบว่าที่อัตราส่วนเดียวกัน ที่ระดับค่า pH เดียวกัน ถ่านกัมมันต์จากผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้มีประสิทธิภาพดีกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านคาร์บอนมีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ มีปริมาตรรูพรุน และจำนวนรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวา ดังตารางที่ 4.1 เพราะถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำปฏิกิริยาทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสได้มีประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ที่การใช้อัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ค่าระดับเป็นกลางคือ pH 7 เมื่อนำถ่านตัวดูดซับทั้งสองชนิดมาใช้ในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำ ซึ่งถ่านกัมมันต์ผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะกรดเล็กน้อย ส่วนถ่านคาร์บอนผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะด่างเล็กน้อย ข้อมูลดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยดำเนินการทดลองที่ปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ตึก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม โดยผู้วิจัยแบ่งการแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียตัวอย่าง และส่วนที่ 3 ขั้นตอนการทดลองกระบวนการดูดซับ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผล ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลการทดลองผลการตรวจวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถ่านคาร์บอน 7.5 เท่า โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีค่าเท่ากับ 30.42 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 4.05 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อพิจารณาปริมาตรรูพรุนรวมพบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีปริมาตรรูพรุนรวม 0.210 มิลลิลิตรต่อกรัม มากกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวาอยู่ 11 เท่า ซึ่งถ่านคาร์บอนผักตบชวามีปริมาตรรูพรุนรวม 0.019 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อพิจารณาขนาดของรูพรุนเฉลี่ยพบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเล็กกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา 6.8 เท่า ซึ่งขนาดของรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ผักตบชวาเท่ากับ 276.1 นาโนเมตร ส่วนถ่านคาร์บอนผักตบชวาที่มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1,883 นาโนเมตร จากผลการศึกษาถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและมีปริมาตรรูพรุนรวมมากกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา แต่ถ่านคาร์บอนผักตบชวามีขนาดรูพรุนเฉลี่ยมากกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากถ่านคาร์บอนผักตบชวาถูกเผากระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างจะมีผลทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสละลายออกมาทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพิ่มขึ้นมาก จนทำให้มีปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ผักตบชวาเพิ่มมากขึ้น

5.1.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

1) ผลการศึกษาสภาวะการเข้าสู่สมดุลการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

การศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสฟอรัสในน้ำ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับที่เวลา 55 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ โดยถ่านคาร์บอนผักตบชวาสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 82 ส่วนถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 85

2) ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนจากผักตบชวา

พบว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือร้อยละ 87 ในสภาวะค่า pH 7 ที่สัดส่วนปริมาณอัตราส่วนถ่านคาร์บอนผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะด่างเล็กน้อย

3) ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านกัมมันต์จากผักตบชวาที่กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

พบว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือร้อยละ 93 ในสภาวะค่า pH 7 ที่สัดส่วนปริมาณถ่านคาร์บอนผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันผักตบชวานั้นจะดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีในสภาวะเป็นกลางหรือสภาวะกรดเล็กน้อย

5.1.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผักตบชวา

พบว่าที่อัตราส่วนเดียวกัน ที่ระดับค่า pH เดียวกัน ถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้มีประสิทธิภาพดีกว่าถ่านคาร์บอนผักตบชวา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถ่านคาร์บอนผักตบชวามีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน และจำนวนรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ผักตบชวา เพราะถ่านกัมมันต์ผักตบชวามีการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำปฏิกิริยาทำให้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกำจัดฟอสฟอรัสได้มีประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ที่การใช้อัตราส่วนปริมาณถ่านกัมมันต์ผักตบชวา 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ค่าระดับเป็นกลางคือ pH 7

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต ควรมีการพัฒนาการทดลองกับการใช้กับน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนฟอสฟอรัส

5.2.2 หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรศึกษาการทดลองนำสารอื่นมาใช้กระตุ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์และการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านที่กระตุ้นแต่ละแบบเพื่อหาแนวทางใหม่พัฒนาตัวดูดซับต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กรรณิกา ศิริสิงห์. **เคมีของน้ำเสีย น้ำโสโครกและการวิเคราะห์.**กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันเกษม; 2549.

กรกช ธิวงศ์คำ. **ประสิทธิภาพของการลดซีโอดีและสีออกจากน้ำเสียด้วยระบบดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเปลือกมะคาเดเมีย.** [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี] พิษณุโลก: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ; 2547.

กำชัย นุ้ยธิติกุล, สมร หิรัญประดิษฐกุล. **การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเศษไม้ไผ่.**กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ; 2550.

เกรียงศักดิ์ อุดมศิลป์โรจน์. **การบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์ ; 2539

จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. **การเร่งปฏิกิริยา:พื้นฐานและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2547.

จารุทัศน์ มิลินทะเลข. **การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและวัสดุ] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ; 2537.

จุฑารัตน์ อรรคธรรม.**ประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้เป็นตัวดูดซับ**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม] ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ; 2546.

ชนิตา เสมรัตน์.**ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2543.

ชัยยศ ตั้งสถิตกุลชัย, มาลี ตั้งสถิตกุลชัย.**รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนท์โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีประจำปี พ.ศ. 2543 – 2544.** นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนสุรนารี; 2544.

ธราพงษ์ วิทิตศานต์, รัชนี ทรัพย์มี, สันติ เมฆฉาย, รัตนจิตต์ อัตราชีวะ และเสาวลักษณ์ ศิวัฒนานนท์. **โครงการวิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549

บุญเรือน สรรเพชร. **ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม.** [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี] ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2543.

ประพิณ ทัพกาญจนะ.**การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2548.

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ปรินทร เต็มญารศิลป์.**การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอินทรีย์] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2551.

ประเสริฐ แก้วแกมเกตุ. **การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นไหมโดยใช้ระบบถังเกรอะและถังคาร์บอนดูดซับ**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม] ขอนแก่น : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2543.

เปล่งศักดิ์ ภู่ขจร. **การใช้เรซินผักตบชวาบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า**. [วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม] ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2546.

เปี่ยมศักดิ์ ไชยสิงห์. **การบำบัดสารอินทรีย์และโลหะหนักด้วยระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) – ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด.** [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม] กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า; 2542.

พรรษกร ใจประดับเพชร. **การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2549.

พงศกร พิศิษฐวานิช และปิติ แฝงจันดา. **การกำจัดสีย้อมไหมด้วยโคแอกกูแลนต์ร่วมกับแกลบเผา.** โครงงานปริญญาวิศกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2545.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์.**คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** กรุงเทพฯ : จัดพิมพ์โดยบริษัท แซน.อี 68 แลบ จำกัด; 2543.

มหาวิทยาลยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ฟอสฟอรัส. [ออนไลน์]. กรุงเทพ. 2548. แหล่งที่เขาถึง : http://www.kmutt.ac.th/ev/inmage/phosphorus.pdf [1 เมษายน 2557]

รัตนา มหาชัย, สุนันทา เฮงรัศมี. **การหาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์เกาลิน ถ่านแกลบและถ่านแกลบเผา.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น ; 2541.

รัตนา มหาชัย, นาถ ภูวงศ์ผา. **การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งด้วยวัสดุแกลบเผา.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2545.

รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม.** กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย; 2541

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. **การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**.[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาสภาวะแวดล้อม] กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2544.

ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ. **หน่วยปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม.** ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น ;2550

อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ. **การกำจัดฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดระบบแอเรทเตดลากูนโดยกระบวนการตกตะกอนเคมี**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

Callery, A.G., et al. Treatment of Industrial Effluent. London : Hodder and Stoughton, 1977.

Carina C., and Cecilia Mattsson Petersen.(2007). "Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review." Waste Management ,27(1): 117-129.

Cheng, J., Xie, B., Zhou, J., Song, W., and Cen, K. (2010). Cogeneration of H_2 and CH_4 from water hyacinth by two-step anaerobic fermentation. International journal of hydrogen energy, 35(7), 3029-3035.

Hammer, MJ. Water and Wastewater Technology. Englewood Cliffs : Prentic-Hall., 1986.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

(ช)

(ซ)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ก.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(ก) เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (ข) เครื่อง pH meter (ค) บีกเกอร์ (ง) ตะแกรงร่อนเบอร์ 4 และ 6 (จ) เตาเผาอุณหภูมิสูง (ฉ) ตู้อบความร้อน (ช) ตาชั่งละเอียด (ซ) เครื่องเขย่าแนวราบ