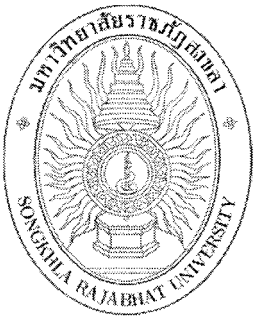


รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพ
ในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง
The Study of Phosphorus Adsorption Efficiency
of Activated Carbon from Disposable Bamboo Chopsticks

นายทศพร หะยามินทร์
นางสาวสุธีภา เดชอรัญ
นางสาวหัตเวียน นาคสง่า

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา
2558

ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

The Study of Phosphorus Adsorption Efficiency of Activated Carbon from Disposable Bamboo Chopsticks

ผู้วิจัย นายทศพร หะยามินทร์ รหัสนักศึกษา 544291010

นางสาวสุธีภา เดชอรัญ รหัสนักศึกษา 544291032

นางสาวหัตเวียน นาคสง่า รหัสนักศึกษา 544291042

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(นางสาวนรารัตน์ ทองศรีนุ่น)

.....กรรมการ
(นางสาวนัดดา โปดำ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....กรรมการ
(นางสาวหิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการ
(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....กรรมการ
(นางสาวนัดดา โปดำ)

.....กรรมการ
(นางสาวนรารัตน์ ทองศรีนุ่น)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนา ศิริโชติ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก อาจารย์นรารัตน์ ทองศรีนุ่น อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์นัดดา โปดำ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ ทำให้วิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และข้อคิดเห็นต่าง ๆ เพื่อประโยชน์สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอาจารย์จิระพงศ์ สุขจันทร์ อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตร และนายนัสรีย์ อาลี นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์เตาเผาถ่านและอำนวยความสะดวกในการเผาถ่านในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำโปรแกรมวิชาเคมีและเคมีประยุกต์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ที่คอยสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในด้านการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านกัมมันต์

ขอขอบคุณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้น้ำปราศจากไอออน

ขอขอบคุณร้านกระทะร้อนสิงหนครและร้านกระทะร้อนวชิราที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งสำหรับใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์และคอยเป็นกำลังใจให้มีกำลังและฝ่าฝันอุปสรรคต่าง ๆ ที่ผ่านเข้ามาในชีวิต ตลอดจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

นายทศพร หะยามินทร์
นางสาวสุธีภา เดชอรัญ
นางสาวหัตเวียน นาคสง่า
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มีนาคม 2559

1136188
662.93
ท๗๕ก

ชื่องานวิจัย	การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช่แล้วทิ้ง	
ผู้วิจัย	1. นายทศพร	หะยามินทร์
	2. นางสาวสุธีภา	เดชอรัญ
	3. นางสาวหัตเวียน	นาคสง่า
วิทยาศาสตรบัณฑิต	วิทยาศาสตร์ (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)	
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
ปีการศึกษา	2557	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นรารัตน์	ทองศรีนุ่น
	อาจารย์นัดดา	โปดำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก (ร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยปริมาตร) อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลา (30, 60 และ 120 นาที) ที่ใช้ในการกระตุ้น ผลการศึกษาพบว่า เมื่อกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 0.54 (เมื่อใช้วิธีมาตรฐาน ASTM D2867 – 99) และเมื่อกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 2,012 มิลลิกรัมต่อกรัม (เมื่อใช้วิธีมาตรฐาน ASTM D4607 – 94) เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นมาศึกษาขนาดรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า รูพรุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.33 ไมโครเมตร ซึ่งจัดเป็นรูพรุนขนาดกลาง สามารถนำมาใช้ในการดูดซับสารได้ จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นมาศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัส ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับฟอสเฟต (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ดีที่สุดคือ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100 และเวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง นอกจากนี้ ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนดิช เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์พบว่า ไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์มีลักษณะเป็นไปตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ ตะเกียบไม้ไผ่ ฟอสฟอรัส

Study title	The Study of Phosphorus Adsorption Efficiency of Activated Carbon from Disposable Bamboo Chopsticks
Authors	1. Mr. Tossaporn Hayamin 2. Miss Suteepa Decharun 3. Miss Hattawain Naksanga
Study Program	Environmental Science
Faculty	Science and Technology
Academic year	2014
Adviser	Miss Nararat Thongsrinoon Miss Nadda Podum

ABSTRACT

The preparation of activated carbon from disposable Bamboo chopsticks by chemical activation using phosphoric acid was studied. The parameters affected on moisture and iodine number were optimized such as concentration of phosphoric acid (40, 50, 60 and 70%v/v), activation temperature (room temperature and 60 °C) and activation time (30, 60 and 120 minutes). It was found that activated carbon prepared by activation using 40%v/v phosphoric acid at room temperature for 60 minutes showed the lowest moisture about 0.54% (by official method ASTM D2867 – 99). When the activated carbon was prepared by activation using 70%v/v phosphoric acid at room temperature for 30 minutes, the iodine number was highest about 2,012 mg/g (by official method ASTM D4607 – 94). The surface morphologies of activated carbon were observed using a scanning electron microscopy (SEM). The pore size of activated carbon was approximately 3.33 micrometers categorized as mesopores which is can be used for adsorption. After that, the parameters affected on phosphorus adsorption efficiency in artificial waste water with 0.5 mg P/L were studied such as amount of activated carbon and adsorption time. The activated carbon prepared by activation using 70%v/v phosphoric acid at room temperature for 30 minutes showed highest adsorption efficiency when the ratio between activated carbon weight and artificial waste water volume was 1 : 100 and adsorption time about 16 hours. In addition, both the Langmuir and Freundlich models were also studied to describe the adsorption isotherm of phosphate in artificial waste water on the activated carbon, and the Freundlich model was found to be better than the Langmuir model according to the correlation coefficient (R^2).

Keywords: Activated carbon, **Chopsticks, Phosphorus**

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อ		ข
ABSTRACT		ค
สารบัญ		ง
สารบัญภาพ		ฉ
สารบัญตาราง		ช
บทที่ 1	**บทนำ**	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ตัวแปร	2
	1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	2
	1.5 สมมติฐาน	4
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
	1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	4
บทที่ 2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 ถ่านกัมมันต์	5
	2.2 ขนาดและปริมาตรรูพรุน	7
	2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุน	7
	2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์	8
	2.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	9
	2.6 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	9
	2.7 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	12
	2.8 ไม้ไผ่	13
	2.9 ฟอสฟอรัส	14
	2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	16
	2.11 ไอโซเทอมของการดูดซับ	18
	2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3	**วิธีการวิจัย**	
	3.1 ขอบเขตการวิจัย	25
	3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	25
	3.3 สถานที่ทำวิจัย	26
	3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	**ผลและการอภิปรายผลการวิจัย**	
	4.1 ผลการศึกษาโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด	48
	4.2 ความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง	49
	4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง	51
	4.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต	53
	4.5 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์	58
	4.6 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์	59
	4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับ	61
บทที่ 5	**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	63
	5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม		**66**
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2545	69
	ภาคผนวก ข ASTM Designation: D2867-99	77
	ภาคผนวก ค ASTM Designation: D4607-94	81
	ภาคผนวก ง ภาพประกอบการวิจัย	87
	ภาคผนวก จ โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง	95
	ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย	121

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์	6
2.2	โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นคาร์บอนอสัณฐาน	6
2.3	ต้นไผ่	13
4.1	สภาพพื้นผิวของ (ก) ถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น และ (ข) ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้กรดฟอสฟอริก ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ระยะปรากฏในภาพ 10 ไมโครเมตร	48
4.2	ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ	50
4.3	แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ	51
4.4	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและค่าการดูดกลืนแสง	53
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับและประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ	56
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องและเวลาในการกระตุ้น 30 นาที	59
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับกับประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้องและเวลาในการกระตุ้น 30 นาที	60
4.8	แสดงไอโซเทอมการดูดซับฟอสเฟตแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์	61
4.9	แสดงไอโซเทอมการดูดซับฟอสเฟตแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์	62

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแปรความหมายของผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการไอโซเทอม	19
3.1	เครื่องมือ และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2	สารเคมี ที่ใช้ในการทดลองทดลอง	26
3.3	การเปลี่ยนสภาพจากไม้เป็นถ่าน	29
3.4	สภาวะการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของกรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 3 (ถ่านตะเกียบไม้ไผ่ : สารกระตุ้น)	30
3.5	สมการสำหรับการคำนวณค่าสถิติเอฟ	41
4.1	ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ	49
4.2	แสดงสภาวะของการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่นำมาศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน	50
4.3	แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกสภาวะต่าง ๆ	52
4.4	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ของถ่านตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ	54
4.5	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	57
4.6	แสดงการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกจากสภาวะต่าง ๆ เป็นรายคู่	57
4.7	แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น 30 นาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่าง ๆ	68
4.9	ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที เมื่อใช้เวลาต่าง ๆ ในการดูดซับ	60
4.10	ค่าคงที่ไอโซเทอมของการดูดซับด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแลงเมียร์และฟรุนดิชสำหรับการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที	62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ถ่านกัมมันต์ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับสารเคมีและสารปนเปื้อนต่าง ๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เคมี ยา และทางการแพทย์ การทำน้ำและอากาศให้บริสุทธิ์ หรือการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (สิงหเดช, 2552: 1; ปรินทร, 2551: 4-5) รูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีขนาดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีในการกระตุ้นมักมีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพจะมีรูพรุนขนาดเล็ก (ธราพงษ์, 2554: 2)

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะต้องเป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ตัวอย่างเช่น ถ่านพีท ถ่านลิกไนต์ กะลามะพร้าว ปาล์ม และไม้ เป็นต้น เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวมีองค์ประกอบคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูง สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กในจำนวนมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี และวัตถุดิบดังกล่าวมีปริมาณมากในประเทศไทย (ธราพงษ์, 2554: 7-11) ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย เช่น กะลามะพร้าว เศษไม้ ทะลายปาล์ม เมล็ดยางพารา หรือเปลือกผลไม้ เป็นต้น เนื่องจากมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน ราคาถูก และหาได้ง่าย รวมทั้งมีงานวิจัยที่มีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เผยแพร่มากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกด้วย

จากประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดีของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย กำจัดหรือดูดซับสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย โดยเฉพาะฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ซึ่งแม้ว่าจะจัดเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ แต่หากปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณสูง อันเนื่องมาจากการใช้สารซักล้างหรือปุ๋ยที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งมีสาเหตุมาจากแหล่งน้ำสะสมธาตุอาหารที่กระตุ้นให้พืชบางประเภท เช่น สาหร่ายและวัชพืชในน้ำเจริญมากกว่าปกติ ทำให้มีพืชปกคลุมทั่วบริเวณ

ผิวหน้าของน้ำ ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง แสงไม่สามารถส่องผ่านไปยังเบื้องล่าง ทำให้พืชใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้น้ำเน่าเสียส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่อไป (ชีระวิทย์, 2548: 1)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารมลพิษในน้ำเสียของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดปริมาณขยะอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1.3 ตัวแปร

1.3.1 ตัวแปรต้น :ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

1.3.2 ตัวแปรตาม:ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัส

1.3.3 ตัวแปรควบคุม : เวลาในการดูดซับและปริมาณถ่านกัมมันต์

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532: 1)

1.4.2 คาร์บอไนเซชัน

คาร์บอไนเซชัน (carbonization) คือกระบวนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น ทำได้ง่าย โดยการเผาที่อุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส (ปรินทร, 2551, 9) ในระหว่างกระบวนการคาร์บอไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ (ธราพงษ์, 2554, 19)

1.4.3 การกระตุ้น

การกระตุ้น (activation) คือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอน ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับสารอื่น ๆ ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (ธราพงษ์, 2554, 22)

1.4.4 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือผิวหน้า (interface) ระหว่างวัฏภาค (phase) 2 วัฏภาค เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) (ธราพงษ์, 2554, 56)

1.4.5 ตะเกียบ

ตะเกียบ (chopsticks) คือเครื่องใช้สำหรับคีบอาหาร ทำด้วยไม้หรืองา เป็นต้น ซึ่งมีลักษณะเป็นคู่ ๆ (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2552)

1.4.6 น้ำเสีย

น้ำเสีย (waste water) คือน้ำที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่าง ๆ (ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร, ม.ป.ป)

1.4.7 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid, DNA) กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid, RNA) และอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) รวมทั้งในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดิน เนื่องจากฟอสฟอรัสจะมาจากการชะล้างหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟตโดยฝนและลมให้กลายเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ ในทางเกษตรกรรมจะใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ และหากฟอสฟอรัสถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมากจะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ (เคมีการเกษตร, 2556)

1.4.8 ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง คือตะเกียบไม้ไผ่ที่ผ่านการเผาเป็นถ่านแล้วนำมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ได้เป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีดำ มีโครงสร้างลักษณะเป็นรูพรุน มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้

1.5 สมมติฐาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง ที่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

พฤศจิกายน 2556 – พฤศจิกายน 2558

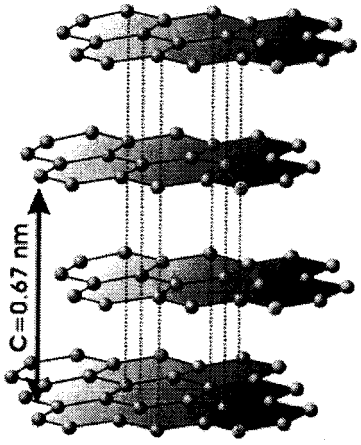
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

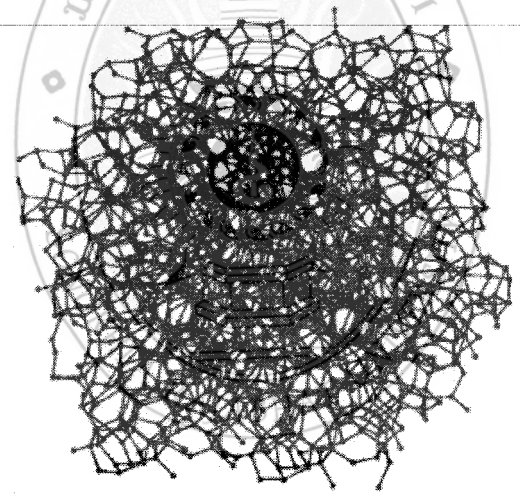
ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532: 1) ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง (ปรินทร์, 2551: 22) โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ (graphite) แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ประกอบด้วยชั้นอะตอมของคาร์บอนในรูปวงแหวนเบนซิน (benzene ring) หรือมีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม (regular hexagon) คาร์บอนอะตอมมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดหรือวาเลนท์อิเล็กตรอน (valence electron) ทั้งหมด 4 ตัว อะตอมของคาร์บอนแต่ละตัวจะสร้างพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) กับอะตอมที่อยู่ติดกัน โดยใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว และอิเล็กตรอนที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (resonance) ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรยิ่งขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงวันเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) (ภาพที่ 2.1)

ความแตกต่างของโครงสร้างผลึกระหว่างถ่านกัมมันต์และแกรไฟต์คือถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็ก ๆ ที่ไม่สมบูรณ์ มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เล็กมาก (microcrystallines) วางเรียงตัวระหว่างชั้นที่ไม่ตั้งฉากกัน (ภาพที่ 2.2) จึงเกิดช่องว่างระหว่างชั้นมากทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นน้อยกว่าโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ ผลึกเล็ก ๆ เหล่านี้จัดเรียงตัวกันทำให้เกิดรูพรุนทั่วไปบนผิวถ่านกัมมันต์ และรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับ (adsorption) สารต่าง ๆ ได้ (สิงหเดช, 2552: 5; ธราพงษ์, 2554: 62; สมร, 2554: 8)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์

ที่มา: www.desotec.com/activated-carbon/chemical-strocture-of-activated-carbon/



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นคาร์บอนอสัณฐาน

ที่มา: wwwchemicool.com/elements/carbon.html

2.2 ขนาดและปริมาตรรูพรุน

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ จะมีขั้นตอนที่ทำให้ถ่านมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียองค์ประกอบของคาร์บอนระหว่างช่องผลึก รูพรุนที่เกิดขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) มากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง รูพรุนที่เกิดขึ้นจะอยู่ลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความลึกที่ไม่เท่ากัน ไม่สามารถระบุรูปร่างของรูพรุนได้แน่นอน บางรูพรุนมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี จากลักษณะและขนาดของรูพรุน สามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด (ธราพงษ์, 2554: 67; สมร, 2554: 10) คือ

2.2.1 รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) มีรัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100 – 200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยมาก

2.2.2 รูพรุนขนาดกลาง (mesoporesortransitionalpores) มีรัศมีของรูพรุนอยู่ระหว่าง 1.5 – 100 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 20 – 100 ตารางเมตรต่อกรัม

2.2.3 รูพรุนขนาดเล็ก (micropores) มีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะมีจำนวนมาก ประมาณ 600 – 1,200 ตารางเมตรต่อกรัม หรือร้อยละ 95 ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุน

การเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เช่น ความพรุนเพิ่มขึ้นแสดงว่าพื้นที่ผิวมากและการดูดซับสูงด้วย ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบ อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น อัตราการให้ความร้อน เป็นต้น (จักรกฤษ์, 2554: 17)

2.4 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้โดยอาศัยเกณฑ์ต่าง ๆ (ธราพงษ์, 2554: 2; สมร, 2554: 13) ดังนี้

2.4.1 แบ่งตามขนาดของอนุภาค

1) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ ได้จากการอัดเป็นเส้นกลม ๆ แล้วตัดออกเป็นท่อนเท่า ๆ กันโดยผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ดซึ่งได้จากการย่อยอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ได้เพียงร้อยละ 5 โดยน้ำหนักถ่านกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powder activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร มากกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงซึ่งได้จากการลดขนาด ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการดูดซับของเหลว

2.4.2 แบ่งตามวิธีการกระตุ้น

1) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เป็นตัวกระตุ้นในการทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น และมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

2) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซไปออกซิไดซ์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ และอากาศ เป็นต้น โดยถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2.4.3 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

1) ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับก๊าซ (gas adsorbent) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซพิษ กลิ่น และไอของสารระเหย ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง (hard artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ หรือถ่านไม้ที่เผาในสภาวะความดันสูง เป็นต้น

2) ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับสี (color adsorbent) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการฟอกสีสารละลาย ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน (soft artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากหินน้ำมัน หรือถ่านจากกากน้ำตาล เป็นต้น

3) ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับโลหะ (metal adsorbent) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่านที่ใช้แยกเงิน ทอง หรือแพลตินัมจากแร่ เป็นต้น

2.4.4 แบ่งตามความหนาแน่น

1) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 กรัม/มิลลิลิตร) ใช้ประโยชน์ในการดูดซับสารที่อยู่ในสถานะสารละลาย เช่น ฟอกสีของน้ำตาลหรือทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

2) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 กรัม/มิลลิลิตร) นิยมบรรจุอยู่ในเบดนิ่ง (fixed bed) ใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือไอระเหย เป็นต้น

2.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ ได้มีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหน้าที่ของถ่านกัมมันต์จะแตกต่างกันไป (สมร, 2554: 14) เช่น

2.5.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับก๊าซและไอระเหย สามารถใช้แยกก๊าซให้บริสุทธิ์ และแยกไอระเหย ใช้แยกก๊าซเจือปนออก ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสี และใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซและไอระเหยสำหรับหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เป็นต้น

2.5.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับของเหลว สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลสำหรับฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ใช้เพื่อดูดซับกลิ่นที่ไม่ต้องการ อุตสาหกรรมแร่และโลหะใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์และประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.6 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การเผาให้เป็นถ่านหรือเรียกว่าการคาร์บอไนเซชัน และการกระตุ้น (สิงหเดช, 2552: 7; ธราพงษ์, 2554: 18; สมร, 2554: 5) ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.6.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว และถ่านหิน สามารถเริ่มการผลิตจากวัตถุดิบโดยตรงหรือวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้ว โดยการนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนนำไปคาร์บอไนเซชัน หากวัตถุดิบบางชนิดมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก สามารถนำวัตถุดิบไปผ่านคาร์บอไนเซชันก่อนแล้วจึงนำมาบดคัดขนาด

2.6.2 การเผาให้เป็นถ่านหรือคาร์บอไนเซชัน

คาร์บอไนเซชันเป็นขั้นตอนการผลิตที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกที่ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุน เป็นการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านในที่อับอากาศ อุณหภูมิในการเผาประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส ในระหว่างขั้นตอนคาร์บอไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ ได้ถ่านคาร์บอนที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของผลึกที่ไม่เป็นระเบียบ มีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึกโดยมีสารอนินทรีย์ที่มาจากการเผาไหม้อุดช่องว่างเหล่านั้นไว้ ถ่านคาร์บอนที่ได้มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในขั้นตอนแรกด้วย ขั้นตอนย่อย ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอไนเซชันประกอบด้วย

1) ขั้นตอนการสูญเสียน้ำออกจากวัตถุดิบจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 27 – 197 องศาเซลเซียส

2) ขั้นตอนการไพโรไลซิส (pyrolysis) โดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์จากการเผาไหม้ในโครงสร้างอยู่ในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 197 – 497 องศาเซลเซียส

3) ขั้นตอนที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ (char) โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมาก อยู่ในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 497 – 847 องซาเซลเซียส

เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ จะต้องมีการปรับสภาวะในขั้นตอนคาร์บอไนเซชันให้เหมาะสม ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่

1) อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซจะเพิ่มมากขึ้นการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ

2) อัตราการให้ความร้อน

การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว จะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านคาร์บอนที่ได้จากคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น

3) ตัวกลางของตัวเร่งปฏิกิริยา

ก๊าซและไอที่เกิดระหว่างคาร์บอไนเซชันจะถูกนำออกไปอย่างรวดเร็วโดยก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอนและก๊าซจากเผาไหม้เป็นต้น ถ้าก๊าซที่เป็นตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าการใช้ก๊าซไนโตรเจนแต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นสูงกว่า

4) ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะมีสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนคาร์บอไนเซชันแตกต่างกันโดยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด

2.6.3 การกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นการทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้น โดยเป็นการเพิ่มจำนวนรูพรุนเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับขึ้นมาแทน และเป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้วรวมทั้งเป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุที่เป็นสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ผิวที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active center)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบคือ

1) การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ความร้อนในการกระตุ้นไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ใช้ก๊าซเป็นตัวกลางทำให้เกิดออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นบนถ่าน ก๊าซที่นิยมใช้ เช่น ไอน้ำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน เป็นต้น

2) การกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นและทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอนโดยใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ในปัจจุบันนิยมใช้ตัวกระตุ้น ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) เป็นต้น ข้อดีของการใช้สารเคมีในการกระตุ้น คือ สารเคมีสามารถแทรกซึมไปสู่ผิวถ่านอย่างทั่วถึง ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพ ใช้เวลาสั้นกว่าและอุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งประหยัดพลังงานได้ แต่มีข้อด้อย คือ การล้างสารเคมีออกทำได้ยากและสารเคมีที่ใช้มีราคาแพง เป็นต้น

2.7 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ วัตถุดิบที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้มีหลายชนิดทั้งที่มาจากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านพีท ถ่านลิกไนต์ กะลามะพร้าว ปาล์ม และไม้ เพราะถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีรูพรุนเป็นจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูง เป็นต้น

สมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีลักษณะสำคัญคือมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงมีปริมาณสาระเหยต่ำเป็นของเหลือทิ้ง หาง่าย มีราคาถูก และมีคุณสมบัติคงที่ ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลืองทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีความสะดวกในการนำมาใช้ ราคาถูก และหาได้ง่าย แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีสมบัติไม่คงที่ไม่ว่าจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ทำให้ยากต่อการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต (ธาราพงษ์, 2554: 12)

2.8 ไม้ไผ่

ไผ่เป็นไม้พุ่มมีหลายชนิดและหลายสกุล จัดอยู่ในวงศ์หญ้า Poaceae (เดิมคือ Gramineae) วงศ์ย่อย *Bambusoideae* (วิกิพีเดีย, 2557) เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักกันดีทั่วโลก มีความเกี่ยวพันกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มาอย่างช้านาน ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีส่วนประกอบ คือ เหง้า หน่อและลำไผ่ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น

ภาพที่ 2.3 ต้นไผ่
ที่มา: http://www.herb-health.com/2013/01/blog-post_8443.html

2.8.1 ด้านระบบนิเวศวิทยา เป็นพืชปกคลุมดินรักษาหน้าดินให้อุดมสมบูรณ์ ช่วยกักเก็บน้ำบนที่สูงซึ่งเป็นต้นกำเนิดแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ ช่วยยับยั้งการพังทลายของหน้าดิน และบรรเทาอุทกภัยจากน้ำป่าไหลหลากรักษาระบบนิเวศวิทยา เป็นที่อยู่อาศัยและอาหารของพืชและสัตว์หลากหลายชนิด ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน ลดแรงปะทะจากลมพายุต่าง ๆ เป็นต้น

2.8.2 ด้านอาหารและยารักษาโรค เนื่องจากส่วนประกอบของต้นไผ่คือ หน่อ ลำอ่อน และใบเป็นอาหารหลักที่สำคัญของสัตว์ป่าหลายชนิด สำหรับมนุษย์ก็เช่นเดียวกันมีการนำหน่อไม้มาปรุงเป็นอาหารหลากหลายรูปแบบ ทำให้อาหารที่ทำจากหน่อไผ่มีหลายประเภท สร้างสีสันให้กับธุรกิจการปลูกไผ่เป็นอย่างมาก ในส่วนลำต้นของไผ่บางชนิดก็สามารถนำมาทำเป็นอาหารได้ โดยการนำมาทำเป็นเนื้อเยื่อห่อหุ้มข้าว เช่น ไผ่ข้าวหลาม เป็นต้น ส่วนสำคัญของไผ่ที่ใช้เป็นยาคือ รากและใบ นำไปตากแห้ง โดยเฉพาะส่วนยอดอ่อนปลายสุดของใบที่กำลังม้วนอยู่ จะมีรสหวาน นำไปตากแห้งแล้วชงแบบชาดื่มทุกวันจะทำให้ร่างกายแข็งแรงช่วยในการรักษาโรคไต คนเขมรเชื่อว่าน้ำมันจาก

ลำต้นไผ่สามารถรักษาโรคหอบหืดได้ ส่วนที่เป็นหน่อใช้ในการรักษาโรคหนองใน โรคไต และโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ ในประเทศฟิลิปปินส์ชาวบ้านเชื่อว่าไผ่เหลืองสามารถรักษาโรคดีซ่านและรากไผ่สามารถรักษาโรคไต แต่ขนที่ติดมาตามกาบที่ห่อหุ้มลำต้นจะเป็นพิษทำให้ระคายเคืองเป็นต้น

2.8.3 ด้านประโยชน์ใช้สอยและทางด้านเชิงพาณิชย์ สามารถนำเอาลำต้นมาทำเป็นที่พักอาศัย ทำรั้ว ทำรางรองน้ำฝนหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของบ้านเป็นต้น ทำเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ทำของตกแต่งบ้าน ทำของที่ระลึกตามแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ด้วยรูปแบบตามวัฒนธรรมท้องถิ่น นำเอาลำต้นมาเป็นเครื่องมือทางการเกษตร และทำอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการค้า นำไปทำเป็นอุปกรณ์ดักจับสัตว์ ทำอุปกรณ์ใช้ในครัวเรือน ประดิษฐ์เป็นเครื่องดนตรี เป็นต้น

2.8.4 ด้านงานประเพณี พิธีกรรมหรือความเชื่อ ไม้ไผ่กับงานประเพณีและพิธีกรรมต่าง ๆ นั้น มีความสัมพันธ์กันมาช้านาน เช่น งานบุญบั้งไฟที่เอาไม้ไผ่มาทำหางบั้งไฟ การทำต้นดอกผึ้งในงานประเพณีแห่เทียนเข้าพรรษา เป็นต้น (buarinbudtao, 2553)

2.9 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid, DNA) กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid, RNA) และอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) รวมทั้งในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดินเพราะจะได้ฟอสฟอรัสจากการชะล้างหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟตโดยฝนและลมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ซึ่งพืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ ในทางเกษตรกรรมจะใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ หากฟอสฟอรัสถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมากจะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ (เคมีการเกษตร, 2556)

2.9.1 ประเภทของฟอสฟอรัส

สารประกอบของฟอสฟอรัสในน้ำสามารถพบได้ในรูปแบบต่างๆ (เพ็ญ, 2543) ดังนี้

1) ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate, PO^{-3}_4) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำ ออร์โธฟอสเฟตมาจากอุตสาหกรรม ผงซักฟอกและอื่น ๆ เช่น นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียชนิดนั้น ด้วยออร์โธฟอสเฟตที่พบมากได้แก่ ไตรโซเดียมฟอสเฟต (trisodium phosphate, Na_3PO_4)

ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate, Na_2HPO_4) โมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate, NaH_2PO_4) หรือไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diamonium phosphate, $(NH_4)_2HPO_4$) เป็นต้น

2) พอลิฟอสเฟต (polyphosphate,P_2O_7) เมื่อแตกตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นออร์โธฟอสเฟตพอลิฟอสเฟตที่พบได้แก่ โซเดียมเฮกซะเมตะฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate, $Na_3(PO_4)_6$) โซเดียมไตรพอลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate, $Na_5P_3O_{10}$) เตตระโซเดียม ไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate, $Na_5P_2O_7$) เป็นต้น

3) อินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) เป็นสารประกอบที่สำคัญรองจากสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนและเป็นสารประกอบที่สำคัญของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในระบบน้ำเสียทั่ว ๆ ไปหรือการทำให้น้ำในแม่น้ำสะอาดขึ้นตามธรรมชาติ พบมากได้แก่ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เป็นต้น

2.9.2 แหล่งกำเนิดของฟอสฟอรัส

แหล่งกำเนิดของฟอสฟอรัสมาจากทั้งแหล่งกำเนิดที่ทราบที่มาที่แน่นอน เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีการใช้ฟอสฟอรัส เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตผงซักฟอกและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร น้ำเสียจากชุมชน เกิดจากฟอสเฟตที่มาจากเศษอาหารหรือน้ำอุปโภคบริโภคและผงซักฟอกในการซักล้างหรือทำความสะอาด และฟอสฟอรัสที่ไม่ทราบแหล่งที่มาที่แน่นอน เช่น น้ำเสียจากการกสิกรรม เกิดจากปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการเกษตรถูกน้ำชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสียจากการปศุสัตว์ เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ในรูปฟอสฟอรัส เช่น เป็ด วัว ไก่ สุกร เป็นต้น (เพ็ญ, 2543)

2.9.3 ผลกระทบของฟอสฟอรัส

ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน เป็นปรากฏการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำสูงขึ้น ทำให้พืชบางประเภท เช่น สาหร่ายและวัชพืชในน้ำเจริญมากกว่าปกติ มีพืชปกคลุมทั่วบริเวณผิวหน้าของน้ำออกซิเจนในน้ำลดลง แสงส่องลงไปไม่ถึงข้างล่างทำให้พืชบางชนิดเติบโตไม่ได้ทำให้น้ำเน่าเสีย ส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อชุมชนริมน้ำและระบบนิเวศ (เพ็ญ, 2543)

2.9.4 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส

กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้ 3 วิธี (เพ็ญ, 2543) ดังนี้

1) การกำจัดฟอสฟอรัสทางเคมี เป็นกระบวนเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารละลายให้อยู่ในรูปของตะกอน โดยการเติมสารเคมีที่เป็นตัวก่อตะกอนลงไปในน้ำเสีย การตกตะกอนขึ้นอยู่กับความสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายในน้ำของสารนั้น ๆ สารก่อตะกอนที่ใช้ เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมอลูมิเนต เฟอริคคลอไรด์ และปูนขาว เป็นต้น

2) การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ อาศัยหลักการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่อาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบที่ให้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารประกอบที่ให้พลังงานดำรงชีวิต สารอนินทรีย์ และสารที่ต้องการเพียงเล็กน้อย มีขั้นตอนเริ่มจากจุลินทรีย์ในสภาพที่เป็นแอนแอโรบิก (anaerbic) แล้วตามด้วยสภาพที่เป็นแอโรบิก (aerobic) และปล่อยให้จุลินทรีย์ตกตะกอน ทำให้ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยการระบายตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบออกจากระบบ

3) การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพ จะใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) โดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) เป็นตัวดูดซับฟอสเฟตเอาไว้ สารดูดซับที่ใช้ เช่น activated alumina

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ขณะที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับจะไปยึดเกาะอยู่บนผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลของสารจะเกาะอยู่ในช่องว่างหรือบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ประสิทธิภาพของการดูดซับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ (วิภารัตน์, 2557; นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

2.10.1 พื้นที่ผิว ขนาดและโครงสร้างของรูพรุนของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนรูพรุน หากตัวดูดซับมีรูพรุนมากจะทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ส่งผลให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับมาก การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับเล็กน้อย เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและสารที่ต้องการดูดซับมาก หากตัวดูดซับมีรูพรุนมากแต่รูพรุนมีขนาดเล็กจะทำให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยนอกจากนี้ ขนาดของตัวดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับ นั่นคือ อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ (ปรินทร, 2551)

2.10.2 สมบัติของสารที่ต้องการดูดซับ

1) ความสามารถในการละลาย

สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ หากไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถดูดซับได้ โดยทั่วไปหากความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อจำนวนอะตอมและพันธะของคาร์บอนในสายโซ่โมเลกุลยาวขึ้น

2) น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล

ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลงและโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (branched chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง (straight chain)

2.10.3 ค่าพีเอช (pH)

การดูดซับจะขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวตัวดูดซับ เช่น หากพีเอชลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (hydronium ion, H_3O^+) ที่พื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้การดูดซับไอออนลบเกิดขึ้นได้มาก

2.10.4 อุณหภูมิ

การดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยไม่มีผลกระทบมากนักต่อการดูดซับ

2.10.5 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการเคลื่อนของโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับ (mass transfer) ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ในระบบที่ของเหลวมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มของของเหลวที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนาแน่นมาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ในทางกลับกันถ้าความปั่นป่วนของของเหลวในระบบมีสูง ความหนาแน่นชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว

2.11 ไอโซเทอมของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ต้องการดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับและความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใด ๆ ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับไอโซเทอมที่นิยมใช้กันได้แก่ ไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) และไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich)

2.11.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ใช้สำหรับดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) แต่โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน และในแต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้กัน

ข้อดีของการใช้สมการแลงเมียร์ อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ คือ สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่าย ๆ แบบจำลองพื้นฐานทางฟิสิกส์ และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อน ๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังสมการ (2.1)

$$q_e = \frac{q_0 K_L C_e}{1+K_L C_e} \qquad (2.1)$$

เมื่อ q_e หมายถึง จำนวนสารที่ดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_o หมายถึง การดูซับสูงสุดที่เกิดขึ้นแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e หมายถึง ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารที่จะดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_L หมายถึง ค่าคงที่ของแลงเมียร์

แบบจำลองไอโซเทอมจากสมการ (2.1) สามารถจัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรงของการดูดซับแบบแลงเมียร์ โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ (2.2) หรือ (2.3) ตามลำดับ ดังนี้

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0} \qquad (2.2)$$

และ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0}\frac{1}{C_e} \qquad (2.3)$$

เมื่อนำข้อมูลจากสมการ (2.3) มาเขียนกราฟระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ $1/K_L q_o$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $1/q_o$

กรณีใช้สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ควรคำนวณหาปัจจัยของการแยก หรือค่าตัวแปรที่สภาวะสมดุล (separation factor or equilibrium parameter, R_L) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ระบุรูปร่างของไอโซเทอมว่าสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับการดูดซับ ปัจจัยของการแยกคำนวณได้จากสมการ (2.4)

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \qquad (2.4)$$

เมื่อ C_0 หมายถึง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่จะดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลที่ได้จากการคำนวณสามารถแปรความหมายโดยใช้ตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การแปรความหมายของผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการไอโซเทอม

R_L	Type of isotherm
$R_L > 1$	Unfavorable
$R_L = 1$	Linear
$0 < R_L < 1$	Favorable
$R_L = 0$	Irriversible

2.11.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช ใช้สำหรับการดูดซับบนพื้นที่ผิวไม่สม่ำเสมอ (rough surface) โดยแต่ละพื้นที่ผิวที่เกิดการดูดซับจะให้ค่าความร้อนของการดูดซับออกมาไม่คงที่ และมีการรวมพื้นผิวที่ให้ค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันเข้าด้วยกัน ข้อเสียของสมการฟรุนดิช คือ ใช้อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวที่ความดันสูง ๆ ได้ไม่ดี สมการการดูดซับแบบฟรุนดิชเขียนได้ดังสมการ (2.5)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \qquad (2.5)$$

เมื่อ K_F หมายถึง ค่าคงที่ของฟรุนดิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (ลิตรต่อกรัม)

N หมายถึง ค่าคงที่ของฟรุนดิชที่อธิบายถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

สมการ (2.5) สามารถจัดรูปให้อยู่ในลักษณะของสมการเส้นตรง ดังสมการ(2.6)

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \qquad (2.6)$$

สมการ (2.6) เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่าง log q_e กับ log C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1/n และมีจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ log K_F และสามารถอธิบายได้ว่า

1) ถ้าค่า 1/n =1 หมายถึง ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

2) ถ้าค่า 1/n > 1 หมายถึง บริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ

3) ถ้าค่า 1/n < 1 หมายถึง ปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ (นิพนธ์ และคณิต, 2550)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุสรณ์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการนำกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาแล้วมาคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 – 700 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาณและศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีของสารละลาย 3 ชนิดคือ ไอโอดีน เมทธีลีนบลู และเมธิลออเรนจ์ โดยการนำถ่านกัมมันต์แช่ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ในเวลาที่ต่างกัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) โดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Visible spectrophotometry) และเปรียบเทียบการดูดซับสีกับถ่านธรรมดา พบว่า

ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.76 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.56 ความหนาแน่นเชิงปริมาณร้อยละ 0.6533 และดูดซับสีได้ดีในชนิดผงและจะดูดซับไอโอดีนดีที่สุด รองลงมาคือเมทธีลีนบลูและเมธิลออเรนจ์ ตามลำดับ

สุพรรณ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์โดยศึกษา อัตราส่วนโดยมวลของซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านไม้ไผ่และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ โดยการหาค่าการดูดซับไอโอดีนค่าปริมาณความชื้น ไอโซเทอร์มการดูดซับเมทธิลีนบลูสเปคตรัมของถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบกับสเปคตรัมของถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวด้วยเมทธิลีนบลู และประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายตะกั่ว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่โดยวิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์คือ อัตราส่วนโดยมวลของซิงค์คลอไรด์และถ่านไม้ไผ่มีค่าเท่ากับ 1 : 1 และอุณหภูมิในการกระตุ้นคือ 900 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 857.86 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีความชื้นร้อยละ 0.100 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์มีไอโซเทอมของการดูดซับเมทธีลีนบลูเป็นไอโซเทอมชนิด (H) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 26.27 ตารางเมตรต่อกรัม การดูดซับเมทธีลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับทางกายภาพ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายตะกั่วร้อยละ 51.33 หรือเท่ากับ 1.68 มิลลิกรัมต่อกรัม

วรรณรัก นพเจริญกุล (2548) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม โดยคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที และเปรียบเทียบสมบัติของถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันระหว่างการกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้กระตุ้น พบว่าการกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร อัตราส่วนระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และถ่านจากก้านทะลายปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1 : 1 และใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรเท่ากับ 0.346 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1,308 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทธีลีนบลูเท่ากับ 248 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดทางการค้า ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีจากก้านทะลายปาล์มน้ำมันได้

ปรินทร เต็มญารศิลป์ (2551) ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋ อายุ 1 – 3 ปี จากบริเวณจังหวัดกาญจนบุรี โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดไนตริก พบว่า สมบัติของถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับพันธุ์และชนิดของไผ่ ชนิดของสารกระตุ้น และสภาวะในการกระตุ้น จากนั้นได้ศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลูและการดูดซับไอโอดีน พบว่าอุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันของไผ่ตงและไผ่หมาจู๋เท่ากับ 450 องศาเซลเซียส ไผ่ตงอายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนระหว่างถ่านและกรดฟอสฟอริก 1 : 4 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 615.84 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดสารละลายสีเมทธิลีนบลูได้ 8.47 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนไผ่หมาจู๋อายุ 3 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนระหว่างถ่านและกรดฟอสฟอริก 1 : 4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 277.24 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดสารละลายสีเมทิลีนบลูได้ 8.47 มิลลิกรัมต่อกรัม

ไชยยันต์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำจากนั้นทดสอบพื้นที่ผิวของถ่านเปลือกเมล็ดยางพาราโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas sorption analyzer เมื่อคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ถ่านเปลือกเมล็ดยางพารามีพื้นที่ผิวสูงสุด เท่ากับ 426.0 ตารางเมตรต่อกรัม แต่เมื่อคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิต (yield) ที่ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.98 และเมื่อคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงสุด เท่ากับ 633.1 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยของอยู่ในช่วงเมโซพอร์โดยมีค่าระหว่าง 2.3 – 2.9 นาโนเมตร

พีระพงษ์ เนียมเสวก (2552) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดโดยคาร์บอไนเซชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิเท่ากับ 400 – 600 องศาเซลเซียส พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยไอน้ำความร้อนสูงที่มีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 6.48 ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วยไอน้ำความร้อนสูงที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 0.458 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณเถ้ามีค่าต่ำสุดมีเท่ากับร้อยละ 11.61 และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 917.44 มิลลิกรัมต่อกรัม

สิงหเดช แตงจวง (2552) ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน เมื่อกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1 : 1 และกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 20 – 150 นาที มีค่าพื้นที่ผิว BET เพิ่มขึ้นจาก 222 เป็น 627 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และถ่านกัมมันต์เท่ากับ 4 : 1 และใช้เวลาการกระตุ้นเท่ากันมีค่าพื้นที่ผิว BET เพิ่มขึ้นจาก 682 เป็น 1,120 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าพื้นที่ผิวที่สูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงที่มีขายในเชิงพานิชย์ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นยังสามารถนำมาดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท แคดเมียม และโครเมียมได้อีกด้วย ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมะพานต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย เช่น เป็นวัสดุกักเก็บก๊าซ เป็นวัสดุในการดูดซับโลหะหนักเพื่อบำบัดน้ำเสีย หรือทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

สุนิดา เถาว์โท (2554) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลด้วยถ่านกัมมันต์โดยทำการทดลองแบบแบทช์ (batch) และศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาปั่นกวน ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสังกะสีและนิกเกิล โดยพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์หนัก 3 กรัม ดูดซับสารละลายมาตรฐานซิงค์ซัลเฟต (zinc sulphate, $ZnSO_4$) และนิกเกิลซัลเฟต (nickel sulphate, $NiSO_4$) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการปั่นกวน 30 นาที พีเอชเท่ากับ 7 และ 5 ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลได้เฉลี่ยร้อยละ 86.46 และ 82.18 ตามลำดับ

สมร หิรัญประดิษฐกุล (2554) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเศษเปลือกเมล็ดสบู่ดำด้วยวิธีการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอไนเซชันภายใต้ก๊าซไนโตรเจนและผ่านการกระตุ้นผสมทางเคมีและกายภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกระตุ้นต่อเนื่องด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 600 – 900 องศาเซลเซียส พบว่าเศษเปลือกสบู่ดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีปริมาณคาร์บอนคงที่ร้อยละ 17.29 ปริมาณความชื้นร้อยละ 12.07 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 76.16 และปริมาณเถ้าร้อยละ 6.55 และเมื่อนำไปสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์ปริมาณสารระเหยจะลดลงแต่ปริมาณคาร์บอนคงที่จะเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ ถูกเผยแพร่มากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ โดยคาดว่าอาจมีความเหมาะสมในการนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และสามารถนำไปใช้ในการดูดซับสารมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และลดปริมาณขยะอีกด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 เตรียมวัตถุดิบและผลิตถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี

3.1.2 ศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547

3.1.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น
1. เครื่องชั่ง (balance) ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Mettler Toledo / al204
2. ตู้อบ (oven)	Memmert / UFE 500
3. เตาเผา (muffle furnace)	Carboliter / wf1100
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)	Hettich / Universal 32
5. ตู้ดูดความชื้น (desicator chamber)	Bossmen / BK 98 (A)
6. กระดาษกรองเบอร์ 42	Whatman / No.42
7. เครื่องเขย่า (orbital shaker)	N-Biotek/NB-101S
8. เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (hotplate stirrer)	IKA / C-MAG HS 7
9. เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV- Visible spectrophotometer)	PG Istruments / T80+
10. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)	Mettler Toledo / SG2-FK SevenGo pH
11. เครื่องแก้วชนิดต่าง ๆ	-
12. ตะแกรงร่อนขนาด 106 ไมโครเมตร	-
13. กระดาษลิตมัส	-

ว
662.93
ท118ร

ตารางที่ 3.2 สารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด
1. แอมโมเนียมโมลิบเดต	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}•4H_2O$	AR
2. กรดแอสคอบิค	$C_6H_8O_6$	AR
3. กรดไฮโดรคลอริก	HCl	AR
4. ไอโอดีน	I_2	AR
5. กรดฟอสฟอริก	H_3PO_4	AR
6. โพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรต	$K(SbO)C_4H_4O_6•1/2H_2O$	AR
7. โพแทสเซียมไอโอไดด์	KI	AR
8. โพแทสเซียมไอโอเดต	KIO_3	AR
9. โพแทสเซียมฟอตเฟต	anhydrous KH_2PO_4	AR
10. โซเดียมซัลเฟต	Na_2SO_3	AR
11. โซเดียมไธโอซัลเฟต	$Na_2S_2O_3•5H_2O$	AR
12. น้ำแป้ง	iodometric indicator	AR
13. กรดซัลฟุริค	H_2SO_4	AR

3.3 สถานที่ทำวิจัย

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

เตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งคือตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช่แล้วทิ้งจากร้านกระทะร้อน ตะเกียบที่ได้จะถูกนำมาล้างทำความสะอาด อบแห้ง คัดขนาด แล้วนำไปสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.4.1 การเผาถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งจะใช้วิธีแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน (พุฒินันท์, 2548: 20) ซึ่งมีขั้นตอนการเผาต่อไปนี้

1) การเตรียมเตา 200 ลิตร กว้าง 2.40 เมตร ยาว 2.40 เมตร

2) นำตะเกียบไม้ไผ่ใส่ลงไปในเตาเผาจนเกือบเต็มเตา จากนั้นปิดฝาแล้วเอาทรายกลบให้มิดฝาของเตา

3) การไล่ความชื้น (dehydration) ใช้ความร้อนจากภายนอกเพื่อให้ไม้ฟืนเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) สะสมไว้ให้ได้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ในขั้นต่อไปจะใช้ อุณหภูมิ 20 – 270 องศาเซลเซียส โดยการให้ความร้อนทางอ้อม จะจุดเชื้อเพลิงหน้าเตาและนำเพียงลมร้อนเข้าไปไล่ความชื้นออกจากไม้ฟืนในเตา หากไม้ฟืนในเตามีความชื้นมากต้องให้เชื้อเพลิงและเวลามากขึ้นด้วย

ขั้นตอนการไล่ความชื้นแบ่งออกเป็น 2 ช่วง

3.1) ช่วงที่ 1 อุณหภูมิระหว่าง 20 – 180 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มจุดฟืนหน้าเตา อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 180 องศาเซลเซียสช่วงนี้ไม้จะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องระหว่างเซลล์ (free water) และน้ำอยู่ในผนังเซลล์ (bound water) เท่านั้น จะไม่มีน้ำที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างเจือปนออกมาเลย ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนและจะมีแต่ไอน้ำเท่านั้น

3.2) ช่วงที่ 2 อุณหภูมิระหว่าง 180 – 270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (hemicellullose) จะเริ่มสลายตัวออกมา และจะสลายตัวจนหมดที่ อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ควรรักษาอุณหภูมินี้ไว้นานพอสมควร เพื่อให้ไม้ฟืนได้สะสมความร้อนได้ใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา ควันที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีเหลืองจาง ๆ เจือปนอยู่ด้วย และจะมีแก๊สคาร์บอนมอนน็อกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดน้ำส้ม (acitic acid) และเมธานอล (methanol) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

4) การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน หรือ คาร์บอไนเซชั่นใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 270 – 400 องศาเซลเซียสขั้นตอนนี้แบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ

4.1) ช่วงที่ 1 อุณหภูมิระหว่าง 270 – 300 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ไม้ในเตาสะสมความร้อนไว้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน โดยไม่ต้องเติมฟืนหน้าเตาอีก ไม้ฟืนจะลุกไหม้และสลายตัวโดยความร้อนที่สะสมไว้ในตัวเองเซลลูโลส (cellulose) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส การสลายตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็วควันที่ออกมาจากปล่องจะมีสีขาวปนเหลืองมีกลิ่นฉุนจัด เรียกควันนี้ว่า ควันบ้า หลังจากควันบ้ามีปริมาณน้อยลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเทาแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิไว้ให้คงที่เป็นเวลานานพอสมควร เพื่อให้ขั้นตอนนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ความร้อนจากไม้ด้านบนหน้าเตาจะค่อย ๆ ถ่ายความร้อนไปยังจุดต่าง ๆ ทั่วทั้งเตาอย่างช้า ๆ หากปล่อยให้อุณหภูมิขึ้นสูงเร็วเกินไป จะทำให้ไม้ที่สะสมความร้อนไว้มากกว่ากลายเป็นเถ้าเสียก่อนที่จะถ่ายความร้อนไปยังไม้ที่สะสมความร้อนไว้น้อยกว่า และอาจมีเปลวไฟแลบออกทางหน้าเตาได้ หากเกิดกรณีดังกล่าวไม้ส่วนบนของเตาจะกลายเป็นขี้เถ้า และไม้ส่วนล่างของเตาจะกลายเป็นถ่าน ทำให้ผลผลิตต่ำ การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการควบคุมอากาศที่หน้าเตาควบคู่กับการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermometer) แต่การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์อย่าง

เดียวอาจผิดพลาดได้ โดยเฉพาะเมื่อมีการเติมฟืนหน้าเตามากและเร็วเกินไป ดังนั้นการดูสีควันและนำกระเบื้องเคลือบสีขาวมาอังที่ปล่องควัน เพื่อดูสีของควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องเคลือบเป็นการตรวจสอบซ้ำการวัดอุณหภูมิ แสดงดัง ตารางที่ 3.3

4.2) ช่วงที่2 อุณหภูมิระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เซลลูโลสยังสลายตัวอย่างต่อเนื่อง และลิกนิน (lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส การสลายตัวทั้งหมดจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน ควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่เกิดใหม่มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (pyrolysis) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

5) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) ถึงแม้ว่าขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงไม้เป็นถ่าน จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) ต่ำและยังคงมีน้ำมันดิบ (tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมากหากนำไปใช้ประโยชน์จะได้ถ่านคุณภาพต่ำ และถ้านำไปประกอบอาหารปิ้ง-ย่าง (โดยปกติเตาหุงต้มจะมีอุณหภูมิประมาณ 500 – 600 องศาเซลเซียส) จะทำให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น โดยการปรับให้อากาศไหลเข้ามากขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จาก 400 เป็น 500 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของเตาจะสูงกว่าอุณหภูมิที่พื้นเตาโดยสูงถึง 500 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ให้น้ำมันดิบออกไปจากถ่าน อุณหภูมิด้านบนของเตาที่สูงถึง 700 องศาเซลเซียส ในเวลาที่เร็วเกินไป จะทำให้ไม้ด้านบนกลายเป็นเถ้าเสียก่อน ดังนั้นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิด้วยความระมัดระวังอย่างยิ่ง ในทางปฏิบัติเมื่ออุณหภูมิด้านบนของเตาสูงถึง 700 องศาเซลเซียส (อาจสังเกตได้จากสีของควันที่เริ่มใส)จากนั้นปิดช่องอากาศเข้า แล้วรอให้ความร้อนถ่ายเทจากด้านบนลงมาที่พื้นเตาอุณหภูมิในเตาจะใกล้เคียงกันทุกจุดประมาณ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งในขณะนั้นจะไม่มีควันเหลืออยู่อีกแล้วจึงปิดปล่องควัน

6) การทำให้เย็น (cooling) หลังจากปิดปล่องเตาทุกปล่องแล้ว ต้องปล่อยไว้ให้เตาเย็นจึงนำถ่านไม้ออกมาใช้งานได้ ก่อนจะเปิดเตาต้องให้อุณหภูมิในเตาต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เพราะถ่านไม้อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส สามารถลุกติดไฟเองได้ (spontaneous combustion) ถ้าได้รับแก๊สออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้นการเปิดเตาต้องเริ่มเปิดที่ปล่องควันก่อนเพื่อระบายความร้อนและแก๊สที่ยังคงค้างอยู่ในเตาให้หมด หลังจากนั้นจึงเปิดหน้าเตา กระบวนการผลิตถ่านทุกขั้นตอน จะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นของไม้ฟืน การควบคุมอุณหภูมิ และขนาดของเตา หากเตามีขนาดใหญ่มากกระบวนการทุกขั้นตอนก็ใช้เวลามากด้วย

ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนสภาพจากไม้เป็นถ่าน (พุฒินันท์, 2548: 20)

สีของควัน	สีของควันที่กลั่นตัวติดกระเบื้องเคลือบ	อุณหภูมิที่ปล่องควัน (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายในเตา (วัดที่ระยะ 10เซนติเมตรต่ำจากเพดานเตา) (องศาเซลเซียส)	หมายเหตุ
ขาวปนเหลืองอ่อน (ควันบ้า)	หยดน้ำใส	80 – 82	320 – 350	เริ่มขั้นตอนเปลี่ยนเป็นถ่าน
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีน้ำตาล	82 – 85	350 – 380	เริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้
น้ำตาลปนเทา	ของเหลวสีชา	90 – 100	380 – 400	น้ำส้มควันไม้
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาลเป็นเส้นเล็ก ๆ	100 – 150	400 – 430	มีสีเข้มและมีความหนืดมากขึ้น
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาลเป็นเส้นใหญ่	150 – 170	430 – 450	หยุดเก็บน้ำส้มควันไม้
น้ำตาลปนขาว	ของเหลวสีน้ำตาล	150 – 230	450 - 500	ขั้นตอน
น้ำเงินอ่อนปนขาว	เป็นจุด	230 – 250	500 – 530	เปลี่ยนเป็นถ่าน
น้ำเงินปนขาว		260 – 300	540 – 570	เสร็จสมบูรณ์
ม่วงน้ำเงิน	จุดสีเทาไม่มีความชื้น	330 – 350	600 – 650	เริ่มขั้นตอนทำให้ถ่านบริสุทธิ์
ควันใส	สีเทาไม่มีจุด		700 – 800	ปิดเตา

3.4.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมากระตุ้นทางเคมีให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมาผสมกับกรดฟอสฟอริกโดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของถ่านต่อปริมาตรของกรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1:3 โดยใช้ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก เวลา และอุณหภูมิ ในการกระตุ้น แสดงดังตารางที่ 3.4

2) ชั่งถ่านหนัก 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

3) เติมกรดฟอสฟอริกปริมาตร45 มิลลิลิตร กระตุ้นตามเวลาและอุณหภูมิ ตามตารางที่ 3.4

4) นำถ่านไปเข้ากระบวนการไพโรไลซิสในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็น

5) ล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้อย่างต่อเนื่องด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าเป็นกลาง

6) อบถ่านกัมมันต์ที่ได้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

จากนั้นนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มาศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547 ได้แก่ ความชื้น (moisture) และค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 3.4 สภาวะการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของกรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 3

สภาวะที่	ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%v/v)	อุณหภูมิในการกระตุ้น (องศาเซลเซียส)	เวลาในการกระตุ้น (นาที)
1		ห้อง	30
2		ห้อง	60
3	40%v/v	ห้อง	120
4		60	30
5		60	60
6		60	120
7		ห้อง	30
8		ห้อง	60
9	50%v/v	ห้อง	120
10		60	30
11		60	60
12		60	120

ตารางที่ 3.4 สภาวะการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของกรดฟอสฟอริก เท่ากับ 1 : 3 (ต่อ)

สภาวะที่	ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%v/v)	อุณหภูมิในการกระตุ้น (องศาเซลเซียส)	เวลาในการกระตุ้น (นาที)
13		ห้อง	30
14		ห้อง	60
15	60%v/v	ห้อง	120
16		60	30
17		60	60
18		60	120
19		ห้อง	30
20		ห้อง	60
21	70%v/v	ห้อง	120
22		60	30
23		60	60
24		60	120

3.4.3 การศึกษาความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

ศึกษาความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยนำถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาความชื้นตามวิธีมาตรฐาน (official method) ที่กำหนดโดยองค์กร American Society Testing and Materials หรือ ASTM International ด้วยวิธี ASTM D2867 – 99 ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

1) อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 0.5000 กรัม ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในถ้วยกระเบื้อง นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละความชื้น

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(A-B)}{W} \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักถ่านก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักถ่านหลังอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักถ่าน (กรัม)

จากนั้นพลอตกราฟแสดงค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ และเลือกสภาวะในการกระตุ้นที่เหมาะสมนำมาศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนต่อไป

3.4.4 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่มีค่าร้อยละความชื้นน้อย (จากข้อ 3.4.3) มาศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กร ASTM International ด้วยวิธี ASTM D4607 – 94 ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

1) การเตรียมสารละลาย

1.1) สารละลายกรดไฮโรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (5%v/v HCl) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ปริมาตร 67.7 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ500 มิลลิลิตร

1.2) สารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอล (0.100 N I_2) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งไอโอดีน หนัก 12.70 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากัน ละลายให้เข้ากันด้วยน้ำกลั่นจนไอโอดีนละลายหมดปรับด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงเก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวดสีชา

1.3) สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอล (0.100N $Na_2S_2O_3$) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต หนัก 24.82 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือด ปริมาตร 75 ± 25 มิลลิลิตร คนให้สารละลาย (เติมโซเดียมคาร์บอเนต หนักประมาณ 0.10 กรัม เพื่อป้องกัน

การสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟต เนื่องจากแบคทีเรีย) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงเก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวดสีชา และเก็บไว้อย่างน้อย 4 วันก่อนนำมาใช้

1.4) สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.100 นอร์มอล (0.100 N KIO_3) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

อบโพแทสเซียมไอโอเดตที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตหนัก 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวดสีชา

1.5) สารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้งหนัก 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา จากนั้นเทลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีก 4 – 5 นาที หรือจนใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บสารละลายที่เตรียมได้ใส่ขวด (น้ำแป้งควรทำใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง)

2) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

2.1) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

- ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0 กรัม ลงไปแล้วเขย่าให้ละลาย
- เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น conc. HCl ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปกรวยเขย่าให้เข้ากัน
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน
- เติมน้ำแป้งลงไป 2 – 3 หยด จากนั้นไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี (ไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง)
- คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไธโอซัลเฟต (N_1) ได้จากสมการ (3.2)

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S} \qquad (3.2)$$

เมื่อ N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P_1 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

2.2) การหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

- ปิเปตสารละลายไอโอดีนปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน
- เติมน้ำแป้ง 2 – 3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี (ไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง)
- คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน (N_2) ได้จากสมการ (3.3)

$$N_2 = \frac{S \times N_1}{I} \qquad (3.3)$$

เมื่อ N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

I คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

3) การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

3.1) อบถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

3.2) ชั่งถ่านกัมมันต์ หนัก 0.500 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านกัมมันต์ให้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

3.3) เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา เขย่าให้เข้ากัน เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วน

ชุ่มด้วยสารละลาย เปิดปากขวดต้มในตู้ดูดควันให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง

3.4) เติมสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดจุกอย่างรวดเร็วแล้วเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที

3.5) กรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จากนั้นปิเปตสารละลายมา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย

3.6) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน

3.7) เติมน้ำแป้งลงไป 2 – 3 หยด จากนั้นไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

3.8) ทำการทดลองซ้ำ โดยเพิ่มน้ำหนักถ่านกัมมันต์ครั้งละ 0.5000 กรัม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$C = \frac{N_1 \times S}{F} \qquad (3.4)$$

เมื่อ N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

F คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

C คือ คำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

จากนั้นคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (X/M) ได้จากสมการ (3.5)

$$X/M = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \qquad (3.5)$$

เมื่อ X/M คือ ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัม/กรัม)

DF คือ ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง (dilution factor) คำนวณได้จากสมการ (3.6)

$$DF = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนเริ่มต้น + ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก}}{\text{ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้}} \quad (3.6)$$

A คือ น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้น ($N_2 \times 12693.0$) (มิลลิกรัม)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

B คือ น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 มิลลิลิตร ($N_1 \times 126.39$) (มิลลิกรัม)

M คือ น้ำหนักของถ่านที่ใช้ (กรัม)

จากนั้นพลอตกราฟแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ และเลือกสภาวะในการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547 มาศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายฟอสเฟตต่อไป

3.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกจากสภาวะต่าง ๆ ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 900 – 2547 โดยการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับจะใช้วิธีเทียบสีและใช้กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid method) (มั่นสิน และ มั่นรักษ์, 2551: 21/8-21/12) ซึ่งมีหลักการในการตรวจวัดคือ แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate) และโพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรต (potassium antimonyltartate) จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตในสภาวะที่เป็นกรดเกิดเป็นกรดฟอสฟอโมลิบดิก (phosphomolybdic acid) และถูกรีดิวส์ด้วยกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ได้สีโมลิบดีนัมบลู (molybdenum blue)

1) การเตรียมสารละลาย

1.1) สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 5 นอร์แมล (5 N H_2SO_4)

เตรียมโดยเจือจางกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปล่อยทิ้งไว้ในเย็น จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.2) สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรต (potassium antimonyl tartrate solution)

เตรียมโดยละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ หนัก 1.3715 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 500 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร เก็บไว้ในขวดแก้ว

1.3) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate solution)

เตรียมโดยละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}•4H_2O$ หนัก 20 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.4) สารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (0.1 M ascorbic acid)

เตรียมโดยละลายกรดแอสคอร์บิก หนัก 1.76 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 สัปดาห์ ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.5) น้ำยารวม (combined reagent)

ผสมสารละลายข้างต้น ในสัดส่วนสำหรับเตรียมน้ำยารวม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ดังนี้

- กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 5 นอร์แมล	50	มิลลิลิตร
- สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรต	5	มิลลิลิตร
- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต	15	มิลลิลิตร
- สารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์	30	มิลลิลิตร

ก่อนผสมต้องปล่อยให้สารละลายแต่ละชนิดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องเสียก่อน จากนั้นนำมาผสม โดยผสมให้เข้ากันทุกครั้งเมื่อเติมส่วนผสมแต่ละชนิด (ให้เติมเรียงลำดับ) ถ้าน้ำยารวมมีความขุ่นเกิดขึ้นหลังจากเติมสารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนิลทาเทรต หรือสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ให้เขย่าน้ำยารวมแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 – 3 นาที จนกระทั่งความขุ่นหายไป จึงจะเติมสารละลายชนิดอื่นต่อไป น้ำยารวมนี้มีความเสถียรเพียง 4 ชั่วโมง หลังจากเตรียม

1.6) สารละลายสต๊อกฟอสเฟต (stock phosphate)

เตรียมโดยละลาย anhydrous KH_2PO_4 หนัก 0.2195 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 50.0 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส (µg P)

1.7) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (phosphate standard solution)

เตรียมโดยเจือจางสารละลายสต๊อกฟอสเฟต ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.5 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส

1.8) สารละลายอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 0.5 กรัม/100 มิลลิลิตร

เตรียมโดยละลายฟีนอล์ฟทาลีน หนัก 0.5 กรัม ด้วย 60% เอทธานอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2) การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับ

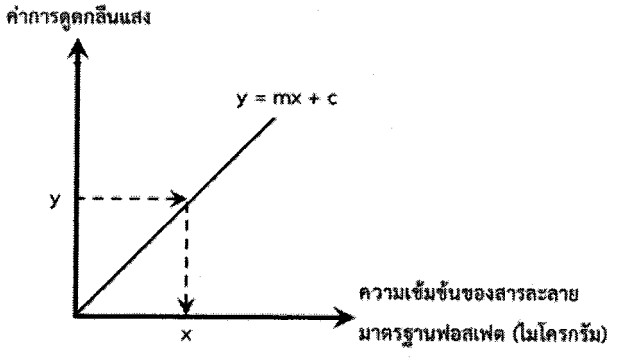
2.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัม โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (1.00 มิลลิลิตร เท่ากับ 2.5 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส (µg P)) ปริมาตร 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.2) เทใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตรเติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

2.3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.4) เตรียมสารละลายแบลงค์ (blank) โดยปิเปตน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

2.5) นำผลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (หน่วยเป็นไมโครกรัม) และค่าการดูดกลืนแสง



เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

X คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (หน่วยเป็นไมโครกรัม)

2.6) ปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.7)

$$\text{ฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \quad (3.7)$$

3) การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

3.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 25 ไมโครกรัม-ฟอสเฟต โดยนำมาตรวจวัดปริมาณที่แน่นอนจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจาก ข้อ 2) (คิดเป็นปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับ)

3.2) เติมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มาดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตจากข้อ 3.1) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เท่ากับ 1 : 50

3.3) นำมาเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 2, 4, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.4) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.5) กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

3.6) ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ผ่านกระดาษกรองปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

3.7) นำไปตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตภายหลังการดูดซับจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจาก ข้อ 2)

3.8) ปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.7)

$$\text{ฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \quad (3.7)$$

3.9) นำปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับมาคำนวณประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต จากสมการ (3.8)

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับ} = \frac{\left(\text{ปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับ} - \text{ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับ}\right)}{\text{ปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับ}} \times 100 \quad (3.8)$$

3.10) พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับและประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

3.11) พิจารณาเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ดีที่สุด โดยใช้ระเบียบวิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one way ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ (multiple comparison test) แบบ Fisher's least significant difference (LSD) ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

(1) กำหนดสมมติฐานทางสถิติ โดย

H_0 : ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน หรือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ อย่างน้อย 2 สภาวะ มีค่าไม่เท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(2) คำนวณค่าสถิติเอฟ (F_{cal}) จากสมการ (3.9)

$$F_{cal} = \frac{MS_b}{MS_w} \quad (3.9)$$

โดยสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าสถิติเอฟ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สมการสำหรับการคำนวณค่าสถิติเอฟ

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
ระหว่างกลุ่ม	k-1	$SS_b = \sum_{j=1}^{k} \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$	$MS_b = SS_b/k\text{-}1$	$F_{cal} = \frac{MS_b}{MS_w}$
ภายในกลุ่ม	N-k	$SS_w = SS_t - SS_b$	$MS_w = SS_w/N\text{-}k$	
รวม	N-1	$SS_t = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$		

เมื่อ F_{cal} คือ ค่าสถิติเอฟที่ได้จากการคำนวณ

MS_b คือ ความแปรปรวนระหว่างสภาวะต่าง ๆ

MS_w คือ ความแปรปรวนภายในสภาวะเดียวกัน

K คือ จำนวนสภาวะทั้งหมดที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

N คือ จำนวนซ้ำรวมของประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

n_j คือ จำนวนซ้ำรวมของประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะ j

x_{ij} คือ ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งค่าที่ i ที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะ j

T_j คือ ผลรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะ j

T คือ ผลรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกทุกสภาวะ

df คือ ระดับขั้นเสรี (degree of freedom)

(3) เลือกระดับนัยสำคัญ (level of significant; α) เท่ากับ 0.01

(4) กำหนดขอบเขตวิกฤต (critical region) โดยหาค่าเอฟวิกฤต (F_{crit}) จากตารางเอฟ (F-table)

(5) สรุปผลการทดลอง

ถ้า $F_{cal} \geq F_{crit}$ จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ อย่างน้อย 2 สภาวะ มีค่าไม่เท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ถ้า $F_{cal} < F_{crit}$ จะยอมรับ H_0 แสดงว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน หรือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากนั้นใช้ระเบียบวิธีทางสถิติ คือ การเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกจากสภาวะต่าง ๆ เป็นรายคู่ ซึ่งมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

(1) กำหนดสมมติฐานทางสถิติ โดย

H_0 : ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าเท่ากัน หรือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าไม่เท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(2) คำนวณค่าสถิติที (t_{cal}) จากสมการ (3.10)

$$t = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_j}{\sqrt{MS_w \frac{1}{n_i} \frac{1}{n_j}}} \qquad (3.10)$$

เมื่อ $\bar{x}_i$, $\bar{x}_j$ คือ ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยใช้สภาวะ i กับ j ที่นำมาเปรียบเทียบกัน

MS_w คือ ค่า MS_w จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

n_i ,n_j คือ จำนวนซ้ำของประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยใช้สภาวะ i กับ j โดยที่ $n_i = n_j = 3$

เนื่องจากจำนวนซ้ำของประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ดังนั้น สามารถนำผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วย

กรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกันมาเปรียบเทียบกับค่า LSD ที่คำนวณได้จากสมการ (3.11)

$$LSD = (t_{\alpha,\ N\text{-}K})\sqrt{MS_w(2 \div n)} \qquad (3.11)$$

เมื่อ $t_{\alpha,\ N\text{-}K}$ คือ ค่าทีวิกฤต (t_{crit}) ที่เปิดจากตารางที (t-table) ที่ระดับขั้นเสรีเท่ากับ N-k (โดยใช้ตารางที (t-table) ที่เป็นการทดสอบแบบสองทาง (two-tailed test))

N คือ จำนวนซ้ำรวมของประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยใช้สภาวะ i กับ j

K คือ จำนวนสภาวะทั้งหมดที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

MS_w คือ ค่า MS_w จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

(3) สรุปผลการทดลอง

(3.1) หากพิจารณาจากค่า t_{cal} จะได้ว่า

ถ้า $t_{cal} \geq$ LSD จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าไม่เท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ถ้า $t_{cal} <$ LSD จะยอมรับ H_0 แสดงว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าเท่ากัน หรือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(3.2) หากพิจารณาจากค่า LSD จะได้ว่า

ถ้าผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน $\geq$ LSD จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าไม่เท่ากัน หรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ถ้าผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน < LSD จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าเท่ากัน หรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3.4.6 การศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

นำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตดีที่สุดมาศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1) ชั่งถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตดีที่สุด หนัก 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 กรัม ลงในขวดรูปกรวย

2) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (โดยนำมาตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับที่แน่นอน โดยใช้กราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.4.5)

3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

4) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

5) กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

6) ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ผ่านกระดาษกรอง ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

7) นำไปตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตภายหลังการดูดซับโดยใช้กราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.4.5

8) พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

3.4.7 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

นำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตดีที่สุด และใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ศึกษาได้จากข้อ 3.4.6 มาศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (โดยนำมาตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตก่อนการดูดซับที่แน่นอน โดยใช้กราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.4.5)

2) เติมถ่านกัมมันต์ หนัก 0.5 กรัม จะทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100

3) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 , 4 , 8 , 16 และ 24 ชั่วโมง

4) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

5) กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

6) ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ผ่านกระดาษกรอง ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

7) นำไปตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตภายหลังการดูดซับ โดยใช้กราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.4.5

8) พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

3.4.8 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

นำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตดีที่สุด โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ศึกษาได้จากข้อ 3.4.6 และเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับที่ศึกษาได้จากข้อ 3.4.7 มาศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1) นำถ่านกัมมันต์มาอบ ที่อุณหภูมิ 110 – 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2) ชั่งถ่านกัมมันต์ หนัก 0.5 กรัม ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

3) เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟต ความเข้มข้น ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4) นำมาเขย่าความเร็วรอบ เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

5) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

6) กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

7) ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ผ่านกระดาษกรอง ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 125 มิลลิลิตร

8) นำไปตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตภายหลังการดูดซับ โดยใช้กราฟมาตรฐาน จากข้อ 3.4.5

9) สร้างกราฟไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดิช ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้างกราฟไอโซเทอม ดังนี้

9.1) กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ สามารถศึกษาได้จากสมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (3.12)

$$q_e = \frac{q_0 K_L C_e}{1+K_L C_e} \qquad (3.12)$$

เมื่อ q_e หมายถึง จำนวนสารที่ดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_0 หมายถึง การดูซับสูงสุดที่เกิดขึ้นแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e หมายถึง ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารที่จะดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_L หมายถึง ค่าคงที่ของแลงเมียร์

แบบจำลองไอโซเทอมจากสมการ (3.12) สามารถจัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรงของการดูดซับแบบแลงเมียร์ โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ (3.13) หรือ (3.14) ตามลำดับดังนี้

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0} \qquad (3.13)$$

และ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0}\frac{1}{C_e} \qquad (3.14)$$

เมื่อนำข้อมูลจากสมการ (3.14) มาเขียนกราฟระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ $1/K_L q_0$ และจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ $1/q_0$

9.2) กราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช สามารถศึกษาได้จากสมการการดูดซับแบบฟรุนดิช ดังสมการ (3.15)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \qquad (3.15)$$

เมื่อ K_F หมายถึง ค่าคงที่ของฟรุนดิชแสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (ลิตรต่อกรัม)

N หมายถึง ค่าคงที่ของฟรุนดิชที่อธิบายถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

สมการ (3.15) สามารถจัดรูปให้อยู่ในลักษณะของสมการเส้นตรง ดังสมการ (3.16)

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n}\log C_e \qquad (3.16)$$

สมการ (3.16) เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่าง log q_e กับ log C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1/n และมีจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ log K_F และสามารถอธิบายได้ว่า

(1) ถ้าค่า 1/n =1 หมายถึง ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

(2) ถ้าค่า 1/n > 1 หมายถึง บริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ

(3) ถ้าค่า 1/n < 1 หมายถึง ปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ

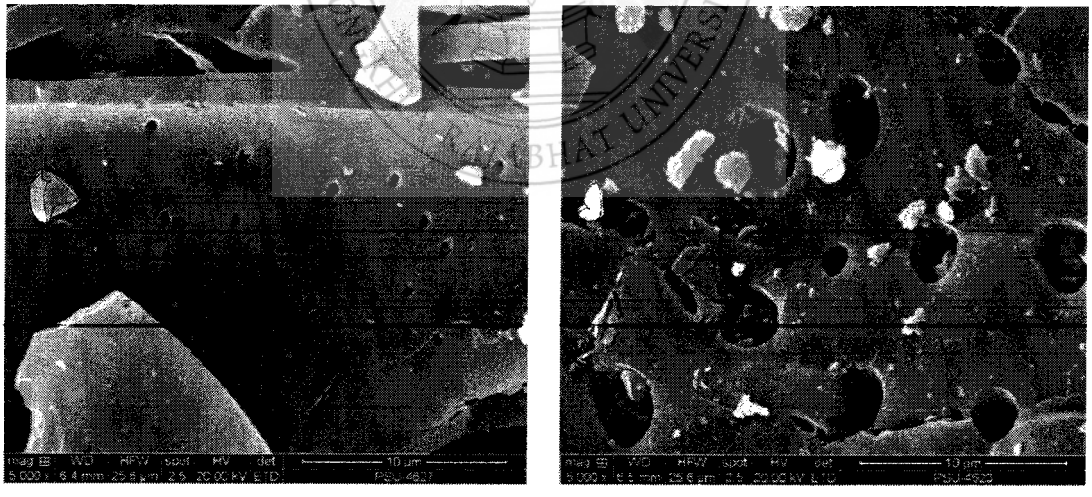
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปลายผล

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก มาศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547 ได้แก่ ความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ พบว่าให้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาขนาดรูพรุนของถ่านและถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

เมื่อนำถ่านและถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมาศึกษาขนาดรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) พบว่าถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเท่ากับ 0.83 ไมโครเมตร (μm) และถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเท่ากับ 3.33 ไมโครเมตร แสดงดังภาพที่ 4.1 ซึ่งจัดเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง สามารถนำมาใช้ในการดูดซับสารได้ (ธราพงษ์, 2554: 3)



(ก) ถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก

(ข) ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก

ภาพที่ 4.1 สภาพพื้นผิวของ (ก) ถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่ไม่ได้รับการกระตุ้น และ (ข) ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก เมื่อใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า ระยะปรากฏในภาพ 10 ไมโครเมตร

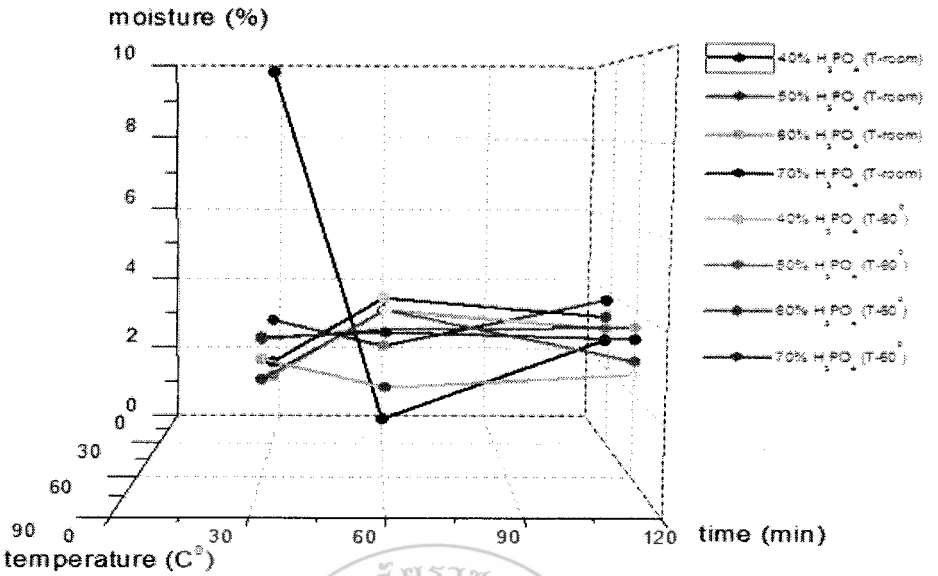
4.2 ความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

จากการศึกษาความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กร ASTM International ด้วยวิธี ASTM D2867 – 99 ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

สภาวะที่	ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร	อุณหภูมิในการกระตุ้น (องศาเซลเซียส)	เวลาในการกระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น
1		ห้อง	30	9.70
2		ห้อง	60	0.54
3	40%v/v	ห้อง	120	2.68
4		60	30	2.84
5		60	60	2.17
6		60	120	2.47
7		ห้อง	30	3.19
8		ห้อง	60	2.51
9	50% v/v	ห้อง	120	3.75
10		60	30	2.36
11		60	60	4.00
12		60	120	2.81
13		ห้อง	30	1.71
14		ห้อง	60	3.48
15	60% v/v	ห้อง	120	3.00
16		60	30	3.31
17		60	60	3.56
18		60	120	3.61
19		ห้อง	30	2.08
20		ห้อง	60	3.79
21	70% v/v	ห้อง	120	3.31
22		60	30	3.36
23		60	60	3.49
24		60	120	3.37

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ 4.2 ค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

จากผลการศึกษาพบว่า ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าร้อยละความชื้นอยู่ระหว่าง 0.54 – 9.70 จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ ที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดในแต่ละสภาวะที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกเมื่อใช้ความเข้มข้นและอุณหภูมิเดียวกัน จำนวน 8 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 4.2 มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อไป

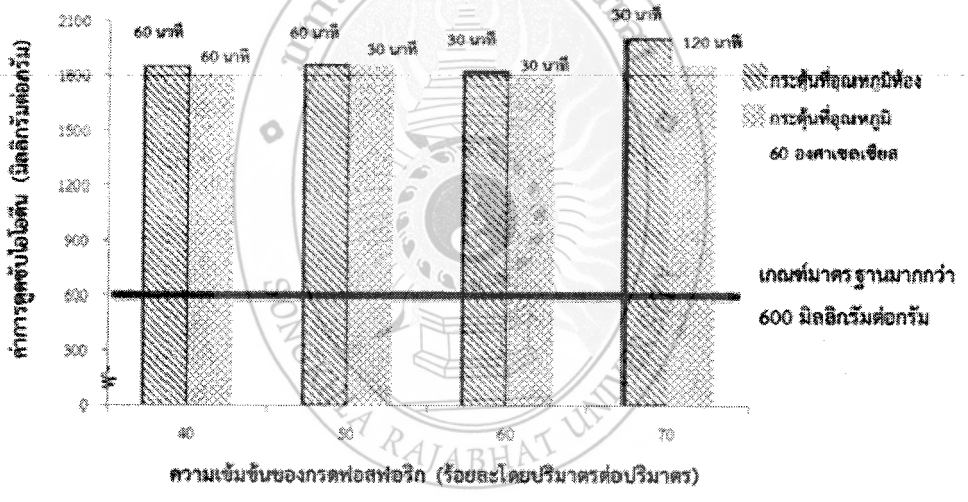
ตารางที่ 4.2 สภาวะของการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกที่นำมาศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน

ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ในหน่วยร้อยละปริมาตรต่อปริมาตร	อุณหภูมิในการกระตุ้น (องศาเซลเซียส)	เวลาในการกระตุ้น (นาที)
40%v/v	ห้อง	60
	60	60
50%v/v	ห้อง	60
	60	30
60%v/v	ห้อง	30
	60	30
70%v/v	ห้อง	30
	60	120

4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

จากการศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กร ASTM International ด้วยวิธี ASTM D4607 – 94 ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.3

ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900 – 2547 คือ จะต้องมีค่ามากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นทั้ง 8 สภาวะ มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น จึงนำถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นทั้ง 8 สภาวะ มาศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตต่อไป



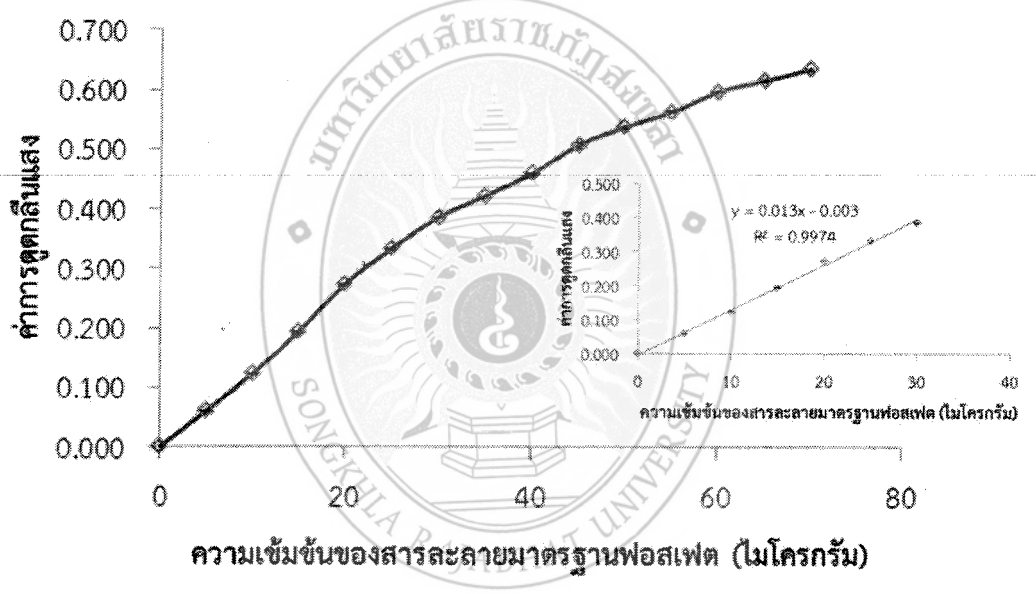
ภาพที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

สภาวะในการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 40%v/v	0.2508	2,951
กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง	0.5210	1,511
เป็นเวลา 60 นาที	0.7509	1,052
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 40%v/v	0.2510	2,926
กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	0.5026	1,483
เป็นเวลา 60 นาที	0.7507	1,008
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 50%v/v	0.2509	3,027
กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง	0.5006	1,534
เป็นเวลา 60 นาที	0.7501	1,035
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 50%v/v	0.2506	2,986
กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	0.5026	1,539
เป็นเวลา 30 นาที	0.7505	1,049
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 60%v/v	0.2511	2,969
กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง	0.5040	1,490
เป็นเวลา 30 นาที	0.7521	1,027
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 60%v/v	0.2504	2,899
กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	0.5055	1,486
เป็นเวลา 30 นาที	0.7509	1,004
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 70%v/v	0.2502	3,259
กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง	0.5009	1,644
เป็นเวลา 30 นาที	0.7508	1,134
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 70%v/v	0.2511	3,024
กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	0.5015	1,520
เป็นเวลา 120 นาที	0.7502	1,033

4.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร (mg P/L) ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ จะตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตก่อนและหลังการดูดซับด้วยวิธีเทียบสีและใช้กรดแอสคอร์บิก โดยกราฟมาตรฐานฟอสเฟตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและค่าการดูดกลืนแสง แสดงดังภาพที่ 4.4 ซึ่งพบว่ามีช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ให้ค่าการตอบสนองเป็นเชิงเส้น (linear range) ตั้งแต่ความเข้มข้น 0 ถึง 30 ไมโครกรัม



ภาพที่ 4.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ของถ่านตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

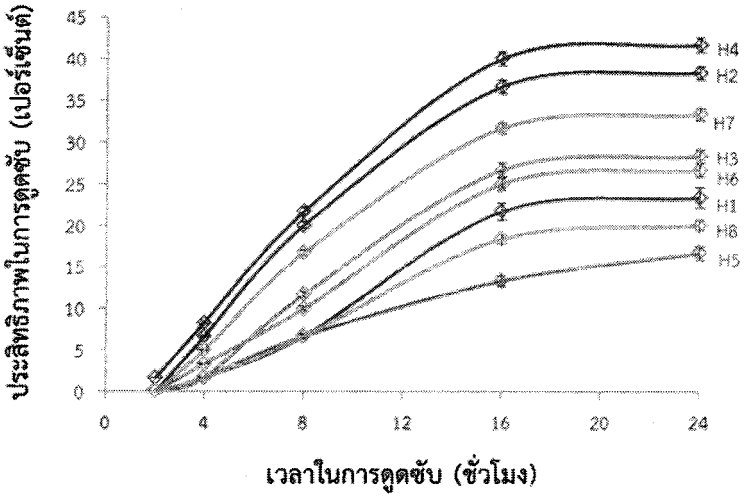
สภาวะที่ใช้ในการกระตุ้น	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
		ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 40%v/v กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที	2	0.50	0.50	0.00
	4	0.50	0.49	2.00
	8	0.50	0.46	8.00
	16	0.50	0.37	26.00
	24	0.50	0.36	28.00
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 40%v/v กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที	2	0.50	0.50	0.00
	4	0.50	0.49	2.00
	8	0.50	0.46	8.00
	16	0.50	0.42	16.00
	24	0.50	0.40	20.00
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 50%v/v กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที	2	0.50	0.50	0.00
	4	0.50	0.46	8.00
	8	0.50	0.38	24.00
	16	0.50	0.31	38.00
	24	0.50	0.30	40.00
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 50%v/v กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที	2	0.50	0.50	0.00
	4	0.50	0.48	4.00
	8	0.50	0.44	12.00
	16	0.50	0.35	30.00
	24	0.50	0.34	32.00
กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 60%v/v กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที	2	0.50	0.50	0.00
	4	0.50	0.49	2.00
	8	0.50	0.43	14.00
	16	0.50	0.34	32.00
	24	0.50	0.33	34.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ของถ่านตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ (ต่อ)

สภาวะที่ใช้ในการกระตุ้น	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง)	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
		ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
กรดฟอสฟอริก	2	0.50	0.50	0.00
ความเข้มข้น 60%v/v	4	0.50	0.47	6.00
กระตุ้นที่อุณหภูมิ	8	0.50	0.40	20.00
60องศาเซลเซียส	16	0.50	0.31	38.00
เป็นเวลา 30 นาที	24	0.50	0.30	40.00
กรดฟอสฟอริก	2	0.50	0.49	2.00
ความเข้มข้น 70%v/v	4	0.50	0.45	10.00
กระตุ้นที่อุณหภูมิห้อง	8	0.50	0.37	26.00
เป็นเวลา 30 นาที	16	0.50	0.29	42.00
	24	0.50	0.28	44.00
กรดฟอสฟอริก	2	0.50	0.50	0.00
ความเข้มข้น 70%v/v	4	0.50	0.49	2.00
กระตุ้นที่อุณหภูมิ	8	0.50	0.46	8.00
60 องศาเซลเซียส	16	0.50	0.39	22.00
เป็นเวลา 120 นาที	24	0.50	0.38	24.00

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มาดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เท่ากับ 1 : 100 และใช้เวลาต่าง ๆ ในการดูดซับ ให้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 ซึ่งพบว่า เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง



(เมื่อ H1: 40%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิห้อง เวลา 60 นาที H2: 50%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิห้อง เวลา 60 นาที
H3: 60%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิห้อง เวลา 30 นาที H4: 70%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิห้อง เวลา 30 นาที
H5: 40%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิ 60 °C เวลา 60 นาที H6: 50%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิ 60°C เวลา 30นาที
H7: 60%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิ 60 °C เวลา 30 นาที H8: 70%v/v H_3PO_4 อุณหภูมิ 60 °C เวลา 120นาที)

ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับและประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ

เมื่อใช้ระเบียบวิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่า ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ อย่างน้อย 2 สภาวะ มีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อใช้ระเบียบวิธีทางสถิติการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณ พบว่า เมื่อนำผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ เป็นรายคู่มาเปรียบเทียบกับค่า LSD (least significant difference) ที่คำนวณได้จากสมการ (3.11) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.96 พบว่า ผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ เป็นรายคู่มีค่ามากกว่าค่า LSD แสดงว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ทั้ง 2 สภาวะ ที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าไม่เท่ากันหรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
ระหว่างกลุ่ม	8 – 1 = 7	SS_b = 1,733.97	MS_b = 247.71	F_{cal} = 177.88
ภายในกลุ่ม	24 – 8 = 16	SS_w = 22.28	MS_w = 1.39	F_{crit} = 2.66
รวม	24 – 1 = 23	SS_t = 1,756.25		df = 7, 16
				ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01
สรุปผลการทดสอบ	F_{cal} > F_{crit} แสดงว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ อย่างน้อย 2 สภาวะ มีค่าไม่เท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ			

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบเชิงพหุคูณเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ เป็นรายคู่ (โดยค่า LSD เท่ากับ 1.96 ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01)

ผลต่างของประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับ	H1 $\bar{x}$=21.67	H2 $\bar{x}$=36.67	H3 $\bar{x}$=26.67	H4 $\bar{x}$=40.00	H5 $\bar{x}$=13.33	H6 $\bar{x}$=25.00	H7 $\bar{x}$=31.67	H8 $\bar{x}$=18.33
H2 $\bar{x}$=36.67	15.00	-	-	-	-	-	-	-
H3 $\bar{x}$=26.67	5.00	10.00	-	-	-	-	-	-
H4 $\bar{x}$=40.00	18.33	3.33	13.33	-	-	-	-	-
H5 $\bar{x}$=13.33	8.34	23.34	13.34	26.67	-	-	-	-
H6 $\bar{x}$=25.00	3.33	11.67	1.67	15.00	11.67	-	-	-
H7 $\bar{x}$=31.67	10.00	5.00	5.00	8.33	18.34	6.67	-	-
H8 $\bar{x}$=18.33	3.34	18.34	8.34	21.67	5.00	6.67	13.34	-

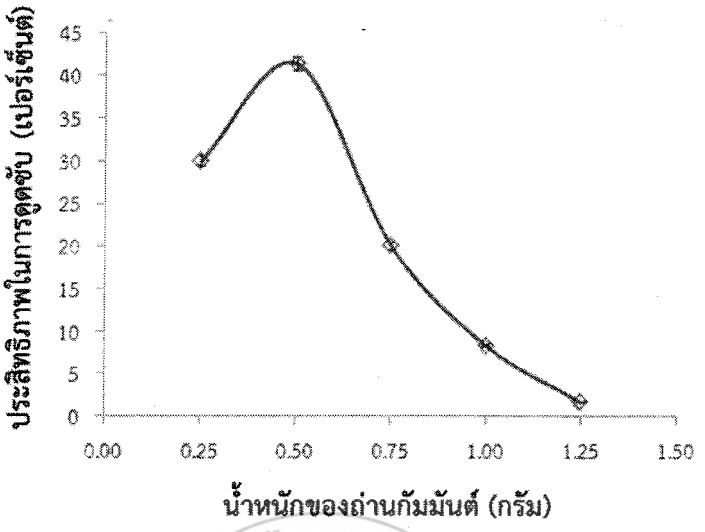
จากผลการศึกษา พบว่า ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (70%v/v) ที่อุณหภูมิห้องและเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตสูงที่สุด ดังนั้น ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที จะถูกนำมาใช้ในการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อไป

4.5 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการดูดซับ เท่ากับ 16 ชั่วโมง ให้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.6 โดยพบว่า เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ หนัก 0.50 กรัม จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ดีที่สุด ดังนั้น อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณต่าง ๆ

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
0.25	0.50	0.32	30.00
0.50	0.50	0.25	41.33
0.75	0.50	0.38	20.00
1.00	0.50	0.45	8.33
1.25	0.50	0.49	1.66



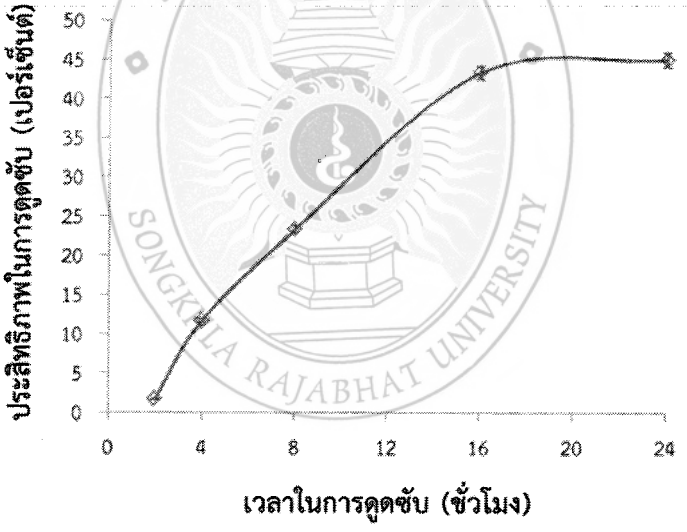
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที

4.6 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100 ให้ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.7 โดยพบว่า เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง ดังนั้น เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์คือ 16 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที เมื่อใช้เวลาต่าง ๆ ในการดูดซับ

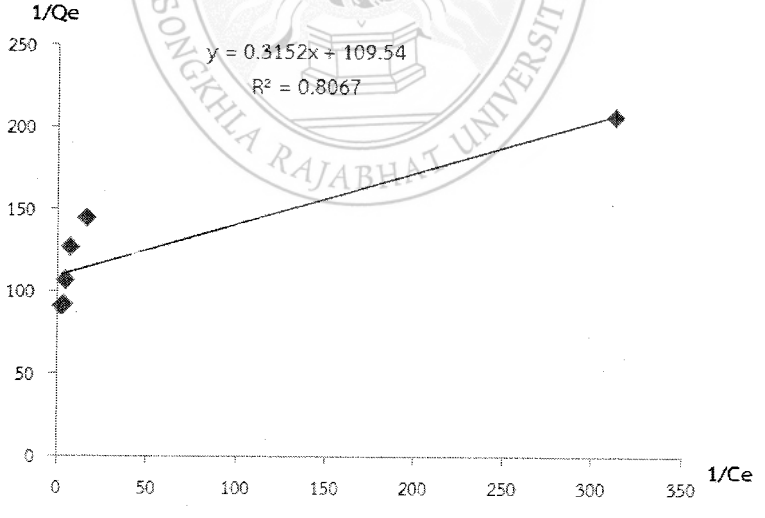
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
2	0.50	0.49	1.67
4	0.50	0.43	11.67
8	0.50	0.36	23.33
16	0.50	0.24	43.33
24	0.50	0.23	45.00



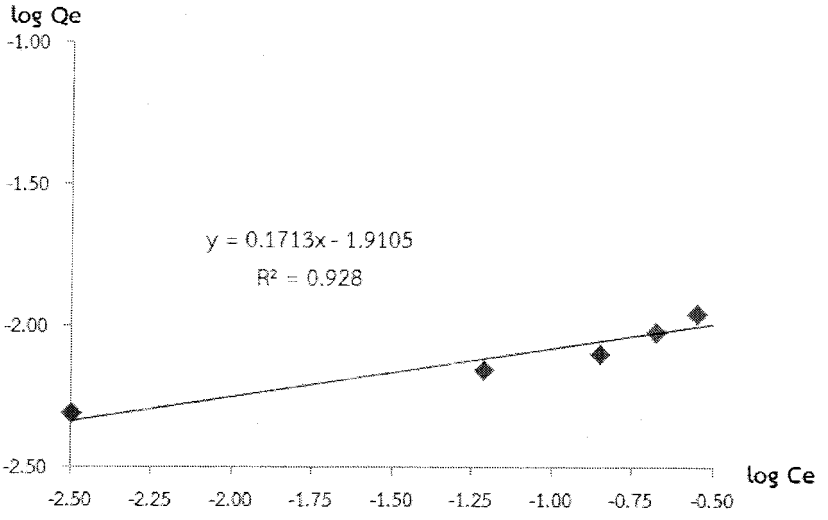
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที

4.7 ไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100 และเวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง ให้ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ซึ่งเป็นผลการศึกษาไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดิช ตามลำดับ และตารางที่ 4.10 แสดงค่าคงที่ไอโซเทอมของการดูดซับด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแลงเมียร์และฟรุนดิช โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ หรือ ค่า R^2 ของสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ มีค่าเท่ากับ 0.8067 และค่า R^2 ของสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดิช มีค่าเท่ากับ 0.928 นั่นคือ ค่า R^2 ของไอโซเทอมแบบฟรุนดิชมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ แสดงว่า การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที สอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรุนดิช



ภาพที่ 4.8 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที



ภาพที่ 4.9 ไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ไอโซเทอมของการดูดซับด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแลงเมียร์และฟรุนดิชสำหรับการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที

ไอโซเทอมของการดูดซับ	ค่าคงที่	ค่าที่คำนวณได้
แลงเมียร์ (Langmuir)	q_0 (mg/g)	0.004
	K_L (L/mg)	0.75
	R^2	0.8067
ฟรุนดิช (Freudlich)	1/n	0.1713
	K_F (mg/g)(L/mg)$^{1/n}$	0.0123
	R^2	0.9280

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อความชื้น และค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก (ร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลา (30, 60 และ 120 นาที) ที่ใช้ในการกระตุ้น ผลการศึกษาพบว่า เมื่อกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 60 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 0.54 (วิธีมาตรฐาน ASTM D2867 – 99) และเมื่อกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด เท่ากับ 2,012 มิลลิกรัมต่อกรัม (วิธีมาตรฐาน ASTM D4607 – 94) และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นมาศึกษาขนาดรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า รูพรุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.33 ไมโครเมตร ซึ่งจัดเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง สามารถนำมาใช้ในการดูดซับสารได้ (ธราพงษ์, 2554: 3)

5.1.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

1) ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และ

เวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตสูงที่สุด

2) ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการดูดซับ เท่ากับ 16 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ หนัก 0.50 กรัม จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ดีที่สุด ดังนั้น อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100

3) เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง ดังนั้น เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์คือ 16 ชั่วโมง

4) ไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที มาศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอตเฟต ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 1 : 100 และเวลาในการดูดซับเท่ากับ 16 ชั่วโมง โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดิช พบว่า ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ หรือ ค่า R^2 ของไอโซเทอมแบบฟรุนดิชมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ แสดงว่า การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง และเวลาในการกระตุ้น เท่ากับ 30 นาที สอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรุนดิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารถูกดูดซับที่เป็นสารมลพิษที่มีความสำคัญ เช่น ไนโตรเจน ของแข็งแขวนลอย แคดเมียม และเมทลีนบลู เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในนำตัวดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารมลพิษต่อไป

5.2.2 ศึกษาการฟื้นฟูประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งที่กระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โดยการนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้แล้วมาผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

5.2.3 ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กำชัย นุ้ยธิติกุล และสมร หิรัญประดิษฐกุล. (2551). **การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเศษไม้ไผ่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

จักรกฤษ์ ลับโกษา. (2554). **การกำจัดโลหะหนักทองแดง เหล็ก และสารินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505**. ฐานข้องมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. (2547). **การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไชยยันต์ ชัยยะ, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิม และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2551). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ).

ณัฐยา พูนสุวรรณ และ สุพรรณี จันทร์ภิรมณ์. (2546). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลและการวัดสมบัติโครงสร้างรูพรุน**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).

ธราพงษ์ วิทิตศานต์. (2554). **ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้**. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2550). **หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

น้ำเย็น. (2550). **ปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)**. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557, จาก http://www.oknation.net/blog/print.php?id=26988

ปรินทร เต็มญารศิลป์. (2551). **การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ตงและไผ่หมาจู่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร. ม.ป.ป. **น้ำเสีย**. ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จากhttp://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6

พีระพงษ์ เนียมเสวก. (2552). **เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์).

บรรณานุกรม (ต่อ)

เพ็ญ สุขมาก. (2543). **การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลกระป๋องโดยระบบ เอส บี อาร์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณรัก นพเจริญกุล. (2548). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2556. **ฟอสฟอรัส**.ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2557. **ตะเกียบ**. ค้นเมื่อ 15 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki/

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2557. **ไม้ไผ่**. ค้นเมื่อ 17 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki

วิภารัตน์ ชัยเพชร. (2557). **โครงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งบ่อกุ้งโดยใช้เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยแครง**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี).

สมร หิรัญประดิษฐกุล. (2554). **การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดสบู่ดำ**. (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2532). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์**. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สิงหเดช แตงจวง. (2552). **การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล**. รายงานวิจัย (มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์).

สุนิดา เถาว์โท. (2554). **ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลโดยถ่านกัมมันต์**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี).

สุพรรณ ยอดยิ่งยง และ สมพิศ รองศักดิ์. (2547). **ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม).

องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540. **ลักษณะของน้ำเสีย**. ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จาก http://www.kmitl.ac.th/~kbkittic/watertreat/wastewatermanagement.html

บรรณานุกรม (ต่อ)

อธิชัย นพแก้ว. (2539). **การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อกักเก็บ.** ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

อนุสรณ์ ดิษฐสวรรค์, ณรงค์ศักดิ์ อินถานนท์, และ มารุด วิชยา. (2546). **การศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (สถาบันราชภัฏนครสวรรค์).

Alexander Del pi.ม.ป.ป. **ต้นไผ่.** ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557. จาก http://www.herb-health.com/2013/01/blog-post_8443.html

buarinbudtao. 2557. **ความรู้เกี่ยวกับไผ่.** ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557. จาก http://knowledge-phai.blogspot.com/

Desotec.(2556). **โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์.**ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จาก www.desotec.com/activated-carbon/chemical-strocture-of-activated-carbon/

sales.ม.ป.ป. **โครงสร้างผลึกของคาร์บอนอสัณฐาน.**ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557. จาก wwwchemicool.com/elements/carbon.html

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2547

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3274 (พ.ศ. 2547)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถ่านกัมมันต์

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ 900-2532

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1550 (พ.ศ.2532) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนด มาตรฐานผลิตภัณฑอุตสาหกรรมถานกัมมันต์ ลงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2532 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถานกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก. 900-2547 ขึ้นใหม ดังมีรายละเอียดต่อทายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2547

พินิจ จารุสมบัติ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถ่านกัมมันต์

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียม แอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุหรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงาน และใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีคุณสมบัติดูดซับสี กลิ่น รส บางชนิดได้เป็นอย่างดี ถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นพรุน ผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยกรรมวิธีก่อกัมมันต์

2.2 ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิด และชั้นคุณภาพ

3.1 ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดผง (powdered activated carbon)

3.1.2 ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.2.1 ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium grade)

3.1.2.2 ชั้นคุณภาพที่ 1 (first grade)

3.1.3 ชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

3.1.4 ชนิดแท่ง (block activated carbon)

4. ขนาด

4.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายแต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2 ชนิดเม็ด และชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายแต่ปริมาณที่ผ่านแร่ง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผง

ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด

ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่ง

ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง

(ข้อ 5.2.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	

5.2.2 ชนิดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ทางเคมีของชนิดเม็ด

(ข้อ 5.2.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	1000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไมเกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70		AWWA B 604 Ro-Tap Abrasion test

5.2.3 ชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ทางเคมีของชนิดอัดเม็ด

(ข้อ 5.2.3)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไมเกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไมน้อยกว่า	0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

5.2.4 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางฟิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง

(ขอ 5.2.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไมเกิน	8	

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

การทดสอบให้ปฏิบัติตามขอ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจงรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน

(2) ชนิด และชั้นคุณภาพ

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

9.2 การทดสอบขนาด

9.2.1 ถ่านกัมมันต์ผง

9.2.1.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) กูชครูซิเบิล

9.2.1.2 วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำแร่งให้เปียกแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแร่ง ในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแรงแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่ง ไม่มีตัวอย่างผ่านแรงอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองแล้วกรองผ่าน กูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำครูซิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง จนได้มวลคงที่ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

9.2.1.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \left(1-\frac{m_1}{m_0}\right) \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

เมื่อ m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลักจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2 ถ่านกัมมันตเม็ดและถ่านกัมมันตอัดเม็ด

9.2.2.1 เครื่องมือ

(1) แร่ง 150 ไมโครเมตร

(2) เครื่องเขย่า ที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ±5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

9.2.2.2 วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแร่งเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร้งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งและคำนวณส่วนที่ค้างบนแร้งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

9.3 น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุ แล้วเทตัวอย่างออก ชั่งภาชนะเปล่า แล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ข

ASTM Designation: D2867-99

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or withdrawn.
Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information

Designation: D 2867 – 99

Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon[1]

This standard is issued under the fixed designation D 2867; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods provide two procedures for the determination of the moisture content of activated carbon. The procedures may also be used to dry samples required for other tests. The oven-drying method is used when water is the only volatile material present and is in significant quantities, and the activated carbon is not heat-sensitive (some activated carbons can ignite spontaneously at temperatures as low as 150°C). The xylene-extraction method is used when a carbon is known or suspected to be heat sensitive or to contain nonwater-miscible organic compounds instead of or in addition to water. The oven-drying method described in these test methods may be used as the reference for development of instrumental techniques for moisture determination in activated carbon.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods[2]

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method[2]

3. Summary of Test Methods

3.1 *Oven-Drying Test Method*—A sample of carbon is put into a dry, closed capsule (of known weight) and weighed accurately. The capsule is opened and placed with the lid in a preheated oven. The sample is dried to constant weight then removed from the oven and with the capsule closed, cooled to ambient temperature. The closed capsule is weighed again accurately. The weight loss is expressed as a percentage of the weight of the original sample.

3.2 *Xylene-Extraction Test Method*— A known, accurate weight of carbon is put into a boiling flask. A known volume of xylene is added to the flask and the flask then connected to a water trap. A hot plate is used to heat the xylene until boiling. The temperature is controlled to allow steady reflux. Reflux continues until no further water can be collected in the trap. The weight of water collected is expressed as a percentage of the weight of the original sample.

4. Significance and Use

4.1 The moisture content of activated carbon is often required to define and express its properties in relation to the net weight of the carbon.

OVEN-DRYING METHOD

5. Apparatus

5.1 *Moisture Oven*—Most commercial, electrically heated, forced-circulation drying ovens capable of temperature regulation between 145 and 155°C may be used.

5.2 *Capsules with Covers*—Low-form glass weighing bottles with ground-glass stoppers or seamless metal boxes with covers may be used. They should be as shallow as possible, consistent with convenient handling.

5.3 *Desiccator.*

6. Materials

6.1 *Desiccant*—Anhydrous calcium chloride or other suitable desiccant.

7. Procedure for Activated Carbon Passing A No. 50 Sieve

7.1 Dip out with a spoon or spatula from the sample bottle a 1 to 2-g representative sample. Put this into a predried tared capsule with lid, close and weigh at once to the nearest 0.5 mg. The depth of the carbon in the capsule must not exceed 1.25 cm.

7.2 Remove the cover and place the capsule and cover in a preheated forced circulation oven (at 145 to 155°C). Close the oven and dry to constant weight (3 h normally sufficient). Open

[1] These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-28 on Activated Carbon and are the direct responsibility of Subcommittee D28.04 on Gas Phase Evaluation Tests.

Current edition approved Feb. 10, 1999. Published May 1999. Originally published as D 2867 – 70. Last previous edition D 2867 – 95.

[2] *ASTM Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

the oven and cover the capsules quickly. Cool in a desiccator to ambient temperature and weigh.

8. Procedure for Activated Carbon Larger Than A No. 50 Sieve

8.1 Use a 5 to 10-g representative sample and weigh to the nearest 2 mg. Complete the determination as described in Section 7.

9. Calculation

9.1 Calculate the moisture content as follows:

$$\text{Moisture, weight \%} = [(C - D) / (C - B)] \times 100$$

where:

B = weight of capsule with cover, g,
C = weight of capsule with cover plus original sample, g, and
D = weight of capsule with cover plus dried sample, g.

XYLENE–EXTRACTION METHOD

10. Apparatus

10.1 *Boiling Flask*—A 300-mL flat-bottom Erlenmeyer flask with ground-glass joints.

10.2 *Condenser*—A 300-mm water-cooled condenser of the Allihn type with ground-glass joints.

10.3 *Drying Tube*, containing a suitable desiccant with fiber-glass filter.

10.4 *Water Trap*—A Bidwell and Sterling 10-mL or a Dean and Stark receiver with ground-glass joints. The water trap should be clean so that the shape of the meniscus at the end of the test is the same as at the beginning.

NOTE 1—The trap may be coated with a silicone resin to give a uniform meniscus. To coat the trap, first clean it with a suitable cleaner. Rinse the clean trap with a silicone resin and after draining for a few minutes, bake for 1 h at approximately 200°C.

10.5 *Hot Plate*—An electrically heated hot plate with enclosed elements and temperature control.

11. Reagent

11.1 *Xylene*—Reagent grade in accordance with the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society.[3]

12. Hazards

12.1 The use of hot xylene presents a continual fire hazard and suitable fire extinguishing equipment should be available.

13. Preparation of Apparatus

13.1 Clean the condenser, flask, and trap and carefully dry to ensure that it is free of water. Assemble the condenser and water trap as shown in Fig. 1.

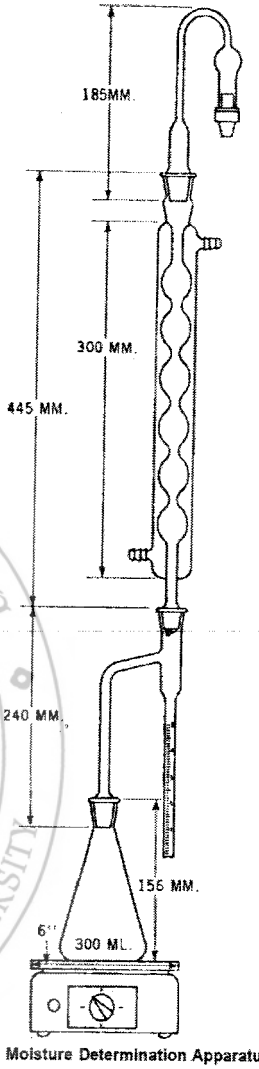


FIG. 1 Moisture Determination Apparatus

14. Procedure

14.1 Weigh the sample bottle. Dip out with a spoon from the sample bottle 25 to 50 g of the sample. Put this into the boiling flask and reweigh the sample bottle to the nearest 0.1 g. Add 100 mL of xylene and connect the boiling flask to the water trap. For carbons having density less than 0.30 g/cm ^{3}, 200 mL of xylene should be used for a 25-g sample.

14.2 Place the hot plate under the boiling flask and heat to boiling. Adjust the temperature control so as to reflux the xylene at the rate of about 1 drop/s from the tip of the condenser. Continue to reflux until there is no further increase in the water layer in the trap over a 30-min period (from 2 to 8 h may be required).

[3] *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

15. Calculation

15.1 Calculate the moisture content as follows:

$$\text{Moisture, weight \%} = [V / (C - E)] \times 100$$

where:

V = water collected, mL,
C = initial weight of sample bottle, g, and
E = weight of sample bottle after removing moisture sample, g.

15.2 Calculate for the correction for moisture in carbon to determine the weight of a carbon sample on the dry basis as follows:

$$\text{Corrected weight (dry basis)} = \frac{\text{Initial weight of Carbon(undried)} \times (100\% - \text{\% moisture from 15.1})}{(100\%)} \quad (1)$$

16. Precision and Bias

16.1 An interlaboratory test which included four laboratories testing in triplicate, activated carbon samples with nominal moisture levels of 1 weight %, 5 weight %, and 12 weight %, was conducted according to Practice E 691. Results of these tests yielded repeatability and reproducibility coefficients at 95 % confidence levels as listed in Table 1.

TABLE 1 Within- and Between-Laboratory Precision

Nominal Moisture, weight %	1	5	12
Oven Drying Method			
Repeatability Coefficient, $CV\%_r$[A]	19	3	6
Reproducibility Coefficient, $CV\%_R$[A]	51	13	10
Xylene Extraction Method			
Repeatability Coefficient, $CV\%_r$[A]	51	5	6
Reproducibility Coefficient, $CV\%_R$[A]	54	6	6

[A] Defined in Practice E 177, Section 28.

16.1.1 The high coefficients of variation for both test methods when the moisture is nominally 1 weight % suggests that values in this range be reported as "1 weight % or less." If greater precision is needed, the amount of carbon sample can be increased over that specified in Sections 7, 8, and 14.

17. Keywords

17.1 activated carbon; moisture

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ASTM Designation: D4607-94

Designation: D 4607 – 94 (Reapproved 1999)

Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon[1]

This standard is issued under the fixed designation D 4607; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative activation level of unused or reactivated carbons by adsorption of iodine from aqueous solution. The amount of iodine absorbed (in milligrams) by 1 g of carbon using test conditions listed herein is called the iodine number.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 7.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 819 Test Method for Specific Surface Area of Carbon or Graphite[2]

D 1193 Specification for Reagent Water[3]

D 2652 Terminology Relating to Activated Carbon[4]

D 2867 Test Method for Moisture in Activated Carbon[4]

D 3860 Practices for Determination of Adsorptive Capacity of Carbon by Isotherm Technique[4]

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes[5]

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods[5]

E 287 Specification for Laboratory Glass Graduated Burets[6]

E 288 Specification for Laboratory Glass Volumetric Flasks[5]

E 300 Practice for Sampling Industrial Chemicals[6]

2.2 *NIST Publication:*

Circular 602—Testing of Glass Volumetric Apparatus[7]

3. Summary of Test Method

3.1 This test method is based upon a three-point adsorption isotherm (see Practices D 3860). A standard iodine solution is treated with three different weights of activated carbon under specified conditions. The carbon treated solutions are filtered to separate the carbon from the treated iodine solution (filtrate). Iodine remaining in the filtrate is measured by titration. The amount of iodine removed per gram of carbon is determined for each carbon dosage and the resulting data used to plot an adsorption isotherm. The amount of iodine adsorbed (in milligrams) per gram of carbon at a residual iodine concentration of 0.02 *N* is reported as the iodine number.

3.2 Iodine concentration in the standard solution affects the capacity of an activated carbon for iodine adsorption. Therefore, the normality of the standard iodine solution must be maintained at a constant value (0.100 ± 0.001 *N*) for all iodine number measurements.

3.3 The apparatus required consists of various laboratory glassware used to prepare solutions and contact carbon with the standard iodine solution. Filtration and titration equipment are also required.

4. Significance and Use

4.1 The iodine number is a relative indicator of porosity in an activated carbon. It does not necessarily provide a measure of the carbon's ability to absorb other species. Iodine number may be used as an approximation of surface area for some types of activated carbons (see Test Method C 819). However, it must be realized that any relationship between surface area and iodine number cannot be generalized. It varies with changes in carbon raw material, processing conditions, and pore volume distribution (see Definitions D 2652).

4.2 The presence of adsorbed volatiles, sulfur, and water extractables may affect the measured iodine number of an activated carbon.

5. Apparatus

NOTE 1—All volumetric measuring equipment should meet or exceed the requirements of NIST Circular 602. Volumetric glassware meeting these specifications is generally designated as "Class A". See also Specifications E 287 and E 288.

5.1 *Analytical Balance*, accuracy ±0.0001 g.

5.2 *Buret*, 10-mL capacity or 5-mL precision buret.

5.3 *Flasks*, Erlenmeyer 250-mL capacity with ground glass stoppers.

5.4 *Flask*, Erlenmeyer wide-mouthed, 250-mL capacity.

5.5 *Beakers*, assorted sizes.

---

[1] This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.02 on Liquid Phase Evaluation.

Current edition approved Nov. 15, 1994. Published January 1995. Originally published as D 4607 – 86. Last previous edition D 4607 – 86 (1990).

[2] *Discontinued*—See *1986 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.01.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.01.

[5] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.05.

[7] Available from National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD 20899.

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

5.6 *Bottles*, amber, for storage of iodine and thiosulfate solutions.

5.7 *Funnels*, 100-mm top inside diameter.

5.8 *Filter Paper*, 18.5-cm prefolded paper, Whatman No. 2V or equivalent.

5.9 *Pipets*, volumetric type, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, and 100.0-mL capacity.

5.10 *Volumetric Flasks*, 1 L.

5.11 *Graduated Cylinders*, 100 mL and 500 mL.

6. Reagents

6.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.[8] Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

6.2 *Purity of Water*—References to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193 for Type II reagent water.

6.3 *Hydrochloric Acid*, concentrated.

6.4 *Sodium Thiosulfate*, ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$).

6.5 *Iodine*, United States Pharmacopeia, resublimed crystals.

6.6 *Potassium Iodide*.

6.7 *Potassium Iodate*, primary standard.

6.8 *Starch*, soluble potato or arrowroot.

6.9 *Sodium Carbonate*.

7. Hazards

7.1 Several potential hazards are associated with conducting this test procedure. It is not the purpose of this standard to address all potential health and safety hazards encountered with its use. The user is responsible for establishing appropriate health and safety practices before use of this test procedure. Determine the applicability of federal and state regulations before attempting to use this test method.

7.2 Personnel conducting the iodine number procedure should be aware of potential safety and health hazards associated with the chemicals used in this procedure. The "Material Safety Data Sheet" (MSDS) for each reagent listed in Section 6 should be read and understood. Special precautions to be taken during use of each reagent are included on the "Material Safety Data Sheet" (MSDS). First aid procedures for contact with a chemical are also listed on its "MSDS." A "Material Safety Data Sheet" for each reagent may be obtained from the manufacturer. Other safety and health hazard information on reagents used in this procedure is available.[9,10,11]

7.3 Careful handling and good laboratory technique should always be used when working with chemicals. Avoid contact with hydrochloric acid or acid vapor. Care should also be taken to prevent burns during heating of various solutions during this test procedure.

7.4 The user of this test method should comply with federal, state, and local regulations for safe disposal of all samples and reagents used.

8. Preparation of Solutions

8.1 *Hydrochloric Acid Solution* (5 % by weight)—Add 70 mL of concentrated hydrochloric acid to 550 mL of distilled water and mix well. A graduated cylinder may be used for measurement of volume.

8.2 *Sodium Thiosulfate* (0.100 *N*)—Dissolve 24.820 g of sodium thiosulfate in approximately 75 ± 25 mL of freshly boiled distilled water. Add 0.10 ± 0.01 g of sodium carbonate to minimize bacterial decomposition of the thiosulfate solution. Quantitatively transfer the mixture to a 1-L volumetric flask and dilute to the mark. Allow the solution to stand at least 4 days before standardizing. The solution should be stored in an amber bottle.

8.3 *Standard Iodine Solution* (0.100 ± 0.001 *N*)—Weigh 12.700 g of iodine and 19.100 g of potassium iodide (KI) into a beaker. Mix the dry iodine and potassium iodide. Add 2 to 5 mL of water to the beaker and stir well. Continue adding small increments of water (approximately 5 mL each) while stirring until the total volume is 50 to 60 mL. Allow the solution to stand a minimum of 4 h to ensure that all crystals are thoroughly dissolved. Occasional stirring during this 4-h period will aid in the dissolution. Quantitatively transfer to a 1-L volumetric flask and fill to the mark with distilled water. It is important that the standard iodine solution has an iodide-to-iodine weight ratio of 1.5 to 1. Store the solution in an amber bottle.

8.4 *Potassium Iodate Solution* (0.1000 *N*)—Dry 4 or more grams of primary standard grade potassium iodate (KIO_3) at 110 ± 5°C for 2 h and cool to room temperature in a desiccator. Dissolve 3.5667 ± 0.4 mg of the dry potassium iodate in about 100 mL of distilled water. Quantitatively transfer to a 1-L volumetric flask and fill to the mark with distilled water. Mix thoroughly and store in a glass-stoppered bottle.

8.5 *Starch Solution*—Mix 1.0 ± 0.5 g of starch with 5 to 10 mL of cold water to make a paste. Add an additional 25 ± 5 mL of water while stirring to the starch paste. Pour the mixture, while stirring, into 1 L of boiling water and boil for 4 to 5 min. This solution should be made fresh daily.

9. Standardization of Solutions

9.1 *Standardization of 0.100 N Sodium Thiosulfate*—Pipet 25.0 mL of potassium iodate (KIO_3) solution from 8.4 into a 250-mL titration (or wide-mouthed Erlenmeyer) flask. Add 2.00 ± 0.01 g of potassium iodide (KI) to the flask and shake the flask to dissolve the potassium iodide crystals. Pipet 5.0 mL

[8] "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopeia."

[9] The "Chemical Safety Data Sheet" for the subject chemical is available from the Manufacturing Chemists Association, Washington, DC.

[10] Sax, N. I., *Dangerous Properties of Industrial Materials*, 4th edition, 1975, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY.

[11] *NIOSH/OSHA Pocket Guide to Chemical Hazards*, 1978, U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Washington, DC. Available from U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

of concentrated hydrochloric acid into the flask. Titrate the free iodine with sodium thiosulfate solution until a light yellow color is observed in the flask. Add a few drops of starch indicator (8.5) and continue the titration dropwise until one drop produces a colorless solution. Determine sodium thiosulfate normality as follows:

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

where:
N_1 = sodium thiosulfate, N,
P = potassium iodate, mL,
R = potassium iodate, N, and
S = sodium thiosulfate, mL.

The titration step should be done in triplicate and the normality results averaged. Additional replications should be done if the range of values exceeds 0.003 N.

9.2 *Standardization of 0.100 ± 0.001 N Iodine Solution*—Pipet 25.0 mL of iodine solution (8.3) into a 250-mL widemouthed Erlenmeyer flask. Titrate with standardized sodium thiosulfate (9.1) until the iodine solution is a light yellow color. Add a few drops of starch indicator and continue titration dropwise until one drop produces a colorless solution. Determine the iodine solution normality as follows:

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

where:
N_2 = iodine, N,
S = sodium thiosulfate, mL,
N_1 = sodium thiosulfate, N, and
I = iodine, mL.

The titration step should be done in triplicate and the normality results averaged. Additional replications should be done if the range of values exceeds 0.003 N. The iodine solution concentration must be 0.100 ± 0.001 N. If this requirement is not met, repeat 8.3 and 9.2.

10. Procedure

10.1 The procedure applies to either powdered or granular activated carbon. When granular carbon is to be tested, grind a representative sample (see Practice E 300) of carbon until 60 wt % (or more will pass through a 325-mesh screen) and 95 wt % or more will pass through a 100-mesh screen (U.S. sieve series, see Specification E 11). Carbon received in the powdered form may need additional grinding to meet the particle size requirement given above.

10.2 Dry the ground carbon from 10.1 in accordance with Test Method D 2867. Cool the dry carbon to room temperature in a desiccator.

10.3 Determination of iodine number requires an estimation of three carbon dosages. Section 11.4 describes how to estimate the carbon dosages to be used. After estimating carbon dosages, weigh three appropriate amounts of dry carbon to the nearest milligram. Transfer each weighed sample of carbon to a clean, dry 250-mL Erlenmeyer flask equipped with a ground glass stopper.

10.4 Pipet 10.0 mL of 5 wt % hydrochloric acid solution into each flask containing carbon. Stopper each flask and swirl gently until the carbon is completely wetted. Loosen the stoppers to vent the flasks, place on a hot plate in a fume hood, and bring the contents to a boil. Allow to boil gently for 30 ± 2 s to remove any sulfur which may interfere with the test results. Remove the flasks from the hot plate and cool to room temperature.

10.5 Pipet 100.0 mL of 0.100 N iodine solution into each flask. Standardize the iodine solution just prior to use. Stagger the addition of iodine to the three flasks so that no delays are encountered in handling. Immediately stopper the flasks, and shake the contents vigorously for 30 ± 1 s. Quickly filter each mixture by gravity through one sheet of folded filter paper (Whatman No. 2V or equivalent) into a beaker. Filtration equipment must be prepared in advance so no delay is encountered in filtering the samples.

10.6 For each filtrate, use the first 20 to 30 mL to rinse a pipet. Discard the rinse portions. Use clean beakers to collect the remaining filtrates. Mix each filtrate by swirling the beaker and pipet 50.0 mL of each filtrate into a clean 250-mL Erlenmeyer flask. Titrate each filtrate with standardized 0.100 N sodium thiosulfate solution until the solution is a pale yellow. Add 2 mL of the starch indicator solution and continue the titration with sodium thiosulfate until one drop produces a colorless solution. Record the volume of sodium thiosulfate used.

11. Calculation

11.1 The capacity of a carbon for any adsorbate is dependent upon the concentration of the adsorbate in solution. The concentrations of the standard iodine solution and filtrates must be specified or known. This is necessary to determine an appropriate carbon weight to produce final concentrations agreeing with the definition of iodine number. The amount of carbon sample to be used in the determination is governed by the activity of the carbon. If filtrate normalities (C) are not within the range of 0.008 N to 0.040 N, repeat the procedure using different carbon weights.

11.2 Two calculations are required for each carbon dosage, as X/M and C.

11.2.1 To calculate the value of X/M, first derive the following values:

$$A = (N_2)(12693.0) \quad (3)$$

where:
N_2 = iodine, N (from 9.2).

$$B = (N_1)(126.93) \quad (4)$$

where:
N_1 = sodium thiosulfate, N (from 9.1).

$$DF = (I + H)/F \quad (5)$$

where:
DF = dilution factor,
I = iodine, mL (from 9.2),
H = 5 % hydrochloric acid used, mL, and
F = filtrate, mL.

For example, if 10 mL of HCl and 50 mL of filtrate are used: $DF = (100 + 10)/50 = 2.2$.

11.2.1.1 Calculate the value of X/M as follows:

$$X/M = [A - (DF)(B)(S)]/M \quad (6)$$

where:
X/M = iodine absorbed per gram of carbon, mg/g,
S = sodium thiosulfate, mL, and
M = carbon used, g.

11.2.2 Calculate the value of C as follows:

$$C = (N_1 S)/F \quad (7)$$

where:
C = residual filtrate, N,
N_1 = sodium thiosulfate, N, and
F = filtrate, mL.

11.3 Using logarithmic paper, plot X/M (as the ordinate) versus C (as the abscissa) for each of the three carbon dosages (see Fig. 1). Calculate the least squares fit for the three points and plot. The iodine number is the X/M value at a residual iodine concentration (C) of 0.02 N. The regression coefficient for the least squares fit should be greater than 0.995.

11.4 Carbon dosage may be estimated as follows:

$$M = [A - (DF)(C)(126.93)(50)]/E \quad (8)$$

where:
M = carbon, g,
A = (N_2) (12693.0),
DF = dilution factor (see 11.2.1),
C = residual iodine, and
E = estimated iodine number of the carbon.

Three carbon dosages are calculated using three values of C (usually 0.01, 0.02, and 0.03).

12. Report

12.1 The reports should include the following:

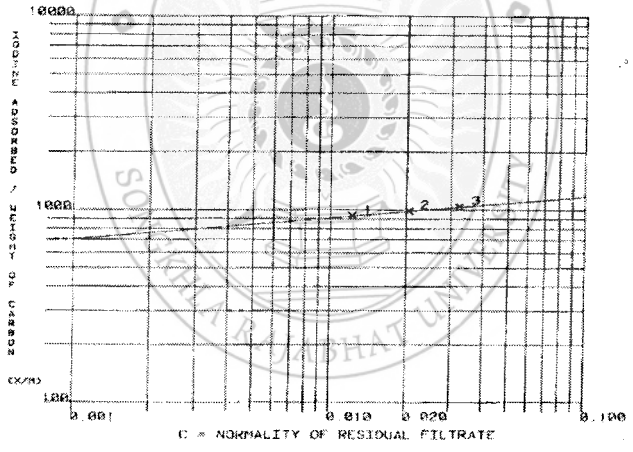
12.1.1 Complete identification of the sample, including source, manufacturer's lot number, and carbon type.

12.1.2 The iodine number adsorption isotherm, the iodine value with a 95 % confidence limit for the determination.

13. Precision and Bias [12]

13.1 Interlaboratory precision for this test method was determined by a round robin in which six laboratories participated. Activated carbon made from five different raw materials was used in the round robin.

[12] Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D28-1001.



LAB NO. 4 OCT '83-3
TDB NO. 604 PAGE 22
TECH. PRP

POINT 1		
X/M	-	932
C	-	0.012
POINT 2		
X/M	-	964
C	-	0.020
POINT 3		
X/M	-	1040
C	-	0.032
IODINE NO.	-	964
SLOPE	-	0.111
CORR. COEF.	-	0.999

FIG. 1 Activated Carbon Iodine Adsorption Isotherm

13.2 The following criteria should be used in determining the acceptability of the results:

13.2.1 *Repeatability (Within Laboratories)*—Precision of this test method in the determination of iodine number of activated carbons ranging from 600 to 1450 iodine number is ±5.6 % of the average value measured in milligrams iodine absorbed per gram of carbon. This range corresponds to 2*S*, or the 95 % confidence limits, as defined in Practice E 177. If two results determined in the same laboratory differ by more than 5.6 %, they should be considered suspect.

13.2.2 *Reproducibility (Between Laboratories)*—The between laboratory precision of this test method in the determination of iodine number of activated carbons ranging from 600 to 1450 iodine number, is ±10.2 % of the average value, as measured in milligrams of iodine absorbed per gram of carbon. This range corresponds to 2 *S* or the 95 % confidence limits, as defined in Practice E 177. Results obtained by two different laboratories which differ by more than 10.2 % should be considered suspect.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

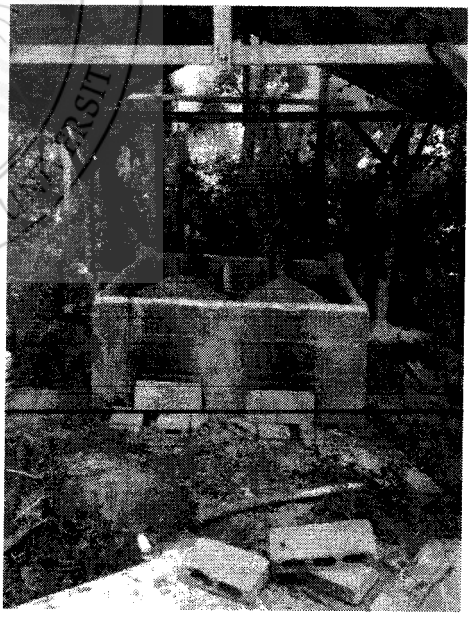
ภาคผนวก ง

ภาพประกอบการวิจัย

ภาพที่ 1 การเตรียมเตาเผาขนาด 200 ลิตร

ภาพที่ 2 น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผา

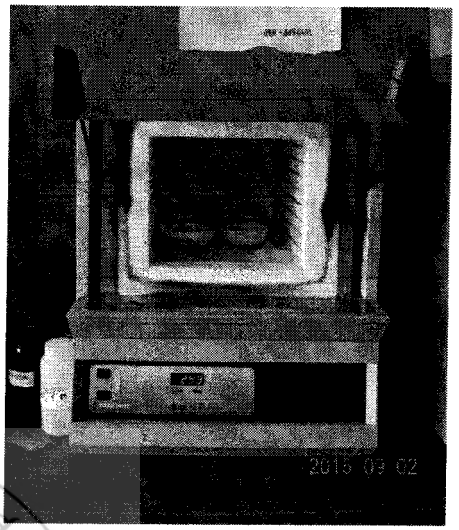
ภาพที่ 3 สังเกตควันเพื่อบ่งบอกอุณหภูมิในช่วงต่าง ๆ



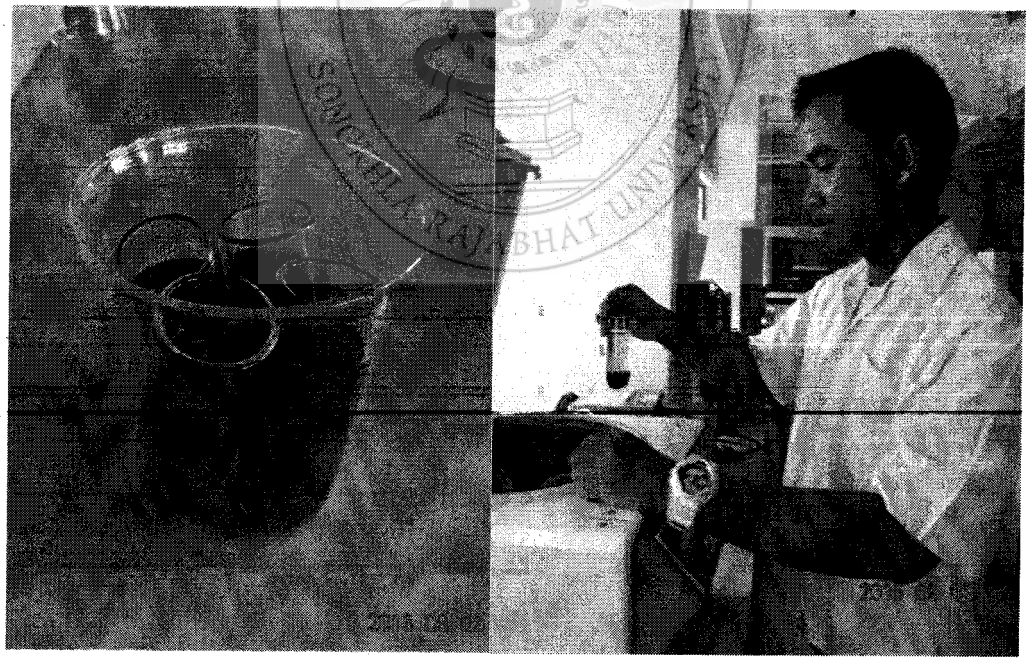
ภาพที่ 4 การเปิดปากเตาประมาณ 2 นิ้ว

SUKOTHAI RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ 5 การตุ้นถ่านที่สภาวะต่าง ๆ

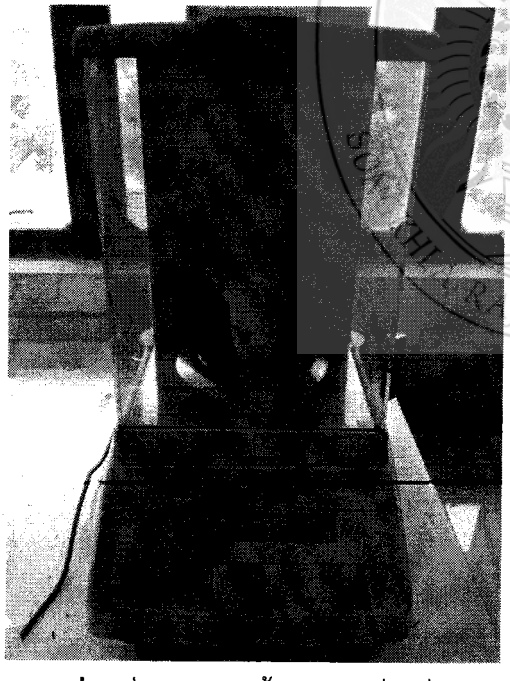


ภาพที่ 6 การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300C°

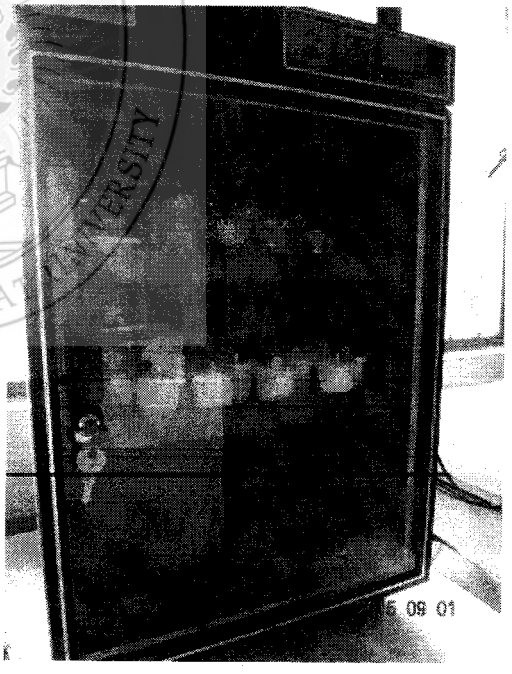


ภาพที่ 7 นำถ่านที่ไพโรไลซิสแล้ว หมุนเหวี่ยงในขั้นตอนการล้างถ่าน

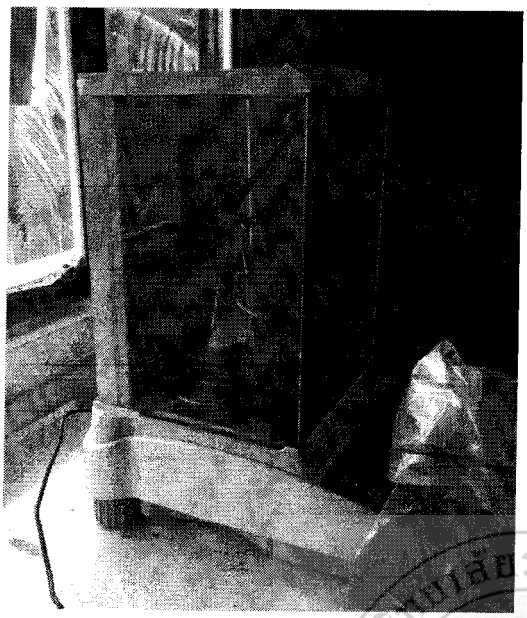
ภาพที่ 8 นำถ่านกัมมันต์ที่ได้เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น



ภาพที่ 9 ชั่งถ้วยกระเบื้องด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4ตำแหน่ง

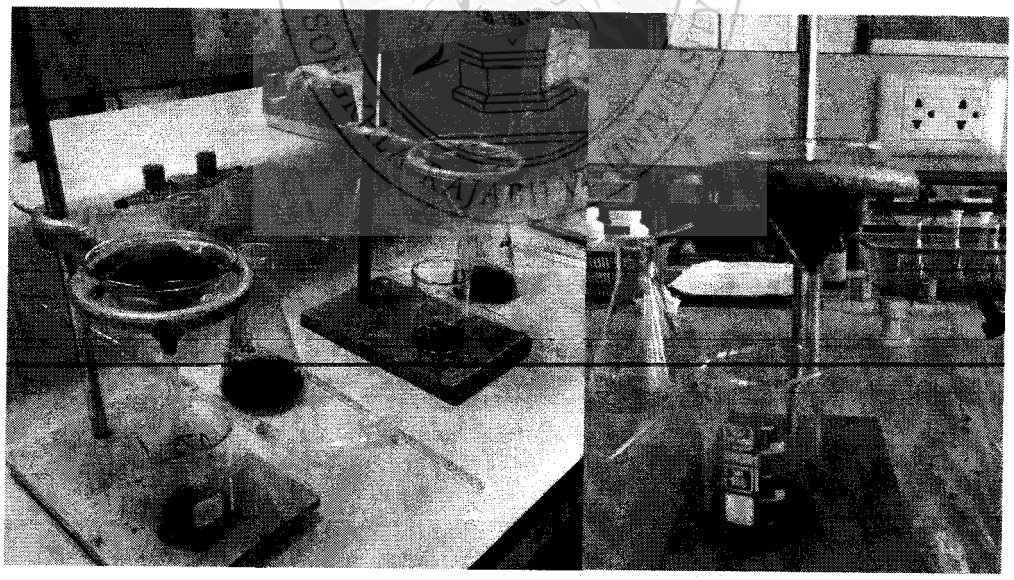


ภาพที่ 10 นำถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

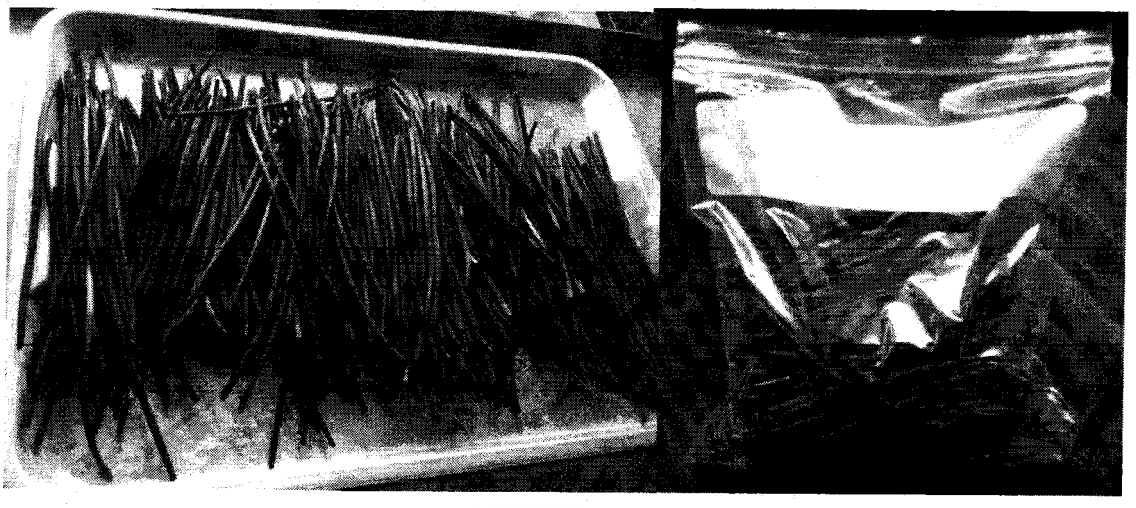


ภาพที่ 11 ชั่งถ่านกัมมันต์

ภาพที่ 12 ต้มถ่านกัมมันต์กับสารละลายเพื่อไล่ซัลเฟอร์

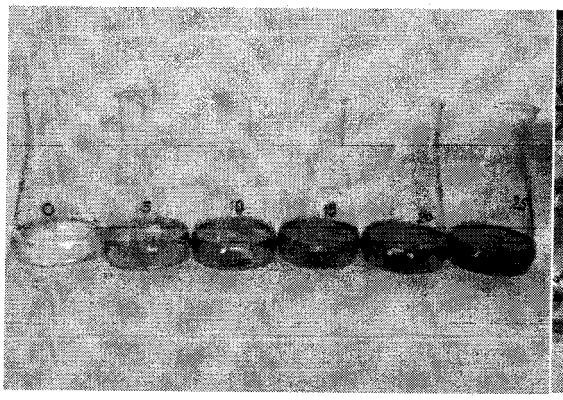


ภาพที่ 13 การกรองไอโอดีนจากถ่าน

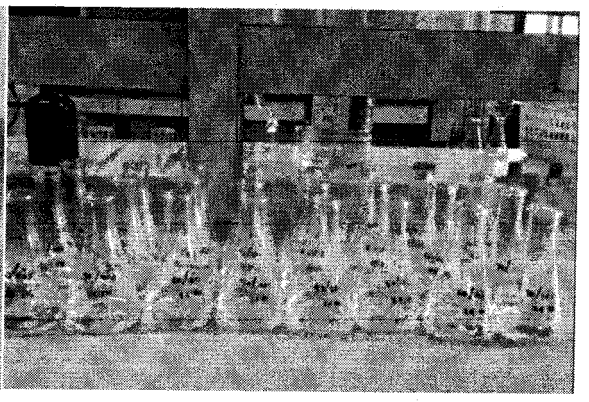


ภาพที่ 14 ถ่านจากตะเกียบไม้ไผ่ที่ได้จากการเผา

ภาพที่ 15 การบดและคัดขนาดถ่าน

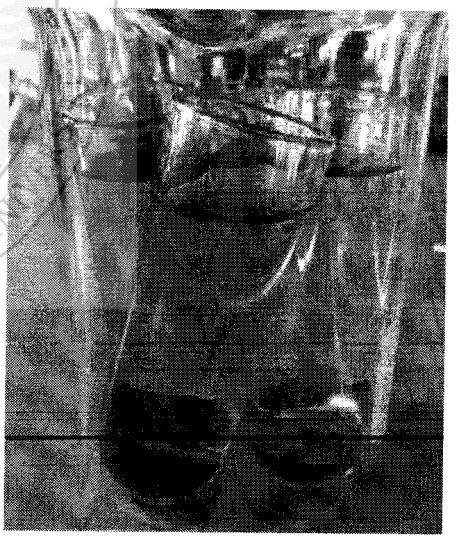


ภาพที่ 16 สารละลายฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

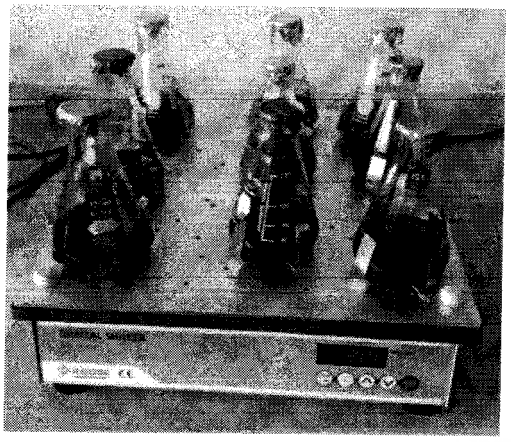


ภาพที่ 17 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตที่ใช้ถ่านดูดซับสภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ 18 ใช้ถ่านดูดซับฟอสเฟต



ภาพที่ 19 แยกสารละลายเพื่อนำส่วนที่ใสไปกรองอีกครั้ง



ภาพที่ 20 เขย่าในขั้นตอนการดูดซับ

ภาพที่ 21 กรองสารละลายเพื่อนำส่วนที่ใส ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

ภาพที่ 22 วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ 880 nm

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

1. ชื่อโครงการ

ภาษาไทย ถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

ภาษาอังกฤษ Activated carbon from disposable Bamboo chopsticks

2. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

3. ชื่อผู้วิจัย นายทศพร หะยามินทร์ รหัส 544291010
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาวสุธีภา เดชอรัญ รหัส 544291032
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาวหัตเวียน นาคสง่า รหัส 544291042
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา

4. คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์นรารัตน์ ทองศรีนุ่น
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์นัดดา โปดำ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมากและขนาดของรูพรุนก็แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น ถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นมักมีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพจะมีรูพรุนขนาดเล็ก ทำ

ให้ถ่านกัมมันต์ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การดูดซับสารเคมีและสารปนเปื้อนต่าง ๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เคมี ยา และทางการแพทย์ การทำน้ำและอากาศให้บริสุทธิ์ หรือการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะต้องเป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ถ่านพีท ถ่านลิกไนต์ กะลามะพร้าว ปาล์ม และไม้ เป็นต้น เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวมีองค์ประกอบคาร์บอนสูง สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กในปริมาณมาก ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี และวัตถุดิบดังกล่าวมีปริมาณมากในประเทศ

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย เช่น กะลามะพร้าว เศษไม้ ทะลายปาล์ม เมล็ดยางพารา หรือเปลือกผลไม้ เป็นต้น เนื่องจากมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน ราคาถูก และหาได้ง่าย รวมทั้งมีงานวิจัยที่มีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เผยแพร่มากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกด้วย

จากสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดีของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย กำจัดหรือดูดซับสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย โดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งแม้ว่าจะจัดเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ แต่หากปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณสูง อันเนื่องมาจากการใช้สารซักล้างหรือปุ๋ยที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากแหล่งน้ำสะสมธาตุอาหารที่กระตุ้นให้พืชบางประเภท เช่น สาหร่ายและวัชพืชในน้ำเจริญมากกว่าปกติ ทำให้มีพืชปกคลุมทั่วบริเวณผิวหน้าของน้ำ ออกซิเจนในน้ำลดลง แสงไม่สามารถส่องผ่านไปยังเบื้องล่างทำให้พืชใต้น้ำบางชนิดเติบโตไม่ได้ ทำให้น้ำเน่าเสียส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่อไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยคาดว่าอาจมีความเหมาะสมในการนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และศึกษาความสามารถในการดูดซับสารมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และลดปริมาณขยะอีกด้วย

6. วัตถุประสงค์

6.1 ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

6.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

7. สมมติฐาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้

8. ตัวแปร

8.1 ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable)คือ อัตราส่วนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ต่อปริมาณฟอสฟอรัส และเวลาที่ใช้ในการดูดซับฟอสฟอรัส

8.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable)คือ ประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

8.3 ตัวแปรควบคุม (control Variable)คือ สภาวะในการผลิตถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง ที่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

10. ขอบเขตการวิจัย

10.1 เตรียมวัตถุดิบและผลิตถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี

10.2 ศึกษาความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ

10.3 นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับการดูดซับฟอสฟอรัสในตัวอย่างน้ำเสีย

11. นิยามศัพท์เฉพาะ

11.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์(activated carbon) คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532, น.1)

11.2 คาร์บอไนเซชัน

คาร์บอไนเซชัน (carbonization) คือกระบวนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้นทำได้ง่ายโดยการเผาที่อุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส(ปรินทร, 2551, น. 9)ในระหว่างการคาร์บอไนเซชันธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ (ธราพงษ์, 2554, น. 19)

11.3 การกระตุ้น

การกระตุ้น (activation) คือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับสารอื่น ๆ ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (ธราพงษ์, 2554, น. 22)

11.4 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือผิวหน้า (interface) ระหว่างเฟส (phase) 2 เฟส เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) (ธราพงษ์, 2554, น. 56)

11.5 ตะเกียบ

ตะเกียบ (chopsticks) คืออุปกรณ์ในการรับประทานอาหารชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นแท่งสองแท่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ใช้สำหรับอาหารประเภทก๋วยเตี๋ยว ตะเกียบนิยมทำมาจาก ไม้ ไม้ไผ่ โลหะ และพลาสติก บางชนิดทำมาจากงาช้าง (วิกิพีเดีย, 2557)

11.6 น้ำเสีย

น้ำเสีย (waste water) คือน้ำที่มีสารใดๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่าง ๆ (ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร, ม.ป.ป)

11.7 ฟอสฟอรัส

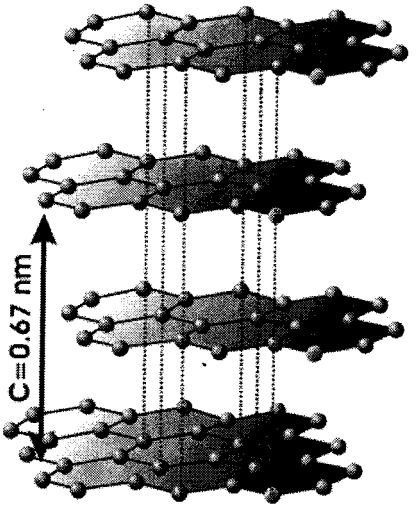
ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid, DNA) กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid, RNA) และอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) รวมทั้งในการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดินเพราะจะได้ฟอสฟอรัสจากการชะล้างหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟตโดยฝนและลมเท่านั้นให้กลายเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ในเกษตรกรรมจะใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ หากฟอสฟอรัสถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมากจะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ เกิดปรากฏการณ์ยูโทร-ฟิเคชัน (Eutrophication) ได้ (วิกิพีเดีย, 2556)

12. ตรวจเอกสาร

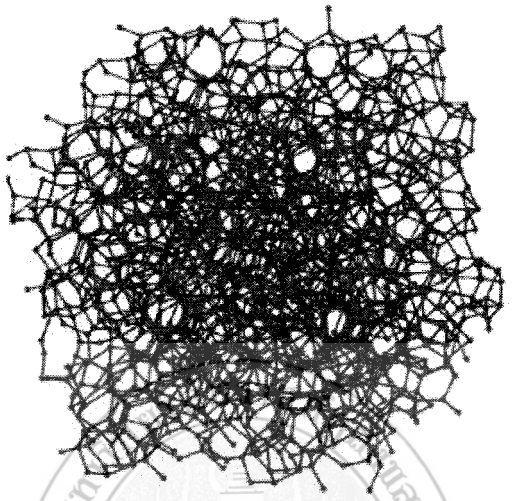
12.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์(activated carbon)คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532, น.1)ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง (ปรินทร์, 2551, น. 22)โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ (graphite) แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นอะตอมของคาร์บอนในรูปวงแหวนเบนซิน (benzene ring) หรือมีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม (regular hexagon) คาร์บอนอะตอมมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดหรือวาเลนท์อิเล็กตรอน (valence electron) ทั้งหมด 4 ตัว อะตอมของคาร์บอนแต่ละตัวจะสร้างพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) กับอะตอมที่อยู่ติดกัน โดยใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุด 3 ตัว และอิเล็กตรอนที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปทั่วโครงสร้างเกิดเป็นเรโซแนนซ์ (resonance) ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรยิ่งขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงวันเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) (ภาพที่ 12.1)

ความแตกต่างของโครงสร้างผลึกระหว่างถ่านกัมมันต์และแกรไฟต์คือถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆที่ไม่สมบูรณ์ มีการจัดเรียงตัวของผลึกที่เล็กมาก (microcrystallines) วางเรียงตัวระหว่างชั้นที่ไม่ตั้งฉากกัน (ภาพที่ 12.2) จึงเกิดช่องว่างระหว่างชั้นมากทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นน้อยกว่าโครงสร้างผลึกของแกรไฟต์ผลึกเล็ก ๆ เหล่านี้จัดเรียงตัวกันทำให้เกิดรูพรุนทั่วไปบนผิวถ่านกัมมันต์ และรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับ (adsorption) สารต่าง ๆ ได้(สิงหเดช, 2552, น. 5;ธราพงษ์, 2554, น. 62; สมร, 2554, น. 8)



ภาพที่ 12.1 โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์
ที่มา (www.desotec.com/activated-carbon/chemical-strocture-of-activated-carbon/)



ภาพที่ 12.2 โครงสร้างผลึกของคาร์บอนอสัณฐาน
ที่มา (wwwchemicool.com/elements/carbon.html)

12.2 ขนาดและปริมาตรรูพรุน

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ จะมีขั้นตอนที่ทำให้ถ่านมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียองค์ประกอบของคาร์บอนระหว่างช่องผลึก รูพรุนที่เกิดขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area)มากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงรูพรุนที่เกิดขึ้นจะอยู่ลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความลึกที่ไม่เท่ากัน ไม่สามารถบอกรูปร่างของรูพรุนได้แน่นอน บางรูพรุนมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี จากลักษณะและขนาดของรูพรุน สามารถแบ่งรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด (ธราพงษ์, 2554, น. 67; สมร, 2554, น. 10) คือ

12.2.1 รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) มีรัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100-200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยมาก

12.2.2 รูพรุนขนาดกลาง (mesoporesor transitionalpores)มีรัศมีของรูพรุนอยู่ระหว่าง 1.5-100 นาโนเมตรปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม

12.2.3 รูพรุนขนาดเล็ก (micropores)มีรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวจำเพาะมีจำนวนมากประมาณ 600-1,200 ตารางเมตรต่อกรัม หรือร้อยละ 95 ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุน

การเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เช่น ความพรุนเพิ่มขึ้นแสดงว่าพื้นที่ผิวมากและการดูดซับสูงด้วย ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุนของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุดิบ อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น อัตราการให้ความร้อน (จักรกฤษ์, 2554, น. 17)

12.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งชนิดออกโดยอาศัยเกณฑ์ต่างๆ (ธราพงษ์, 2554, น. 2; สมร, 2554,
น. 13) ได้แก่

12.3.1 แบ่งตามขนาดของอนุภาค

12.3.1.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular activated carbon)เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ ได้จากการอัดเป็นเส้นกลมๆ แล้วตัดออกเป็นท่อนเท่าๆ กันโดยผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ดซึ่งได้จากการย่อยอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ได้เพียงร้อยละ 5 โดยน้ำหนักถ่านกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

12.3.1.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powder activated carbon)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร มากกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงซึ่งได้จากการลดขนาด ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการดูดซับของเหลว

12.3.2 แบ่งตามชนิดตัวกระตุ้น

12.3.2.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เป็นตัวกระตุ้นในการทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน เช่นซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น และมักจะเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

12.3.2.2 ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซไปออกซิไดซ์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ไอน้ำ และอากาศเป็นต้น โดยถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

12.3.3 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

12.3.3.1 ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับก๊าซ (gas adsorbent)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซพิษ กลิ่น และไอของสารระเหย ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง (hard artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ หรือถ่านไม้ที่เผาความดันสูง เป็นต้น

12.3.3.2 ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับสี (color adsorbent)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประโยชน์ในการฟอกสีสารละลาย ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน (solf artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากหินน้ำมัน หรือถ่านจากกากน้ำตาล เป็นต้น

12.3.3.3 ถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับโลหะ (metal adsorbent)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกโลหะชนิดต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้แยกเงิน ทอง หรือแพลตินัมจากแร่ เป็นต้น

12.3.4 แบ่งตามความหนาแน่น

12.3.4.1 ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 กรัม/มิลลิลิตร) ใช้ประโยชน์ในการดูดซับสารที่อยู่ในสถานะสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลหรือทำน้ำให้บริสุทธิ์เป็นต้น

12.3.4.2 ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 กรัม/มิลลิลิตร) นิยมบรรจุอยู่ในเบดนิ่ง (fixed bed) ใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือไอระเหยเป็นต้น

12.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ได้มีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหน้าที่ของถ่านกัมมันต์จะแตกต่างกันไป (สมร, 2554, น. 14)เช่น

12.4.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซและไอระเหย

ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารระเหยได้ รวมทั้งใช้แยกก๊าซให้บริสุทธิ์ และแยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยในช่วงอุณหภูมิห้องและคายการดูดซับ (desorption) ออกที่สภาวะความดันของไอต่ำ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการกำจัดก๊าซเจือปนออก เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ หรือสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ เป็นต้น ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีที่ออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ในหน่วยปฏิกิริยา (reactor) ทำให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (activated carbon bed) และนิยมนำมาใช้กำจัดกลิ่นจากอากาศในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นลดน้อยลง

12.4.2 ประเภทที่ใช้กับของเหลว

อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่ ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารเพื่อดูดซับกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นๆ เพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาลใช้สำหรับฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมีและยาใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst support)เช่น ตัวรองรับสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) เป็นต้น รวมทั้งใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดซับกลิ่นและฟอกสี และถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

12.5 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ลักษณะและสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การเผาให้เป็นถ่านหรือคาร์บอไนเซชัน (carbonization) หรือไพโรไลซิส (pyrolysis) และการกระตุ้น (activation) (สิงหเดช, 2552, น. 7; ธราพงษ์, 2554, น. 18; สมร, 2554, น. 5)

12.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว และถ่านหิน สามารถเริ่มการผลิตจากวัตถุดิบโดยตรงหรือวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้ว โดยการนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนนำไปคาร์บอไนเซชัน หากวัตถุดิบบางชนิดมีความแข็งและเหนียว ทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก สามารถนำวัตถุดิบไปผ่านคาร์บอไนเซชันก่อนแล้วจึงนำมาบดคัดขนาด

12.5.2 การเผาให้เป็นถ่านหรือคาร์บอไนเซชัน

คาร์บอไนเซชันเป็นขั้นตอนการผลิตที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกที่ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุน เป็นการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านในที่อับอากาศ อุณหภูมิในการเผาประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส ระหว่างคาร์บอไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ ได้ถ่านคาร์บอนที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของผลึกที่ไม่เป็นระเบียบ มีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึกโดยมีสารอนินทรีย์ที่มาจากการเผาไหม้อุดช่องว่างเหล่านั้นไว้ ถ่านคาร์บอนที่ได้มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจน และคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในขั้นตอนแรกด้วย ขั้นตอนย่อย ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอไนเซชันประกอบด้วย ขั้นตอนการ

สูญเสียน้ำออกจากวัตถุดิบอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง27 – 197 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการเข้าสู่ไพโรไลซิส โดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์จากการเผาไหม้ในโครงสร้าง อยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 197 – 497 องศาเซลเซียส และขั้นตอนที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ (char) โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมาก อยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 497 – 847 องศาเซลเซียสเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ จะต้องมีการปรับสภาวะในขั้นตอนคาร์บอไนเซชันให้เหมาะสม ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่

12.5.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณการเกิดถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซจะเพิ่มมากขึ้นการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ

12.5.2.2 อัตราการให้ความร้อน

การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว จะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านคาร์บอนที่ได้จากคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น

12.5.2.3 ตัวกลางของตัวเร่งปฏิกิริยา

ก๊าซและไอที่เกิดระหว่างคาร์บอไนเซชันจะถูกนำออกไปอย่างรวดเร็วโดยก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน และก๊าซจากเผาไหม้ เป็นต้น ถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าการใช้ตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจนแต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นสูงกว่า

12.5.2.4 ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดจะมีสภาวะในขั้นตอนคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกันโดยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุด

12.5.3 การกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นการทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น โดยเป็นการเพิ่มจำนวนรูพรุนเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับขึ้นมาแทน และเป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้วรวมทั้งเป็นการกำจัดอินทรียวัตถุหรืออนินทรียวัตถุที่เป็นสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่ผิวที่ทำหน้าที่ดูดซับ(active center)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบคือ

12.5.3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation)เป็นการให้ความร้อนในการกระตุ้นไม่เกิน1,000องศาเซลเซียสใช้ก๊าซเป็นตัวกลางทำให้เกิดออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นบนถ่าน ก๊าซที่นิยมใช้ เช่น ไอน้ำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนเป็นต้น

12.5.3.2 การกระตุ้นทางเคมี (chemical activation)เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้นและทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอนโดยใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500 - 900 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

ในปัจจุบันนิยมใช้ตัวกระตุ้น ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือแอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl) เป็นต้น ข้อดีของการใช้สารเคมีในการกระตุ้น คือ สารเคมีสามารถแทรกซึมไปสู่ผิวถ่านอย่างทั่วถึง ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพ ใช้เวลาสั้นกว่าและอุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งประหยัดพลังงานได้ แต่มีข้อด้อย คือ การล้างสารเคมีออกทำได้ยากและสารเคมีที่ใช้มีราคาแพง เป็นต้น

12.6 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์จะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ วัตถุดิบที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้มีหลายชนิดทั้งที่มาจากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านพีท ถ่านลิกไนต์ กะลามะพร้าว ปาล์ม และไม้ เพราะถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีรูพรุนเป็นจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงเป็นต้น

สมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีลักษณะสำคัญคือมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงมีปริมาณสารระเหยต่ำเป็นของเหลือทิ้ง หาง่าย และมีราคาถูก และมีคุณสมบัติคงที่(ธราพงษ์, 2554, น. 12)

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีความสะดวกในการนำมาใช้ ราคาถูก และหาได้ง่าย แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติไม่คงที่ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ทำให้ยากต่อการควบคุมการกระจายขนาดของรูพรุนในขั้นตอนการผลิต (ธาราพงษ์, 2554, น. 12)

12.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุสรณ์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการนำกะลามะพร้าวที่ผ่านการเผาแล้วมาคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600-700

องศาเซลเซียสจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาณและศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีของสารละลาย 3 ชนิดคือ ไอโอดีน เมทธีลีนบลูและเมธิลออเรนจ์ โดยการนำถ่านกัมมันต์แช่ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด ในเวลาที่ต่างกัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Visible spectrophotometry) และเปรียบเทียบการดูดซับสีกับถ่านธรรมดา พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.76 ปริมาณเถ้าร้อยละ 9.56 ความหนาแน่นเชิงปริมาณร้อยละ 0.6533 และดูดซับสีได้ดีในชนิดผงและจะดูดซับไอโอดีนดีที่สุด รองลงมาคือเมทธีลีนบลูและเมธิลออเรนจ์ตามลำดับ

สุพรรณ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยศึกษา อัตราส่วนโดยมวลของซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านไม้ไผ่และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ โดยการหาค่าการดูดซับไอโอดีนค่าปริมาณความชื้น ไอโซเทอร์มการดูดซับเมทธิลีนบลูสเปคตรัมของถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบกับสเปคตรัมของถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวด้วยเมทธิลีนบลู และประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายตะกั่ว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่โดยวิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์คืออัตราส่วนโดยมวลของซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านไม้ไผ่เท่ากับ1 ต่อ 1 และอุณหภูมิในการกระตุ้นคือ 900 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ857.86 มิลลิกรัมต่อกรัม มีความชื้นร้อยละ0.100เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์แล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ ไอโซเทอร์มการดูดซับเมทธีลีนบลูของถ่านกัมมันเป็นไอโซเทอร์มชนิด(H) มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 26.27 ตารางเมตรต่อกรัม การดูดซับเมทธีลีนบลูของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับทางกายภาพ และถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายตะกั่วร้อยละ51.33หรือเท่ากับ1.68 มิลลิกรัมต่อกรัม

วรรณรัก นพเจริญกุล (2548) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม โดยคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที และเปรียบเทียบสมบัติถ่านกัมมันต์จากทะลายปาล์มน้ำมันระหว่างการกระตุ้นทางกายภาพและการกระตุ้นทางเคมี เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา ขนาด และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้กระตุ้น พบว่าการกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์จากทะลายปาล์มน้ำมันโดยสภาวะที่เหมาะสมคือถ่านขนาด 1.18-2.36 มิลลิเมตรเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร อัตราส่วนระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และถ่านทะลายปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1 ต่อ1 ใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที สมบัติของถ่านที่ได้มี ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรเท่ากับ0.346 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ1308 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทธีลีนบลูเท่ากับ248 มิลลิกรัมต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์เกรดทางการค้า ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากทะลายปาล์มน้ำมันที่มีคุณภาพดีได้

ปรินทร เต็มญารศิลป์ (2551) ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋ อายุ 1-3 ปี จากบริเวณจังหวัดกาญจนบุรี โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดไนตริกพบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณและความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับพันธุ์และชนิดของไผ่ ชนิดของสารกระตุ้น และสภาวะในการกระตุ้น จากนั้นได้ศึกษาการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลู การดูดซับไอโอดีน พบว่าอุณหภูมิในการคาร์บอไนเซชันของไผ่ตงและไผ่หมาจู๋เท่ากับ450 องศาเซลเซียส ไผ่ตงอายุ 2 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 เป็นเวลา 4 ชั่วโมงให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงเท่ากับ 615.84 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดสารละลายสีเมทธิลีนบลูได้ 8.4674 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนไผ่หมาจู๋อายุ 3 ปี ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดเท่ากับ 277.24 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดสารละลายสีเมทิลีนบลูได้ 8.4746 มิลลิกรัมต่อกรัม

ไชยยันต์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำจากนั้นทดสอบพื้นที่ผิวของถ่านเปลือกเมล็ดยางพาราโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas sorption analyzer เมื่อคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าถ่านเปลือกเมล็ดยางพารามีพื้นที่ผิวสูงสุด เท่ากับ426.0 ตารางเมตรต่อกรัมเมื่อคาร์บอไนเซชันที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิต (yield) ที่ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.98 และเมื่อคาร์บอไนเซชันที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ633.1 ตารางเมตรต่อกรัมโดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ที่ได้อยู่ในช่วงเมโซพอร์ เท่ากับ2.3-2.9 นาโนเมตร

พีระพงษ์ เนียมเสวก (2552) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุดโดยคาร์บอไนเซชัน 3 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นไอน้ำความร้อนสูงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 6.48 ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นไอน้ำความร้อนสูงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 0.458 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้านปริมาณเถ้ามีค่าต่ำสุดมีเท่ากับร้อยละ 11.61 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 917.44 มิลลิกรัมต่อกรัม

สิงหเดช แตงจวง (2552) ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมะพานต์ โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และทางกายภาพด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเผาที่อุณหภูมิ850 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีโครงสร้างรูพรุน ค่าพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน KOH/char เท่ากับ 1 และกระตุ้นด้วย CO_2เป็นเวลา 20-150 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 222 เป็น 627 ตารางเมตรต่อกรัมและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยอัตราส่วน KOH/char เท่ากับ 4 ใช้เวลาการกระตุ้นเท่ากันมีค่า BET เพิ่มขึ้นจาก 682เป็น1120 ตารางเมตรต่อกรัมถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าพื้นที่ผิวที่สูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงที่มีขายในเชิงพานิชย์ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ยังสามารถนำมาดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท

แคดเมียม และโครเมียม อีกด้วย ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมะพานต์นี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย เช่น เป็นวัสดุกักเก็บก๊าซ ใช้เป็นวัสดุในการดูดซับโลหะหนักเพื่อบำบัดน้ำเสีย หรือทำให้น้ำดื่มบริสุทธิ์

สุนิดา เถาว์โท (2554) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลด้วยถ่านกัมมันต์โดยทำการทดลองแบบแบตช์ (batch) และศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาปั่นกวน ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสังกะสีและนิกเกิล โดยพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ3 กรัม ดูดซับสารละลายมาตรฐานซิงค์ซัลเฟตและนิกเกิลซัลเฟต เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาในการปั่นกวน 30 นาที พีเอชเท่ากับ 7 และ 5 ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลได้เฉลี่ยร้อยละ 86.46 และ 82.18 ตามลำดับ

สมร หิรัญประดิษฐกุล (2554) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเศษเปลือกเมล็ดสบู่ดำด้วยวิธีการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอไนเซชันภายใต้ก๊าซไนโตรเจนและผ่านการกระตุ้นผสมทางเคมีและกายภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกระตุ้นต่อเนื่องด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 600-900 องศาเซลเซียส พบว่าเศษเปลือกสบู่ดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีปริมาณคาร์บอนคงที่ร้อยละ17.29 ปริมาณความชื้นร้อยละ12.07 ปริมาณสารระเหยร้อยละ76.16 และปริมาณเถ้าร้อยละ6.55 และเมื่อนำไปสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์ ปริมาณสารระเหยจะลดลงแต่ปริมาณคาร์บอนคงที่จะเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากงานวิจัยที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดต่างๆ ถูกเผยแพร่มากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็ถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้ง โดยคาดว่าอาจมีความเหมาะสมในการนำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ และนำไปใช้ในการดูดซับสารมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และลดปริมาณขยะอีกด้วย

12.7 ไม้ไผ่

ไผ่เป็นไม้พุ่มมีหลายชนิดและหลายสกุล จัดอยู่ในวงศ์หญ้าPoaceae (เดิมคือ Gramineae) วงศ์ย่อย *Bambusoideae*(วิกิพีเดีย, 2557)เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักกันดีทั่วโลก มีความเกี่ยวพันกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มาอย่างช้านาน ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีส่วนประกอบคือ เหง้า หน่อและลำไผ่ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขว้าง เช่น

ภาพที่ 12.3 ต้นไผ่
ที่มา (http://www.herb-health.com/2013/01/blog-post_8443.html)

ด้านระบบนิเวศวิทยาเป็นพืชปกคลุมดินรักษาหน้าดินให้อุดมสมบูรณ์ ช่วยกักเก็บน้ำบนที่สูงซึ่งเป็นต้นกำเนิดแหล่งน้ำหรือแม่น้ำ ช่วยยับยั้งการพังทลายของหน้าดิน และบรรเทาอุทกภัยจากน้ำป่าไหลหลากรักษาระบบนิเวศวิทยา เป็นที่อยู่อาศัยและอาหารของพืชและสัตว์หลากหลายชนิด ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน ลดแรงปะทะจากลมพายุต่าง ๆ เป็นต้น

ด้านอาหารและยารักษาโรคเนื่องจากส่วนประกอบของต้นไผ่คือ หน่อ ลำอ่อน และใบเป็นอาหารหลักที่สำคัญของสัตว์ป่าหลายชนิด สำหรับมนุษย์ก็เช่นเดียวกันมีการนำหน่อไม้มาปรุงเป็นอาหารหลากหลายรูปแบบ ทำให้อาหารที่ทำจากหน่อไผ่มีหลายประเภท สร้างสีสันให้กับธุรกิจการปลูกไผ่เป็นอย่างมาก ในส่วนลำต้นของไผ่บางชนิดก็สามารถนำมาทำเป็นอาหารได้ โดยการนำมาทำเป็นเนื้อเยื่อห่อหุ้มข้าว เช่น ไผ่ข้าวหลาม เป็นต้น ส่วนสำคัญของไผ่ที่ใช้เป็นยาคือ รากและใบ นำไปตากแห้ง โดยเฉพาะส่วนยอดอ่อนปลายสุดของใบที่กำลังม้วนอยู่ จะมีรสหวาน นำไปตากแห้งแล้วชงแบบชาดื่มทุกวันจะทำให้ร่างกายแข็งแรงช่วยในการรักษาโรคไต คนเขมรเชื่อว่าน้ำมันจากลำต้นไผ่สามารถรักษาโรคหอบหืดได้ ส่วนที่เป็นหน่อใช้ในการรักษาโรคหนองใน โรคไต และโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ ในประเทศฟิลิปปินส์ชาวบ้านเชื่อว่าไผ่เหลืองสามารถรักษาโรคดีซ่านและรากไผ่สามารถรักษาโรคไต แต่ขนที่ติดมาตามกาบที่ห่อหุ้มลำต้นจะเป็นพิษทำให้ระคายเคืองเป็นต้น

ด้านประโยชน์ใช้สอยและทางด้านเชิงพาณิชย์สามารถนำเอาลำต้นมาทำเป็นที่พักอาศัย ทำรั้ว ทำรางรองน้ำฝนหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของบ้านเป็นต้น ทำเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ทำของตกแต่งบ้าน ทำของที่ระลึกตามแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ด้วยรูปแบบตามวัฒนธรรมท้องถิ่น นำเอาลำต้นมาเป็นเครื่องมือทางการเกษตร และทำอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการค้า นำไปทำเป็นอุปกรณ์ดักจับสัตว์ ทำอุปกรณ์ใช้ในครัวเรือน ประดิษฐ์เป็นเครื่องดนตรี เป็นต้น

ด้านงานประเพณี พิธีกรรมหรือความเชื่อไม้ไผ่กับงานประเพณีและพิธีกรรมต่าง ๆ นั้น มีความสัมพันธ์กันช้านาน เช่น งานบุญบั้งไฟที่เอาไม้ไผ่มาทำหางบั้งไฟ การทำต้นดอกผึ้งในงานประเพณีแห่เทียนเข้าพรรษา เป็นต้น(buarinbudtao, 2553)

12.8 ฟอสฟอรัส

12.8.1 ฟอสฟอรัส (phosphorus) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ สารประกอบของฟอสฟอรัสในน้ำสามารถพบได้ในรูปแบบต่าง ๆ (เพ็ญ, 2543) ดังนี้

12.8.1.1 ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate, PO^{-3}_4) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำ ออร์โธฟอสเฟตมาจากอุตสาหกรรม ผงซักฟอกและอื่น ๆ เช่น ถูกใช้เพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา แต่ขึ้นอยู่กับค่าพีเอสของน้ำเสียชนิดนั้น ด้วยที่พบมากได้แก่ ไตรโซเดียมฟอสเฟต(trisodium phosphate, Na_3PO_4)ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate, Na_2HPO_4)โมโนโซเดียมฟอสเฟต(monosodium phosphate, NaH_2PO_4) หรือไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diamonium phosphate, $(NH_4)_2HPO_4$)เป็นต้น

12.8.1.2 พอลิฟอสเฟต(polyphosphate,P_2O_7) พอลิฟอสเฟตเมื่อแตกตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นออร์โธฟอสเฟตพอลิฟอสเฟตที่พบได้แก่ โซเดียมเฮกซะเมตะฟอสเฟต(sodium hexametaphosphate, $Na_3(PO_4)_6$)โซเดียมไตรพอลีฟอสเฟต(sodium tripolyphosphate, $Na_5P_3O_{10}$)
เตตระโซเดียม ไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate, $Na_5P_2O_7$)เป็นต้น

12.8.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต(organic phosphate) เป็นสารประกอบที่สำคัญรองจากสารอินทรีย์ของน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนและเป็นสารประกอบที่สำคัญของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในระบบน้ำเสียทั่วๆไปหรือการทำให้น้ำในแม่น้ำสะอาดขึ้นตามธรรมชาติ พบมากได้แก่ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid),ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เป็นต้น

12.8.2 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมาจากแหล่งกำเนิดทั้งที่ทราบแหล่งที่มาที่แน่นอน เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีการใช้ฟอสฟอรัสเช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตผงซักฟอกและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร น้ำเสียจากชุมชน เกิดจากฟอสเฟตที่มาจากเศษอาหารหรือน้ำอุปโภคบริโภคและผงซักฟอกในการซักล้างหรือทำความสะอาด และฟอสฟอรัสที่ไม่ทราบแหล่งที่มาที่แน่นอน เช่น น้ำเสียจากการกสิกรรม เกิดจากปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการเกษตรถูกน้ำชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสียจากการปศุสัตว์ เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ในรูปฟอสฟอรัสเช่น เป็ด วัว ไก่ สุกร เป็นต้น (เพ็ญ, 2543)

12.8.3 ลักษณะของน้ำเสียจากอาคาร

น้ำเสียจากอาคาร เป็นน้ำเสียที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค น้ำที่ใช้จะถูกระบายเป็นน้ำทิ้งออกมา ส่วนมากจะเป็นน้ำจากส้วมและจากการชำระล้าง ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ สบู่ ผงซักฟอก เศษอาหาร ไขมัน สารอนินทรีย์ และสิ่งปฏิกูลอื่นๆ ก่อให้เกิดผลเสียต่อแม่น้ำลำคลอง ช่วยเพิ่มสารอาหาร ทำให้พืชน้ำและสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อตายลงจะทำให้เกิดสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มขึ้น สารอินทรีย์ที่มาจากน้ำทิ้ง มีจำนวนมากจะถูกย่อยสลายโดยแอโรบิกแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำ เมื่อเกิดการใช้ออกซิเจนในอัตราที่สูงกว่าอัตราที่ออกซิเจนในอากาศละลายลงในน้ำ ก่อให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจน ทำให้น้ำกลายเป็นสีดำมีกลิ่นเหม็นส่วนสารอื่นๆ ที่ปนมา เช่น สารอนินทรีย์จะเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ทำให้คุณภาพน้ำทิ้งไม่ได้มาตรฐานและเสียประโยชน์ใช้สอยไป นอกจากนี้ถ้าน้ำทิ้งมีเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย และไวรัส ก็จะทำให้เกิดโรคได้(องค์การจัดการน้ำเสีย, 2540)

12.8.4 ผลกระทบของฟอสฟอรัส

ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เป็นหนึ่งในผลกระทบจากฟอสฟอรัสที่มีต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำอย่างมาก เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำสูงขึ้น ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันเนื่องจากพืชบางประเภท เช่น สาหร่ายและวัชพืชในน้ำเจริญมากกว่าปรกติ ทำให้มีพืชปกคลุมทั่วบริเวณผิวหน้าของน้ำออกซิเจนในน้ำลดลง แสงส่องลงไปไม่ถึงข้างล่างทำให้พืชบางชนิดเติบโตไม่ได้ทำให้น้ำเน่าเสีย ส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อชุมชนริมน้ำและระบบนิเวศ(น้ำเย็น, 2550)

12.8.5 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส

กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้ 3 วิธี (เพ็ญ, 2543) ดังนี้

12.8.5.1 การกำจัดฟอสฟอรัสทางเคมี เป็นกระบวนเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารละลายให้อยู่ในรูปของตะกอน โดยการเติมสารเคมีที่เป็นตัวก่อตะกอนลงไปในน้ำเสีย การตกตะกอนขึ้นอยู่กับความสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายในน้ำของสารนั้น ๆ สารก่อตะกอนที่ใช้ เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมอลูมิเนต เฟอริคคลอไรด์ และปูนขาว เป็นต้น

12.8.5.2 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ อาศัยหลักการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่อาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบที่ให้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารประกอบที่ให้พลังงานดำรงชีวิต สารอนินทรีย์ และสารที่ต้องการเพียงเล็กน้อย มีขั้นตอนเริ่มจากจุลินทรีย์ในสภาพที่เป็นแอนแอโรบิก (anaerbic) แล้วตามด้วยสภาพที่เป็นแอโรบิก (aerobic) และปล่อยให้จุลินทรีย์ตกตะกอน ทำให้ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยการระบายตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบออกจากระบบ

12.8.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพ จะใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) โดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) เป็นตัวดูดซับฟอสเฟตเอาไว้ สารดูดซับที่ใช้ เช่น activated alumina และยังใช้สารดูดซับอื่น ๆ มากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการผลิตถ่านกัมมันต์ใช้วัสดุเหลือทิ้ง คือตะเกียบไม้ไผ่จากร้านกะทะร้อน ตะเกียบที่ได้จะถูกนำมาล้างทำความสะอาด อบแห้ง คัดขนาด แล้วนำไปสังเคราะห์เป็นถ่านกัมมันต์ (สุพรรณ, 2547, น. 25-26)

13.1 วิธีผลิตถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่

13.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

13.1.1.1 นำวัตถุดิบที่คือ ตะเกียบไม้ไผ่ นำมาตากแห้ง

13.1.1.2 จากนั้นนำมาเผาโดยขุดหลุมให้กว้างเท่ากับปากปี๊บ

13.1.1.3 นำมาเผาในหลุมที่เตรียมไว้และใช้ปี๊บครอบ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไป

13.1.1.4 เมื่อเผาเสร็จนำไปตากแดดให้แห้ง จะได้ถ่านเพื่อนำไปเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ต่อไป

13.1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

13.1.2.1 นำตะเกียบไม้ไผ่ที่เผาเป็นถ่านมาบดให้ละเอียดแล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน

13.1.2.2 นำถ่านที่ได้จากตะเกียบไม้ไผ่ชนิดใช้แล้วทิ้งมาผสมกับกรดฟอสฟอริก ให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น เท่ากับ 1:3 (ถ่าน : กรดฟอสฟอริก)

13.1.2.3 ช่างถ่าน 15 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

13.1.2.4 ทำการเติมกรดฟอสฟอริก 45 มิลลิลิตร กระตุ้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 , 60 และ 120 นาที

13.1.2.5 นำถ่านไป pyrolysed ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในตู้อบ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็น

13.1.2.6 ทำการล้างถ่านด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้งจนกระทั่งวัดค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าเป็นกลาง

13.1.2.7 อบถ่านที่ได้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นจะได้ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก

13.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายฟอสฟอรัส

13.1.3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

13.1.3.2 นำมาตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยใช้วิธีAscorbic acid method ก่อนใส่ถ่านกัมมันต์ลงไป

13.1.3.3 ชั่งถ่านกัมมันต์1 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส5 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 ใส่ในหลอดทดลอง

13.1.3.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟอสฟอรัส ตั้งแต่30 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง

13.1.3.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำน้ำที่ผสมถ่านกัมมันต์ไปกรองกับกระดาษกรอง Whatman 42

13.1.3.6 นำส่วนที่ใสไปตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือภายหลังการดูดซับ

13.1.3.7 ภายใต้สภาวะการดูดซับที่เหมาะสม นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มาประยุกต์ใช้กับการดูดซับฟอสฟอรัสในตัวอย่างน้ำเสีย

13.3 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

13.3.1 ปริมาณความชื้นในถ่านกัมมันต์

13.3.1.1 บดและคัดขนาดตัวอย่างให้มีความละเอียด โดยใช้ตะแกรงร่อนคัดขนาด 1-2 มิลลิเมตร

13.3.1.2 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ในขวดชั่งสารพร้อมฝาปิดที่อบแห้งและรู้น้ำหนักแล้ว

13.3.1.3 อบตัวอย่างในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักไว้แล้วคำนวณหาความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{(C-D)}{(C-B)} \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักของขวดชั่งสารพร้อมฝา, กรัม

C = น้ำหนักของขวดชั่งสารพร้อมฝากับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น, กรัม

D = น้ำหนักของขวดชั่งสารพร้อมฝากับน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง, กรัม

13.3.2 ตรวจสอบถ่านกัมมันต์ด้วยการดูดซับไอโอดีน

13.3.2.1 บดและคัดขนาดถ่านกัมมันต์ให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช อย่างน้อย 60% ของน้ำหนักที่ใช้ และบดถ่านกัมมันต์จนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช อย่าง

น้อย 90% ของน้ำหนักที่ใช้

13.3.2.2 อบผงถ่านกัมมันต์ที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

13.3.2.3 ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านกัมมันต์ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร

13.3.2.4 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าให้เข้ากัน

13.3.2.5 นำขวดไปวางบนเตาไฟฟ้าในตู้ดูดควัน เปิดจุกออก ต้มให้เดือดประมาณ 30±2 วินาที เพื่อไล่สารประกอบซัลเฟอร์ที่เป็นมลทินออก แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อ

13.3.2.6. ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้ว ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมลงในขวด ปิดจุกอย่างรวดเร็วแล้วเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30±1 วินาที

13.3.2.7 กรองสารละลายที่ได้อย่างรวดเร็วด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

13.3.2.8. ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20-30 มิลลิลิตรแรก เพื่อล้างปิเปตและบีกเกอร์ที่จะใช้กับสารละลายก่อน จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

13.3.2.9. ไตเตรทด้วยสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

13.3.2.10. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ1 - ข้อ 9 โดยเปลี่ยนน้ำหนักถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า 0.01, 0.02 และ 0.03 นอร์มัล โดยให้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนอยู่ในช่วง 0.008-0.04 นอร์มัล ถ้าค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวควรทำการทดลองใหม่

คำนวณการดูดซับจำเพาะ $\frac{X}{M}$ และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2.2 \times B \times S)}{W}$$

$$C = \frac{N2 \times S}{50}$$

เมื่อ $\frac{X}{M}$ คือ ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

A คือ น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้น (N2 × 12693.0) (มิลลิกรัม)

B คือ น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์พอดีกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 1 มิลลิลิตร (N1 × 126.93) (มิลลิกรัม)

13.4 วัสดุและอุปกรณ์ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากตะเกียบไม้ไผ่

13.4.1 เครื่องมือ

13.4.1.1 ตู้อบ

13.4.1.2 เตาเผา

13.4.1.3 เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

13.4.1.4 เครื่องบดไฟฟ้า

13.4.1.5 เครื่อง สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

13.4.1.6 เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer)

13.4.1.7 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

13.4.1.8 เดซิเคเตอร์ (desicator)

13.4.2 อุปกรณ์

13.6.4.1 บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่

13.4.2.2 กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 (whatman 42)

13.4.2.3 กรวยกรองแก้ว

13.4.2.4 ขวดวัดปริมาตร

13.4.2.5 ตะแกรงร่อน

13.4.2.6 แท่งแก้ว

13.4.2.7 ผ้าขาวบาง

13.4.2.8 ขาตั้ง

13.4.2.9 บิวเรต

13.4.2.10 หลอดหยด

13.4.2.11 กระดาษลิตมัส

13.4.2.12 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

13.4.3 สารเคมี

13.4.3.1 กรดไฮโดรคลอริก (hydrocloric Acid, HCl)

13.4.3.2 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H3PO4)

13.4.3.3 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3)

13.4.3.4 น้ำกลั่น

13.4.3.5 โซเดียมไทโอซัลเฟต (Na.2S2O3.5H2O)

13.4.3.6 ไอโอดีน

13.4.3.7 โปรแตสเซียมไอโอไดด์ (Kl)

13.4.3.8 โปรแตสเซียมไอโอเดต (KlO3)

13.4.3.9น้ำแป้ง

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2556		2557												2558		
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร																	
สอบโครงร่างวิจัย																	
ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ																	
ทำการทดลองภาคสนาม																	
สอบรายงานความก้าวหน้าวิจัย																	
วิเคราะห์ผลและสรุปผล																	
การเขียนเล่มวิจัย																	
สอบและแก้ไขเล่มวิจัย																	

15. งบประมาณ

รายการ	งบประมาณตลอดโครงการ
ค่าใช้สอย	
ค่าการสืบค้นข้อมูล	200
ค่ายานพาหนะ	2,000
ค่าวัสดุ	
ค่าวัสดุบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย	2,700
ค่าถ่ายเอกสารบทความวิจัย	
ค่ากระดาษบันทึกข้อมูล	
ค่าวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	3,150
ค่าตะเกียบไม้ไผ่ 30 กิโลกรัม (กิโลละ 50 บาท)	
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4)	
กรดไฮโดรคลอริก (hydrocloric Acid, HCl)	
โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3)	
รวม	8,050

16. เอกสารอ้างอิง

กำชัย นุ้ยธิติกุล และสมร หิรัญประดิษฐกุล. (2551). **การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเศษไม้ไผ่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

จักรกฤษ์ ลับโกษา. (2554). **การกำจัดโลหะหนักทองแดง เหล็ก และสารินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ถ่าน**

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. (2547). **การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไชยยันต์ ชัยยะ, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิม และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2551). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ).

ณัฐยา พูนสุวรรณ และ สุพรรณี จันทร์ภิรมณ์. (2546). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลและการวัดสมบัติโครงสร้างรูพรุน**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).

ธราพงษ์ วิทิตศานต์. (2554). **ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้**. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

น้ำเย็น. (2550). **ปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)**. ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557,

ปรินทร เต็มญารศิลป์. (2551). **การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ตงและไผ่หมาจู่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

ฝ่ายสุขาภิบาลโรงงาน กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร. ม.ป.ป. **น้ำเสีย**. ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จาก http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/water/solu.htm

พีระพงษ์ เนียมเสวก. (2552). **เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์).

เพ็ญ สุขมาก. (2543). **การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลกระป๋องโดยระบบ เอส บี อาร์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณรัก นพเจริญกุล. (2548). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากก้านทะลายปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2556. **ฟอสฟอรัส**.ค้นเมื่อ 20 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2557. **ตะเกียบ**. ค้นเมื่อ 15 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki/

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2557. **ไม้ไผ่**. ค้นเมื่อ 17 เมษายน 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki

สมร หิรัญประดิษฐกุล. (2554). **การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดสบู่ดำ**. (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2532). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์**. กระทรวงอุตสาหกรรม.

สิงหเดช แตงจวง. (2552). **การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล**. รายงานวิจัย (มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์).

สุนิดา เถาว์โท. (2554). **ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสังกะสีและนิกเกิลโดยถ่านกัมมันต์**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี).

สุพรรณ ยอดยิ่งยง และ สมพิศ รองศักดิ์. (2547). **ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม).

องค์การจัดการน้ำเสีย. 2540. **ลักษณะของน้ำเสีย**. ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จาก http://www.kmitl.ac.th/~kbkittic/watertreat/wastewatermanagement.html

อธิชัย นพแก้ว. (2539). **การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อกักเก็บ.** ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

อนุสรณ์ ดิษฐสวรรค์, ณรงค์ศักดิ์ อินถานนท์, และ มารุต วิชยา. (2546). **การศึกษาสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (สถาบันราชภัฏนครสวรรค์).

Alexander Del pi. ม.ป.ป. **ต้นไผ่.** ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557. จาก http://www.herb-health.com/2013/01/blog-post_8443.html

buarin budtao. 2557. **ความรู้เกี่ยวกับไผ่.** ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557. จาก http://knowledge-phai.blogspot.com/

Desotec. (2556). **โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์.**ค้นเมื่อ 18 เมษายน 2557, จาก www.desotec.com/activated-carbon/chemical-stroctur-of-activated-carbon/

sales.ม.ป.ป. **โครงสร้างผลึกของคาร์บอนอสัณฐาน.**ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2557. จาก wwwchemicool.com/elements/carbon.html

ภาคผนวก ฉ

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายทศพร หะยามินทร์

วัน เดือน ปีเกิด 5 ตุลาคม 2535

ที่อยู่ 16/5 ถ.นราภิรมย์ ต.บางนาค อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000

การศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2. ชื่อ-สกุล นางสาวสุธีภา เดชอรัญ

วัน เดือน ปีเกิด 4 ธันวาคม 2535

ที่อยู่ 88/1 หมู่ที่ 12 ตำบลปะเหลียน อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง 92180

การศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3. ชื่อ-สกุล นางสาวหัตเวียน นาคสง่า

วัน เดือน ปีเกิด 6 ธันวาคม 2534

ที่อยู่ 395 หมู่ที่ 15 ตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล 91110

การศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา