

การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจาก  
ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม

นางสาวผุสดี ลีกระจ่าง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช  
พ.ศ. 2560

Development of Toluene Vapor Adsorbent from  
Coconut Shell Charcoal and Palm Shell Charcoal

Miss Pusadee Leekrajang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Industrial Technology  
School of Science and Technology  
Sukhothai Thammathirat Open University


2017


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโกลูอินจากถ่านกะลามะพร้าว  
และถ่านกะลาปาล์ม  
ชื่อและนามสกุล นางสาวผุสดี ลีกระจ่าง  
แขนงวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช  
อาจารย์ที่ปรึกษา 1. รองศาสตราจารย์สุณี ภูสีม่วง  
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล


วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์สุณี ภูสีม่วง)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)

  
..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กชณา รุ่งโรจน์วณิชย์)

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลูอินจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม  
**ผู้วิจัย** นางสาวมุสตี ลีกระจ่าง **รหัสนักศึกษา** 2599600026 **ปริญญา** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
 (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์สุณี ภูสีม่วง (2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
 ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล **ปีการศึกษา** 2560

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จาก  
 กะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม (2) พัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยของสารโพลูอินจากถ่านกะลามะพร้าว  
 และถ่านกะลาปาล์ม (3) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินที่พัฒนาขึ้น และ (4)  
 วิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

การดำเนินการวิจัยโดยการนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม มาเผาในสภาพไร้ออกซิเจน  
 และทำการบดและร่อนให้ได้ขนาด 1-3 มิลลิเมตร นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มมา  
 กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยใช้สัดส่วน ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 1:3 และ 1:5 ให้  
 ความร้อน 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และวิเคราะห์  
 คุณสมบัติทางกายภาพ เพื่อคัดเลือกสัดส่วนที่ดีที่สุด เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย  
 สารโพลูอิน และคำนวณต้นทุนในพัฒนาวัสดุดูดซับเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ผลการวิจัยมีดังนี้ (1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จาก  
 กะลามะพร้าว พบว่าที่สัดส่วนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว:KOH เท่ากับ 1:3 ได้ค่าไอโอดีนนัม  
 เบอร์ที่ดีที่สุดคือ 618.45 มิลลิกรัมต่อกรัม และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลา  
 ปาล์ม พบว่าที่สัดส่วนของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม:KOH เท่ากับ 1:3 ได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่  
 ดีที่สุดคือ 605.75 มิลลิกรัมต่อกรัม (2) เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าถ่านกะลามะพร้าว  
 มีลักษณะพื้นที่ผิวถูกเปิด เป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้าง และภายในมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวน  
 มาก ส่วนถ่านกะลาปาล์ม มีลักษณะพื้นที่ผิวถูกเปิด เป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้าง แต่รูพรุนที่เกิดขึ้น  
 ไม่สม่ำเสมอ และรูพรุนบางส่วนยังถูกปิดคลุมอยู่ ดังนั้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัม  
 มันต์จากกะลาปาล์มมีคุณสมบัติสามารถนำไปเป็นวัสดุดูดซับได้ (3) ผลการศึกษาประสิทธิภาพการ  
 ดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน พบว่าถ่านกะลาปาล์ม ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ทางการค้า มี  
 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน เท่ากับ 43.61 83.96 และ 221.83 มิลลิกรัมต่อกรัม  
 ตามลำดับ จุดอิ่มตัวในการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน มีค่าเท่ากับ 25.69 33.94 และ 37.11  
 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สามารถดักจับไอระเหยสารโพลูอินได้ร้อยละ 20 30 และ 90 ตามลำดับ  
 และ (4) ผลการวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น พบว่า ต้นทุนการผลิตถ่านกัม  
 มันต์จากกะลามะพร้าวและจากกะลาปาล์มมีต้นทุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าถึง 4 เท่า

**คำสำคัญ** วัสดุดูดซับไอระเหย ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านกะลาปาล์ม

**Thesis title:** Development of Toluene Vapor Adsorbent from Coconut Shell Charcoal and Palm Shell Charcoal

**Researcher:** Miss.Pusadee Leekrajang; ID: 2599600026;

**Degree:** Master of Science (Industrial Technology);

**Thesis advisors:** (1) Sunee Poosrimuang, Associate Professor;

(2) Dr.Prapat Pongkiatkul, Assistant Professor; **Academic year:** 2017

### Abstract

The objectives of this research were to (1) study the optimum conditions for the production of activated carbon from coconut shell and palm shell, (2) develop the toluene absorbent materials from coconut shell and palm shell, (3) study the effectiveness of toluene vapor adsorption, as well as (4) analyze the cost of producing the vapor absorbent material.

The research conducted by the coconut shell and palm shell was burned in oxygen less conditions, then crushed and sieved to the size of 1-3 millimeters. The coconut shell and palm shell charcoals was activated by potassium hydroxide (KOH). The ration between KOH and mix coconut shell and palm shell was 1:1, 1:3 and 1:5. Next, the mixture was heated to 800 °C for two hours. Iodine number and physical properties were analyzed to select the good proportion of the toluene vapor adsorbents. The cost of developing for the vapor adsorbent material was compared to the commercial activated carbon.

The research result were as follows (1) the optimal conditions of activated carbon from coconut shell showed the best iodine number was 1:3; equivalent to 618.45 mg/g. and the optimal conditions of activated carbon form palm shell showed the best iodine number was 1:3; equivalent to 605.75 mg/g. (2) When analyzing physical properties, it was found that coconut shell charcoal was characterized by open surface area. A deep hole in the structure and a small internal porous hole formed. The palm shell charcoal can be seen as a deep cavity in the charcoal structure. But the porosity is uneven and some porous are covered. So that the toluene absorbent materials can be developed from coconut shell and palm shell. (3) The toluene vapor adsorption efficiency of the palm shell charcoal, coconut shell charcoal and commercial activated charcoal was 43.61 , 83.96 and 221.83 mg/g respectively. The breakthroughs of the palm shell charcoal, coconut shell charcoal and commercial activated charcoal were 25.69, 33.94 and 37.11 mg/g, respectively. And (4) the cost of producing the vapor absorbent material was four times less than the commercial activated carbon.

**Keywords:** Vapor Absorber, Coconut Shell, Palm Shell

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของ รองศาสตราจารย์สุณี ภูสีม่วง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ ที่กรุณาให้เกียรติ เป็นประธาน และขอขอบคุณบุคลากรและคณาจารย์แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ อย่างดียิ่ง ตลอดจนเพื่อนๆ นักศึกษาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการใช้ สถานที่และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท ปาล์มทองไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์นำกะลาปาล์มมาใช้ในการวิจัย เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้องญาติ และบุคคลรอบข้างทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้สดี ลีกระจ่าง  
สิงหาคม 2561

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	5
กระบวนการดูดซับ .....	5
สารโทลูอิน .....	10
ถ่านกัมมันต์ .....	12
กะลาปาล์ม .....	18
กะลามะพร้าว .....	20
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	36
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....	36
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม ..	37
การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และกะลาปาล์ม .....	43
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	45
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	47
ตอนที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม ..	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตอนที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและ กะลาปาล์ม .....	58
ตอนที่ 3 วิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น .....	65
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	67
สรุปการวิจัย .....	67
อภิปรายผล .....	69
ข้อเสนอแนะ .....	70
บรรณานุกรม .....	72
ภาคผนวก .....	79
ก การหาค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์ .....	79
ข การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพไอระเหยสารโพลีอิน .....	81
ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนตามประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม .....	83
ประวัติผู้วิจัย .....	88





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสารโพลูอิน .....	10
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนปริมาณถ่านต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ .....	39
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าไอโอดีนนมเบอร์ .....	55
ตารางที่ 4.2 การคำนวณต้นทุนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าว .....	65
ตารางที่ 4.3 การคำนวณต้นทุนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลาปาล์ม .....	65



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 กลไกการดูดซับ .....	5
ภาพที่ 2.2 กราฟรูปตัวเอสของการดูดซับ .....	8
ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างสารโทลูอิน .....	11
ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการเผาถ่าน .....	17
ภาพที่ 2.5 สัดส่วนพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ปี 2557 จำแนกรายภาค .....	19
ภาพที่ 2.6 แหล่งเพาะปลูกมะพร้าวของประเทศไทย .....	21
ภาพที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย .....	36
ภาพที่ 3.2 การเผาถ่านด้วยถังขนาด 200 ลิตร .....	37
ภาพที่ 3.3 ถ่านกะลามะพร้าว (ซ้าย) และถ่านกะลาปาล์ม (ขวา) หลังจากเผาด้วยถังขนาด 200 ลิตร .....	38
ภาพที่ 3.4 ตู้อบถ่าน (ซ้าย) และโถดูดความชื้น (ขวา) .....	38
ภาพที่ 3.5 การชั่งน้ำหนักถ่านบนเครื่องชั่งตวงวัดชนิด 4 ตำแหน่ง .....	39
ภาพที่ 3.6 การปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม .....	40
ภาพที่ 3.7 การล้างสาร KOH เพื่อให้ pH เป็นกลาง .....	40
ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่นำไปส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน .....	41
ภาพที่ 3.9 ห้องปฏิบัติการ Do SEM กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน .....	41
ภาพที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักถ่านบนเครื่องชั่งตวงวัดชนิด 4 ตำแหน่ง .....	42
ภาพที่ 3.11 การเติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.1 N .....	42
ภาพที่ 3.12 การไทเทรตน้ำไอโอดีนจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มกับสารละลายไอโอดีน .....	43
ภาพที่ 3.13 ชุดทดลองการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน .....	43
ภาพที่ 3.14 ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว .....	44
ภาพที่ 3.15 ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม .....	44
ภาพที่ 3.16 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากถ่านหิน .....	45
ภาพที่ 3.17 การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน .....	45
ภาพที่ 3.18 แผนภาพการทดลอง .....	46
ภาพที่ 4.1 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกะลามะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า .....	48
ภาพที่ 4.2 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วน ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาด กำลังขยาย 750 เท่า .....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วน ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาด กำลังขยาย 750 เท่า .....	50
ภาพที่ 4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วน ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาด กำลังขยาย 750 เท่า .....	51
ภาพที่ 4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกะลาปาล์ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า .....	52
ภาพที่ 4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพใน สัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด ส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า .....	52
ภาพที่ 4.7 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพใน สัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด ส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า .....	53
ภาพที่ 4.8 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพใน สัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า .....	54
ภาพที่ 4.9 กราฟผลค่าเฉลี่ยไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าว โดยใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M และอุณหภูมิในการปรับสภาพ 800 องศาเซลเซียส .....	56
ภาพที่ 4.10 กราฟผลค่าเฉลี่ยไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลา ปาล์ม โดยใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M และ อุณหภูมิในการปรับสภาพ 800 องศาเซลเซียส .....	57
ภาพที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากกะลามะพร้าว .....	58
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว .....	59
ภาพที่ 4.13 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว.....	60
ภาพที่ 4.14 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากกะลาปาล์ม.....	60
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม .....	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.16 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม.....	62
ภาพที่ 4.17 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินจากถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	62
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	63
ภาพที่ 4.19 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	64



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารโทลูอิน (Toluene) ถือเป็นสารเคมีที่เป็นพิษ ตาม พรบ.วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ระบุว่า สารโทลูอินเป็นสารอันตรายชนิดที่ 3 ควบคุมโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ต้องมีการขึ้นทะเบียนและขออนุญาตนำเข้า โดยโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารโทลูอิน ได้แก่ อุตสาหกรรมกาใช้เป็นตัวทำละลายอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้าใช้เป็นตัวทำความสะอาดโลหะ/ใช้ในการล้างคราบมันบนผิวโลหะอุตสาหกรรมการสกัดใช้เป็นตัวทำละลายและเจือจางตัวทำละลายอุตสาหกรรมโลหะใช้ในการล้างคราบมันบนผิวโลหะอุตสาหกรรมสีในเป็นตัวทำละลายสารไฮโดรคาร์บอนอุตสาหกรรมเคลือบกระดาษใช้เป็นตัวทำละลายอุตสาหกรรมเคลือบเงาไม้ใช้เป็นตัวทำละลายคล้ำยทินเนอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารโทลูอินส่วนใหญ่จะเป็นสารที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาทำเป็นตัวทำละลาย โทลูอินเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย คล้ายกลิ่นเบนซีน เมื่อได้รับในปริมาณมาก ๆ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ คือ *ระบบหายใจ* : การสูดดมหรือหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะทำให้รู้สึกมีน้ำมูก มีอาการประสาทหลอน เมื่อสูดดมมากจะทำลายระบบประสาท และสมองทางผิวหนัง : เมื่อสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้ผิวหนังแดง อักเสบ มีอาการปวดแสบ *การสัมผัสกับตา* : เมื่อสัมผัสกับตาจะทำให้ตาระคายเคือง มีอาการตาแดง และปวดตา *การกลืนกิน* : จะทำให้รู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง มีอาการมีน้ำมูก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อพนักงานต้องปฏิบัติงานโดยตรงโดยเฉพาะบริเวณที่มีสารโทลูอินที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ ซึ่งจะได้รับการสูดดมอยู่เป็นประจำตลอดระยะเวลาการทำงานจะส่งผลเสียต่อสุขภาพดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดสารเคมีที่มีอยู่ในอากาศออกไปให้เกิดความเข้มข้นน้อยที่สุดหรือไม่มีอยู่เลย เพื่อลดการเกิดปัญหาต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นด้วย

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลผลิตมากมายที่ถูกขนส่งมายังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อหลังจากสิ้นสุดการผลิตจะเกิดของเสียทางการเกษตรมากมาย ซึ่งบางส่วนอาจนำไปจำหน่ายให้กับโรงงานอาหารสัตว์นำไปฝังกลบ หรือนำไปเป็นพลังงานเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้ของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นหากมีการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาประยุกต์หรือดัดแปลงใหม่เพื่อให้เกิดการใช้งานที่มีประโยชน์มากขึ้นกว่าเดิมและมีมูลค่ามากยิ่งขึ้น เช่น การนำมาแปรสภาพเป็นตัวดูดซับ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ โดยมีงานวิจัยมากมายที่มีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุดูดซับที่พัฒนามาจากธรรมชาติ

เนื่องจากหลายภาคส่วนได้หันมาสนใจสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น รวมถึงการรณรงค์ให้มีการลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไป ถ่านกัมมันต์น้ำหนักเพียง 1 กรัมจะมีพื้นที่ผิวภายในโดยรวมระหว่าง 500-1,500 ตารางเมตรขึ้นอยู่กับเกรดของถ่าน ชนิดวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต (บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์, ม.ป.ป.) ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยทั่วไปในประเทศไทยหรือที่รับมาจากต่างประเทศยังมีประสิทธิภาพหรือรุกรุนค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนมากในการนำเข้าถ่านกัมมันต์ และแนวโน้มการใช้ถ่านกัมมันต์ก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกด้วย ทั้งนี้จึงทำให้มีงานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ออกมามากมาย ซึ่งส่วนใหญ่มีการพัฒนานำวัสดุจากธรรมชาติที่มีส่วนประกอบคาร์บอนสูงมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว แกลบ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีอยู่ภายในประเทศอยู่แล้ว โดยมีการนำวัสดุเหล่านั้นมาปรับผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน โดยการเผาที่อุณหภูมิ 200-800 องศาเซลเซียส และทำการปรับสภาพเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ กระตุ้นทางกายภาพ โดยใช้แก๊สหรือไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส และการปรับสภาพทางเคมี โดยให้พื้นที่ผิววัสดุทำปฏิกิริยากับสารเคมี เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แล้วทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 150-900 องศาเซลเซียส โดยการปรับสภาพทางเคมีจะใช้เวลาและอุณหภูมิน้อยกว่าการปรับสภาพทางกายภาพ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่า แต่ยังมีข้อจำกัดคือจำเป็นต้องล้างสารเคมีที่ปรับสภาพออกด้วยน้ำ (อภิสิษฐ์ ศงสะเสน, ม.ป.ป.)

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญในการนำของเสียกลับมาพัฒนาต่อยอดเป็นวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน และเห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ จึงสนใจศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มที่ได้จากการเผาแบบไร้อากาศในเตาเผา โดยปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพราะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ง่าย และมีราคาถูก แล้วตรวจสอบพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้น นำเม็ดถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มไปใช้ในการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน เปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับที่ทำจากวัสดุดูดซับที่ผลิตจากที่ขายในท้องตลาด ภายในสภาพเดียวกัน รวมถึงทำการประเมินต้นทุนของกระบวนการผลิตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจสำหรับการต่อยอดผลงานสู่การใช้จริงในเชิงพาณิชย์

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม
- 2.2 เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยของสารโพลูอินจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม
- 2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น
- 2.4 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

### 1. ชนิดของถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด

- 1) กะลามะพร้าว
- 2) กะลาปาล์ม

### 2. ปริมาณของถ่านกัมมันต์ (กรัม)/ปริมาณสารโพลูอิน



- 1) สมบัติถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม
- 2) ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม

ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรตาม

ตัวแปรควบคุม

1. ปริมาณสารโพลูอิน
2. โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

## 4. ขอบเขตของการวิจัย

- 4.1 ศึกษาสมบัติของถ่านจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มที่ปรับสภาพด้วยโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number)
- 4.2 ศึกษาความสามารถและระยะเวลาในการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มเทียบกับปริมาณสารโพลูอินที่ดูดซับไว้

## 5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 **การดูดซับ** หมายถึง กระบวนการที่เกี่ยวกับการสะสมตัวของสารที่พื้นผิวหรือบริเวณผิวหน้า กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent)

5.2 **ตัวดูดซับ** หมายถึง วัสดุที่สามารถสารอื่นดูดซับสารอื่นไว้ได้ ซึ่งส่วนมากจะมีรูพรุนอยู่บริเวณพื้นผิวของวัสดุ

5.3 **โพลูอิน** หรือ ฟีนิลมีเทน เป็นสารตัวทำละลายอินทรีย์ที่สำคัญในกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ ไม่มีกลุ่มฮาโลจีเนตเต็ต มีโครงสร้างเหมือนกับเบนซีน ใช่มากในอุตสาหกรรมต่างๆสำหรับเป็นตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตสารชนิดอื่นๆ

5.4 **กะลามะพร้าว** หมายถึง ส่วนที่แข็งที่สุดของลูกมะพร้าว และเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

5.5 **กะลาปาล์ม** หมายถึง กากของแข็งชนิดหนึ่งที่มาจากผลปาล์ม อยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุด กับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุด และเป็นวัสดุที่เหลือจากการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตปาล์มน้ำมัน

5.6 **ถ่านกัมมันต์** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนจนโครงสร้างบริเวณพื้นผิวเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุน

5.7 **ค่าไอโอดีนนัมเบอร์** หมายถึง ค่าที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากไอโอดีนถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ดี จึงนำมาเป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์โดยวัดเป็นมิลลิกรัม ตามมาตรฐาน มอก. 900-2547

## 6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ได้วัสดุดูดซับไอระเหยของสารโพลูอินจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

6.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัตถุดิบชนิดอื่นที่สามารถต่อยอดนำไปสู่การใช้งานจริง



## บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ศึกษากระบวนการดูดซับสารเคมีที่เป็นอันตราย โดยใช้วัสดุดูดซับจากของเสียได้แก่ กะลามะพร้าว และกะลาปาล์ม โดยมีการศึกษาแบ่งเป็น 6 หัวข้อ ดังนี้

1. การดูดซับ
2. สารโพลีอิน
3. ถ่านกัมมันต์
4. กะลาปาล์ม
5. กะลามะพร้าว
6. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. การดูดซับ

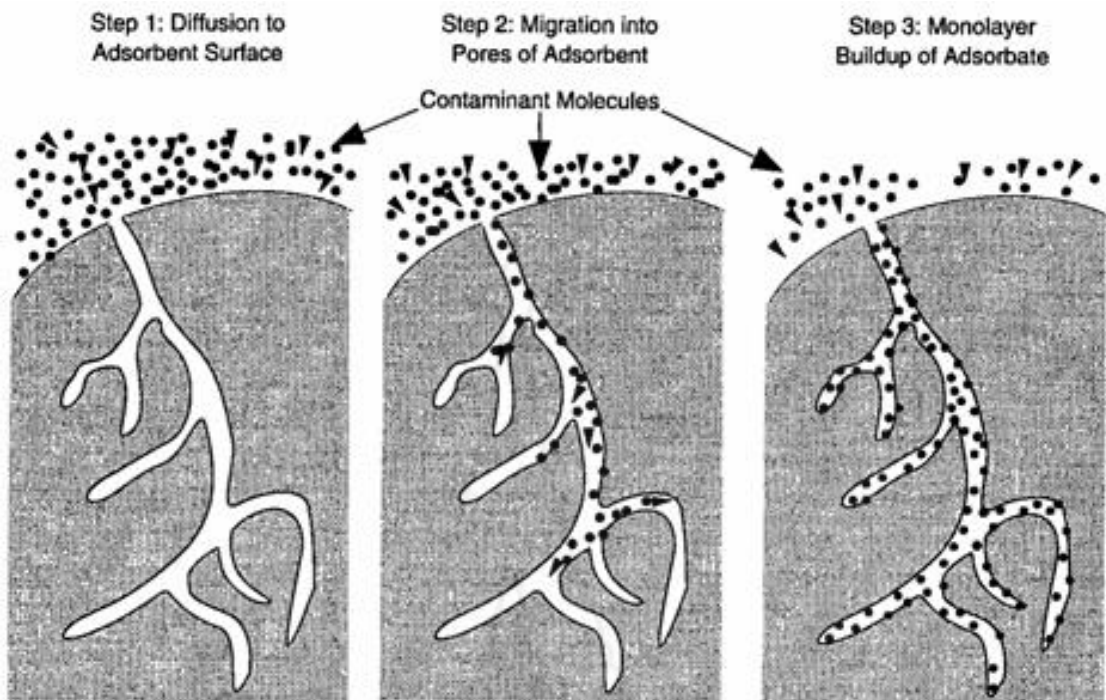
#### 1.1 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดการรวมตัวของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ในสถานะที่เป็นของเหลวหรือก๊าซที่บริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับ (Adsorbent) ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับรูพรุนของตัวดูดซับ หากตัวดูดซับที่มีการผ่านกรรมวิธีต่างๆ เช่น การเผา การใช้สารเคมีในการกระตุ้น เป็นต้น ก็สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับหรือรูพรุนในบริเวณผิวหน้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยการดูดซับเกิดจากการถ่ายเทของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็งหรือของเหลว หรือเรียกว่าการดูดติดผิว ซึ่งการดูดติดผิวสามารถแบ่งได้ 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่บริเวณรอบนอกของถ่านกัมมันต์

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนระหว่างสิ่งสกปรกกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งอาจจะใช้การดูดติดด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน



ภาพที่ 2.1 กลไกการดูดซับ

ที่มา : <https://is.gd/DJfeV2>

## 1.2 ประเภทการดูดซับ

โดยทั่วไปการดูดซับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี โดยจำแนกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างผิวโมเลกุล โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อน ทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

### 1.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล กล่าวคือการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายประการ

### 1.3 การวิเคราะห์ผลการดูดซับ

การวิเคราะห์การดูดซับเป็นการบ่งบอกถึงพฤติกรรมของกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นในระบบภายใต้สภาวะที่คงที่ ซึ่งเป็นการคำนวณหาความสามารถในการดูดซับประสิทธิภาพในการดูดซับ รวมถึงจุดอิ่มตัวของตัวดูดซับ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปสมการในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ ค่าการดูดซับ รวมถึงค่าจุดอิ่มตัวของสารดูดซับได้ดังนี้

#### 1.3.1 ปริมาณก๊าซที่ถูกดักจับได้

ปริมาณก๊าซที่ถูกดูดซับไว้ได้เป็นการหาค่าของไอระเหยของก๊าซที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้ โดยสามารถคำนวณได้จากปริมาณไอระเหยของก๊าซขาเข้าต่อปริมาณไอระเหยของก๊าซขาออก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_p = C_0 - C_1$$

- $Q_p$  คือปริมาณการดูดซับก๊าซ (%)
- $C_0$  คือปริมาณความเข้มข้นของก๊าซก่อนการทดลอง (%)
- $C_1$  คือปริมาณความเข้มข้นของก๊าซหลังการทดลอง (%)

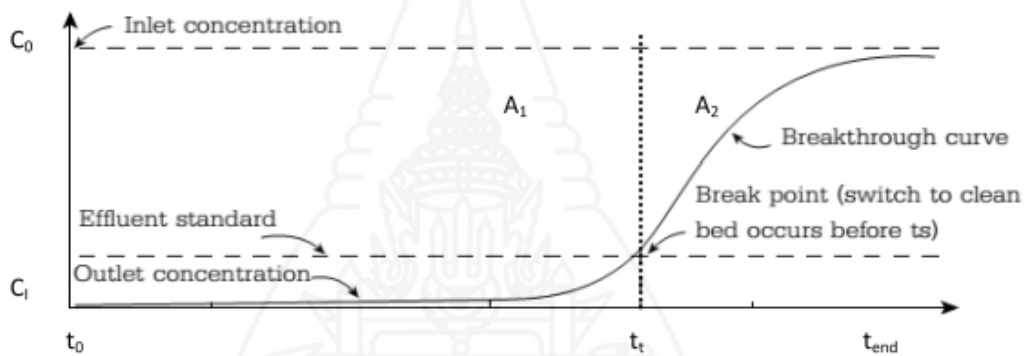
#### 1.3.2 ร้อยละการดักจับก๊าซ

ร้อยละการดักจับก๊าซสามารถบ่งบอกถึงร้อยละที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับไอระเหยได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการดูดซับก๊าซ(\%)} = [\text{ปริมาณก๊าซที่ถูกดักจับได้}(Q_p) / \text{ความเข้มข้นของก๊าซทดลอง}(C_0)] \times 100$$

### 1.3.3 จุดอิมตัวในการดูดซับ

ในระบบการดูดซับที่ก๊าซไหลผ่านตัวดูดซับโดยการกรอง ซึ่งการดูดซับจะเกิดขึ้นที่บริเวณชั้นสารดูดซับจนกระทั่งไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป เมื่อตัวดูดซับไม่สามารถดูดซับได้หรือทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ เรียกว่า จุดอิมตัวในการดูดซับ (Breakthrough) โดยสามารถแสดงได้ดังกราฟ (ภาพที่ 2.2) ซึ่งจะแสดงให้เห็นกราฟเป็นรูปตัวเอส (S-shape) เมื่อถึงจุดอิมตัวกราฟจะเป็นเส้นโค้งยกตัวสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากสภาพของตัวดูดซับที่หมดสภาพลงจนไม่สามารถดูดซับก๊าซได้อีก เมื่อการดูดซับมีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกดูดซับมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่  $C_0$  และค่าความเข้มข้นหลังผ่านคอลัมน์ วัดได้ที่ทางขาออกของก๊าซหลังผ่านคอลัมน์ที่เวลาต่าง ๆ เรียกว่า  $C_1$  ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่มีค่าความเข้มข้นที่สูงสุดที่ยอมรับได้



ภาพที่ 2.2 กราฟรูปตัวเอสของการดูดซับ

ที่มา : จีระศักดิ์ เฟื่องคุณ, (2557)

### 1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

อัจฉรา แก้วกล้า และคณะ (2554) ในระหว่างการดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกกำจัดออกและไปติดอยู่บนถ่านกัมมันต์ ซึ่งบางส่วนจะติดอยู่ในรูพรุนและบางส่วนจะติดอยู่ที่พื้นผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจะหยุดเมื่อถึงจุดสมดุล ดังนั้นความเข้มข้นของโมเลกุลตัวถูกละลายจะน้อยลงมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปจับอยู่บนพื้นผิวและภายในรูพรุน ทั้งนี้อัตราและขีดความสามารถของการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ดังนี้

**1.4.1 ความปั่นป่วน (Turbulence)** เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ ความปั่นป่วนของระบบกับการแพร่ผ่านรูพรุน (Pore Diffusion) ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำ ซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนาและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์ม

น้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับจะดีหรือไม่ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับด้วย เนื่องจากตัวถูกดูดซับบางชนิดที่ละลายน้ำจะเกาะติดผิวได้ยาก และในทางตรงกันข้ามสารที่ละลายน้ำอาจจะง่ายต่อการดูดติดผิว เพราะฉะนั้นจึงไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับและมีความสามารถในการละลายน้ำ

**1.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ** เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ ขนาด และพื้นที่ผิว โดยขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคืออัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย ทั้งนี้พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ได้มาจากโพรงภายใน ขนาดจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว เพราะฉะนั้นถ่านกัมมันต์ทั้งแบบผงและแบบเม็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักใกล้เคียงกันทำให้ความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน

**1.4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)** จะมีผลโดยตรงต่ออัตราการดูดซับ ถ้าความเป็นกรด - ด่างลดลงอัตราการดูดซับจะเร็วและมาก เนื่องจากความเป็นกรด - ด่างจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออน นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเกาะติดผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี ทำให้ถ่านกัมมันต์มีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากถ่านกัมมันต์ไม่มีขั้วค่อนข้างเป็นลบจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้วของสารมาเกาะที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี

**1.4.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ** ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการละลายด้วยโดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำ ได้ลดลง จึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีในตัวดูดซับ มีรูพรุนมากสารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักจะถูกดูดซับได้มากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้และพื้นที่ผิวภายนอก ที่จะดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกมีน้อยลง

## 2. สารโทลูอิน

สยามเคมีคอล (ม.ป.ป.) โทลูอิน (Toluene) หรือ ฟีนิลมีเทน เป็นสารเคมีที่อยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่มีกลุ่มฮาโลจีเนตเด็ด นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารชนิดอื่น โดยในประเทศไทยมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศ อิตาลี จีน เยอรมัน ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ไต้หวัน อังกฤษ สหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ ออสเตรเลีย ฮองกง ปากีสถาน สวิตเซอร์แลนด์ และเบลเยียม โดยสารโทลูอินจัดเป็นสารเคมีอันตรายที่ต้องมีการขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในการใช้งาน การจัดเก็บ การขนส่ง และการกำจัด

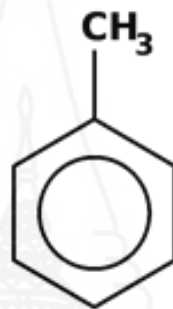
### 2.1 ลักษณะของสารโทลูอิน

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ (2556) สารโทลูอินเป็นของเหลว ไม่ละลายในน้ำ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย คล้ายกลิ่นเบนซีน เป็นสารประกอบอะโรมาติก มีจุดหลอมเหลวที่  $-95$  องศาเซลเซียส โดยในช่วงแรกสารโทลูอินเป็นผลพลอยได้มาจากอุตสาหกรรมถ่านหิน และหลังจากช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่สองมีการผลิตสารโทลูอินใช้เองโดยในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และมีบางส่วนที่ได้จากกระบวนการอื่น ๆ

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสารโทลูอิน

รายละเอียด	ข้อมูลทั่วไป
ชื่อทางเคมี	Methyl-Benzene
ชื่ออื่นๆ	Toluol, Methylbenzol, Monomethyl benzene, Methacide
สูตรทางเคมี	$C_6H_5CH_3$
มวลโมเลกุล	92.13
ความดันไอ Vapour Pressure (mmHg)	22 mmHg @ 20 °C
ความถ่วงจำเพาะ Specific Gravity	0.868 @ 20 °C (ASTM D4052)
ความหนาแน่น ( $g/cm^3$ )	0.867 - 0.869 @ 20 °C (ASTM D4052)
ความหนาแน่นของไอ Vapour Density	3.2 @ 20 °C (air = 1)
ความสามารถในการละลายน้ำ Solubility in Water	ละลายน้ำได้เล็กน้อย @ 20 °C (515 $g/m^3$ )
อัตราการระเหย	2 (n-Butyl Acetate = 1)

รายละเอียด	ข้อมูลทั่วไป
จุดวาบไฟ Flash Point	4 °C (Abel)
ขีดจำกัดการติดไฟ Flammable Limits	ค่าต่ำสุด (LEL) 1.2 %V ค่าสูงสุด (UEL) 7.1 %V
อุณหภูมิสามารถติดไฟได้เอง Auto Ignition Temperature	535 °C
ความเป็นกรดต่าง pH Value	ไม่มีข้อมูล



ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างสารโทลูอีน

ที่มา : <https://is.gd/upNCnJ>

## 2.2 ความเป็นพิษ

โทลูอีนเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความเป็นพิษ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดโรคพิษจากโทลูอีน ซึ่งผู้ที่มีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับสารโทลูอีนมักจะเป็นผู้ที่ต้องปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตทินเนอร์ สี แล็กเกอร์ กาว อุตสาหกรรมผลิตหมึกพิมพ์ ยางเรซิน พลาสติก กาว อุตสาหกรรมการผลิตยา และสารเคมี อุตสาหกรรมเกี่ยวกับปิโตรเคมี (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2557) โดยทั่วไปสารโทลูอีนสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางผิวหนัง ทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร และสารโทลูอีนสามารถซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารโทลูอีนสามารถละลายได้ดีในไขมันจึงทำให้สามารถซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่าย และไปสะสมอยู่ในอวัยวะที่มีไขมัน (เรณู เวชรัชต์พิมล, 2555) ทั้งนี้การสะสมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่อยู่ในร่างกายของผู้ที่ได้รับสารโทลูอีน รวมถึงปริมาณสารโทลูอีนที่ได้รับในแต่ละวัน

## 2.3 มาตรฐานควบคุมสารโทลูอิน

ชีวิตและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.) ตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ตามประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515 ห้ามมิให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณเข้มข้นของสารเคมีเกินกว่าที่กำหนดไว้ได้แก่สารโทลูอิน ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติเกินกว่า 200 ส่วน/ล้านส่วน ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาที่จำกัด 500 ส่วน/ล้านส่วน โดยมีระยะเวลาที่กำหนดให้ทำงานได้ 10 นาที และปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้ 300 ส่วน/ล้านส่วน และมาตรฐานทางชีวภาพ ค่า BEI ของ ACGIH Hippuric acid ในปัสสาวะ 1.6 g/gm creatinine (เก็บหลังทำงานของวันทำงาน)

## 3. ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความเป็นรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500 – 1400 ตารางเมตรต่อกรัม โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย คาร์บอน ที่ได้จากการเผาถ่าน เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีรูเล็ก ๆ (Microporosity) จำนวนมาก และสามารถเพิ่มพลังการดูดซับได้อีกโดยใช้สารเคมีปรับสภาพ

### 3.1 การผลิตถ่านกัมมันต์

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิษฐ์ (2559) ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถใช้วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ ถ่านหิน กะลามะพร้าว ชีล้อย ยางรถยนต์ ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่

**3.1.1 การปรับสภาพทางกายภาพ (Physical Reactivation)** กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียสในสภาวะไม่มีออกซิเจนเพื่อไม่ให้วัสดุเกิดเกิดการลุกไหม้และเพื่อกำจัดสารอื่นๆ ออกไปด้วย จากนั้นนำถ่านคาร์บอนที่ได้ไปปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 900-1,100 องศาเซลเซียสในสภาวะที่มีไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบดให้เป็นผงหรือเกล็ดที่มีขนาดตามต้องการ

**3.1.2 การปรับสภาพด้วยสารเคมี (Chemical Activation)** กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารเคมี เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส โดยในภาคอุตสาหกรรมนิยมปรับสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้มากกว่าวิธีปรับสภาพทางกายภาพ เนื่องจากใช้ความร้อน และเวลาในการผลิต



น้อยกว่า อย่างไรก็ตามบางครั้งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตวิธีนี้อาจมีปัญหาเรื่องสารตกค้างได้หากมีการล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ไม่หมด

ทั้งนี้จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกการปรับสภาพด้วยสารเคมี เนื่องจากใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพทางกายภาพ รวมทั้งสังเกตเห็นถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ เช่น สารเคมี อุปกรณ์ให้ความร้อน เป็นต้น

### 3.2 ประเภทถ่านกัมมันต์

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์ (2559) ถ่านกัมมันต์แบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ 3 ประเภท ดังนี้

#### 3.2.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered Activated Carbon, PAC)

ถ่านกัมมันต์ผงเป็นรูปแบบดั้งเดิมของถ่านกัมมันต์ที่ยังนิยมใช้ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านกัมมันต์จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15-0.25 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ในรูปผงมีจุดเด่นตรงตัวถ่านกัมมันต์มีสัดส่วนของพื้นที่ผิวภายนอก ต่อปริมาตรมาก ถ่านกัมมันต์ผงเหมาะกับการใช้งานแบบเติมลงในภาชนะของเหลวโดยตรงมากกว่าการบรรจุในท่อและปล่อยของเหลวไหลผ่านถ่านกัมมันต์ผง เนื่องจากวิธีหลังจะสูญเสียผงถ่านได้ง่ายกว่า

3.2.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือแบบเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ถ่านกัมมันต์ในรูปเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอของสาร เนื่องจากขนาดเกล็ดใหญ่กว่าผงทำให้ก๊าซไหลผ่านได้ง่ายกว่า และจะไม่ฟุ้งกระจายเมื่อเกิดแรงลมมาสัมผัสกับถ่านกัมมันต์

3.2.3 ถ่านกัมมันต์อัดแท่ง (Extruded Activated Carbon, EAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) ได้เป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8-4.5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้เหมาะกับการกรองหรือดูดซับก๊าซ เนื่องจากทำให้ความดันก๊าซตก (Pressure Drop) น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ประเภทอื่น นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์อัดแท่งยังมีความแข็งแรงเชิงกลสูง อีกทั้งทำให้เกิดละอองฝุ่นน้อยด้วย

### 3.3 เตาเผาถ่าน

เตาเผาถ่านที่มีใช้ในปัจจุบันมีดังนี้

3.3.1 เตาดินเหนียวก่อ เป็นเตาที่พบทั่วไปในชนบทของประเทศไทย ซึ่งการลงทุนก่อสร้างต่ำมากหรือไม่มีค่าวัสดุอุปกรณ์ ซึ่งดินเหนียวหาได้ตามพื้นที่ต่างๆ ได้ง่าย คุณภาพถ่านที่ได้ก็ถือว่าคุณภาพดี แต่การสูญเสียปริมาณของถ่านมากกว่าเตาเผาแบบอื่น

3.3.2 เตาอิฐก่อ เป็นเตาเผาถ่านที่สร้างขึ้นจากอิฐมอญ โดยมีดินเหนียวและทราย ทำหน้าที่เป็นตัวยึดอิฐ เข้าด้วยกัน (ตัวประสาน) ข้อดีของเตานี้คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิ

ภายในเตาเผาถ่านได้ดี การก่อสร้างเตาอิฐก่อไม่ใช้ปูนซีเมนต์ เนื่องจากว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอิฐกับปูนไม่เท่ากันเมื่อเตาร้อน จะทำให้เตาเผาถ่านแตกหรือร้าวได้ ถ้าใช้ดินเหนียวแทนปูนการขยายตัวก็จะน้อย รอยร้าว ร้อยแตกของเตาก็จะน้อย และอายุการใช้งานของเตานานด้วย

**3.3.3 เตาอิฐเตะ (Japanese Kiln)** เป็นเตาเผาถ่านที่ใช้อิฐทนไฟและปูนซีเมนต์ทนไฟเป็นวัสดุดิบในการสร้างเตา ข้อดีของเตานี้คือ มีการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาถ่านได้เป็นอย่างดี ซึ่งรูปแบบเตาลักษณะนี้นำต้นแบบมาจากประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นเตารูปทรงนี้เป็นรูปแบบที่พัฒนาจากเตาดิน และเตาอิฐ ให้ผลผลิตถ่าน ออกมาได้คุณภาพดี ผลผลิตถ่านได้ปริมาณมาก ได้น้ำส้มควันไม้ออกมาเยอะต่อการลงทุนก่อสร้างจะสูงกว่าเตาดินและเตาอิฐก่อ เนื่องจากว่าอิฐที่ใช้ก่อมีปริมาณ มากกว่า และการก่อสร้างยุ่งยากมาก ซึ่งต้องให้ผู้มีความรู้หรือว่า มีความเชี่ยวชาญในการก่อสร้างเป็นคนทำ เตาที่สร้างได้ถึงจะมีคุณภาพดี

**3.3.4 เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร** เตาเผาถ่านที่สร้างจากถังน้ำมัน 200 ลิตร เป็นเตาเผาถ่านที่เหมาะสมสำหรับมีไว้ประจำบ้าน เรือสวน ไร่นา สามารถสร้างและเผาถ่านได้ด้วยตัวเองและได้ถ่านในระยะเวลาเพียง 1 – 2 วัน ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับใช้สอยในครัวเรือน เตาเผาขนาด 200 ลิตร มีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาแบบดั้งเดิม เตาประเภทนี้อาศัยความร้อนไล่ความชื้นในเนื้อไม้ที่อยู่ในเตา ทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน เรียกว่า กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) โครงสร้างเป็นระบบปิด สามารถควบคุมอากาศได้ จึงไม่มีการลุกติดไฟของเนื้อไม้ ดังนั้นถ่านที่ได้จึงมีคุณภาพสูง เกิดเข็ถ่านน้อย (ศูนย์วิจัยพลังงาน, 2557)

จากการศึกษาเกี่ยวกับเตาเผาที่ใช้ในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้คัดเลือกการเผาด้วยถังขนาด 200 ลิตร เนื่องจากเป็นเตาเผาที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก ใช้พื้นที่น้อย ใช้เวลาน้อย และเป็นการเผาแบบระบบปิดทำให้ถ่านที่ได้ยังคงสภาพเดิมและทำให้เกิดเข็ถ่านน้อย

### 3.4 การเผาถ่าน

วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (2556) เป็นการเผาถ่านที่ทำการเปลี่ยนสภาพจากวัสดุดิบตั้งต้นโดยใช้ความร้อนให้กลายเป็นถ่าน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

**3.4.1 การไล่ความชื้น (Dehydration)** ขั้นตอนการไล่ความชื้นนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 270 องศาเซลเซียส จำเป็นต้องใช้ความร้อนจากภายนอก ซึ่งไม้พินเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) สละสมไว้ให้ได้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) โดยการไล่ความชื้นกระทำได้ 2 วิธี คือ

1) การให้ความร้อนโดยตรง โดยการจุดไม้พินบางส่วนในเตา เพื่อที่จะทำให้บางส่วนของไม้ที่จะทำถ่านลุกไหม้ และเกิดความร้อนเพียงพอที่จะไล่ความชื้นออกจาก

ไม้ในส่วนที่เหลือ วิธีนี้ประสิทธิภาพจะต่ำและหากควบคุมอากาศไม่ดีจะทำให้เกิดเขม่ามากเกินไป เป็นเหตุให้ผลผลิต (yield) ต่ำ

2) *การให้ความร้อนทางอ้อม* โดยการจุดเชื้อเพลิงหน้าเตา และนำเพียงลมร้อนเข้าไปไล่ ความชื้นออกจากไม้พื้ในเตา หากไม้พื้ในเตามีความชื้นมากก็จะต้องใช้เชื้อเพลิงและเวลามากขึ้นด้วย ดังนั้นควรต้องผึ่งไม้พื้สด ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 50-60 ให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 20-30 ก่อน เพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงและเวลา

### 3.4.2 การเปลี่ยนจากวัตถุดิบตั้งต้นเป็นถ่าน (Carbonization)

ขั้นตอนนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 270 – 400 องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนจากวัตถุดิบเป็นถ่านนี้ ควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารต่างๆ ที่เกิดใหม่มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (Pyrolysis) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

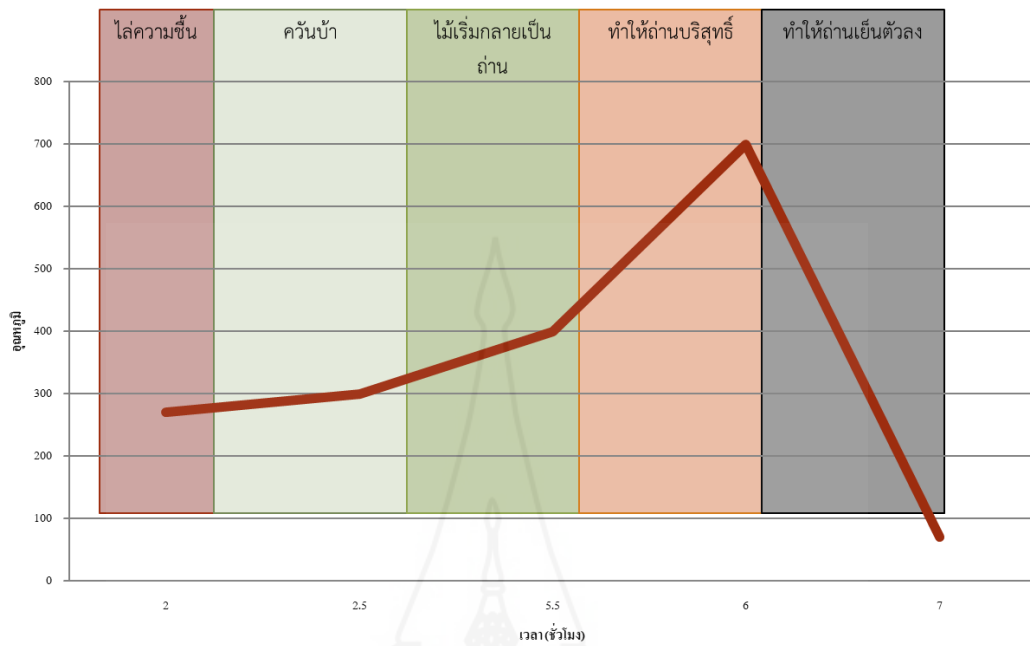
1) *ช่วงที่ 1 อุณหภูมิ 270 – 300 องศาเซลเซียส* ช่วงนี้วัตถุดิบตั้งต้นในเตาสะสมความร้อนไว้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) โดยไม่ต้องเติมพื้หน้าเตาอีก ไม้พื้จะลุกไหม้และสลายตัวด้วยความร้อนที่สะสมไว้ในตัวเอง เซลลูโลส (Cellulose) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส การสลายตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ควันที่ออกมาจากปล่องจะเป็นสีขาวอมเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด ส่วนใหญ่จะเรียกควันที่ว่า “ควันที่บ่า” หลังจากควันที่มีปริมาณน้อยลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเทาแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิไว้ให้คงที่ตลอดเป็นเวลานานพอสมควร เพื่อให้ขั้นตอนนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ ความร้อนจากไม้ด้านบนหน้าเตาจะค่อยๆ ถ่ายความร้อนไปยังจุดต่าง ๆ ทั่วทั้งเตาหากปล่อยให้อุณหภูมิขึ้นสูงเร็วเกินไปจะทำให้วัตถุดิบตั้งต้นที่สะสมความร้อนไว้มากกว่ากลายเป็นถ่านก่อนที่จะถ่ายความร้อน ไปยังวัตถุดิบตั้งต้นที่สะสมความร้อนไว้น้อยกว่า และอาจมีเปลวไฟออกทางหน้าเตาได้ หากเกิดกรณีดังกล่าววัตถุดิบตั้งต้นส่วนบนของเตาจะกลายเป็นเขม่าและวัตถุดิบตั้งต้นส่วนล่างของเตาจะกลายเป็นถ่าน ทำให้ผลผลิต (Yield) ต่ำ การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการควบคุมอากาศที่หน้าเตาควบคู่กับการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

2) *ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 300 – 400 องศาเซลเซียส* ช่วงนี้เซลลูโลส (Cellulose) ยังสลายตัวอย่างต่อเนื่อง และลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส การสลายตัวทั้งหมดจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

3.4.3 *การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (Refinement)* ถึงแม้ว่าขั้นตอนการเปลี่ยนองศาเซลเซียสเป็นถ่านจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) ต่ำ และยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หากนำไปใช้ประโยชน์จะได้ถ่านคุณภาพต่ำ น้ำมันดินที่ยังคงค้างอยู่ในถ่านเมื่อถูกเผาไหม้ที่

อุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส (โดยปกติเตาหุงต้มจะมีอุณหภูมิประมาณ 500 – 600 องศาเซลเซียส) จะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น โดยการปรับให้อากาศไหลเข้ามากขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 400 องศาเซลเซียส เป็น 500 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของเตาจะสูงกว่าอุณหภูมิที่พื้นเตาโดยใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นหากเร่งให้อากาศเข้าเร็วเกินไป เพื่อเพิ่มอุณหภูมิที่พื้นเตาสูงจะถึง 500 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ให้น้ำมันดินออกไปจากถ่าน อุณหภูมิด้านบนของเตาจะสูงถึง 700 องศาเซลเซียส ในเวลาที่เร็วเกินไปจะทำให้วัตถุติดตั้งต้นด้านบนกลายเป็นเถ้าเสียก่อน ดังนั้นจึงควรควบคุมอุณหภูมิด้วยความระมัดระวัง ในทางปฏิบัติ อาจสังเกตได้จากสีของควันที่เริ่มใส ผู้ควบคุมการผลิตถ่านจะปิดช่องอากาศเข้า แล้วรอให้ความร้อนถ่ายเทจากด้านบนของเตาลงมาที่พื้นเตา อุณหภูมิในเตาจะใกล้เคียงกันทุกจุดประมาณ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งในขณะนั้นจะไม่มีควันเหลืออยู่อีกแล้ว จึงปิดปล่องควัน ขั้นตอนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์นี้ ควันที่ออกมาจะมีสารก่อมะเร็งปนออกมาด้วยเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 425 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บควันในช่วงนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ควรนำไปบำบัดก่อนทิ้งหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น

**3.4.4 การทำให้เย็น (Cooling)** หลังจากปิดปล่องเตาทุกปล่องแล้ว ต้องปล่อยให้เตาเย็นจึงจะนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์ได้ ก่อนจะเปิดหน้าเตาต้องให้อุณหภูมิในเตาต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส เพราะถ่านไม้มีอุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส สามารถลุกติดไฟเองได้ (Spontaneous Combustion) ถ้าได้รับออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้นการเปิดเตาต้องเริ่มเปิดที่ปล่องควันก่อนเพื่อระบายความร้อนและแก๊สที่ยังคงค้างอยู่ในเตาให้หมด หลังจากนั้นจึงเปิดหน้าเตา



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไอโอดีนกับเวลาในการเผาถ่าน

ที่มา : <http://doraemontony.wixsite.com/charcoal/01>

### 3.5 ค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์

รุษณี กุลวิจิตร. (2560) จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 900-2547 ได้มีการกำหนดสมบัติและการทดสอบถ่านกัมมันต์ไว้ โดยจะต้องมีการทดสอบความชื้น การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบความแข็ง การทดสอบไอโอดีนนมเบอร์ (Iodine Number) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์ ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากไอโอดีนถูกถ่านดูดซับได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยวัดเป็นมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) / น้ำหนักถ่าน 1 กรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 900-2547 จะต้องมีค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์ไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัม/กรัม ทั้งนี้ค่าการดูดซับจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ด้วย

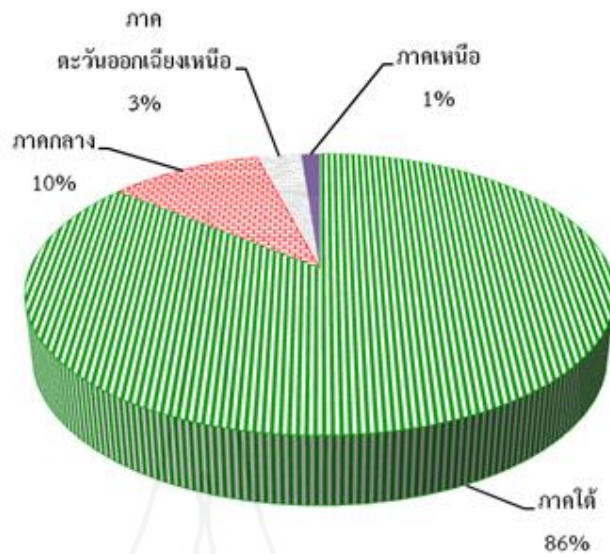
### 3.6 ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ถ่านกัมมันต์ทางการค้า คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งโดยส่วนใหญ่ทำมาจากถ่านหิน สารเคมี เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกสีของน้ำตาล ใช้ในการทำให้น้ำและอากาศบริสุทธิ์ ใช้ในการดูดตัวทำละลายให้สามารถกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ใช้ในการดูดซับกลิ่น ใช้บรรจุในเครื่องปรับอากาศเพื่อกรองอากาศ ทั้งนี้สำหรับถ่านกัมมันต์ที่มีนำมาใช้ในการดูดซับที่วางขายในท้องตลาด จะต้องได้มาตรฐานของสินค้าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 900-2547 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ทั้งนี้ผู้วิจัยได้คัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินยี่ห้อ KOLKO ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนนับเบอร์ 900 มิลลิกรัมต่อกรัม ขนาดของถ่านกัมมันต์ 0.66 – 2.36 มิลลิเมตร ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 9 – 11 มาใช้ในการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอีนกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มที่ได้พัฒนาขึ้น

## 4. กะลาปาล์ม

### 4.1 ความสำคัญของปาล์ม

เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในวงศ์ Arecaceae (ชื่อเดิมคือ Palmae) นับเป็นพืชวงศ์ใหญ่ที่สุด (รองจากหญ้า) ทั้งในแง่จำนวนของชนิด และปริมาณที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูก และปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่า ในปี 2557 มีพื้นที่ปลูก 4.59 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2548 ที่มีจำนวน 2.75 ล้านไร่ คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นราว 1.67 เท่า โดยมีพื้นที่ให้ผลผลิต 4.15 ล้านไร่ และได้ผลผลิต 12.50 ล้านตันในปี 2557 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2548 ราว 2.05 เท่าและ 1.22 เท่า ตามลำดับ พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยมีประมาณ 4.59 ล้านไร่ โดยภาคใต้เป็นบริเวณที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คิดเป็นจำนวน 3.94 ล้านไร่ หรือร้อยละ 85.8 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศรองลงมาได้แก่ ภาคกลาง จำนวน 0.46 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 10 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือมีพื้นที่ปลูก จำนวน 0.13 และ 0.06 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.8 และ 1.4 ตามลำดับโดยสัดส่วนพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจำแนกตามภาคแสดงไว้ในรูปที่ 2 (ศูนย์ข้อมูลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.5 สัดส่วนพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ปี 2557 จำแนกรายภาค  
ที่มา : <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2529>

ทั้งนี้พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน จะต้องเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 300 เมตร มีความลาดเอียงไม่เกินร้อยละ 12 ไม่มีน้ำท่วมขัง มีการระบายน้ำดีถึงปานกลางลักษณะดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกปาล์มน้ำมันต้องเป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง มีความลึกของหน้าดิน มากกว่า 75 เซนติเมตร ไม่มีชั้นดินดาน มีค่าความเป็นกรดต่างของดิน 4 - 6 ระดับน้ำใต้ดินลึก 75-100 เซนติเมตร สภาพภูมิอากาศจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20 - 30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,800 มิลลิเมตรต่อปี มีการกระจายของน้ำฝนสม่ำเสมอ มีช่วงแล้งต่อเนื่องน้อยกว่า 3 เดือน และมีแหล่งน้ำเพื่อใช้ใน ช่วงแล้งอย่างเพียงพอ

#### 4.2 ลักษณะของกะลาปาล์ม

กะลาปาล์ม เป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์ม โดยจะอยู่ระหว่างเส้นใยของเปลือกด้านนอกสุดและผลด้านในสุดของปาล์ม กะลาปาล์มเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โดยปาล์มถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกันมากในแถบภาคใต้ของประเทศไทย โดยคุณสมบัติและลักษณะทั่วไปของกะลาปาล์มจะมีสีน้ำตาล เปลือกค่อนข้างสมบูรณ์หนา ดูเหมือนเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา ให้ค่าความร้อนที่สูงเพราะมีน้ำมันเคลือบผิวหลงเหลือค่อนข้างเยอะ ค่อนข้างเป็นเม็ดสวย มีความมันวาวทำให้นิยมนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม

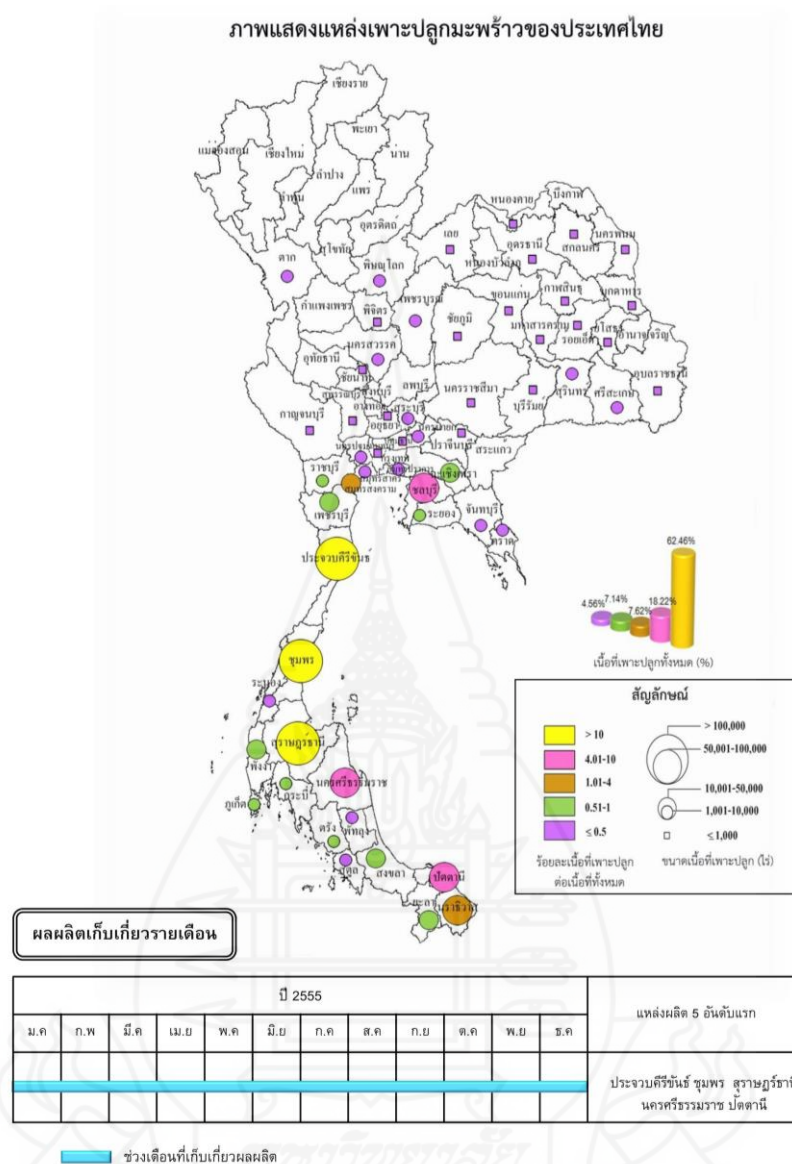
## 5. กะลามะพร้าว

### 5.1 ความสำคัญของมะพร้าว

มะพร้าว เป็นไม้ยืนต้น อยู่ในตระกูลปาล์ม และเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากคนไทยมักจะนำมาทำเป็นส่วนประกอบในอาหารทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ผลมะพร้าวประมาณ 990 ล้านผล หรือประมาณร้อยละ 65 ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 35 ของผลผลิตทั้งหมด หรือ 489 ล้านผล ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออก โดยสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว เป็นต้น และ ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ เป็นต้น โดยภาคที่มีการปลูกมะพร้าวมากและปลูกเป็นอาชีพ คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก (ศูนย์ข้อมูลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ม.ป.ป.)







ภาพที่ 2.6 แหล่งเพาะปลูกมะพร้าวของประเทศไทย

ที่มา : <http://www.oae.go.th/fruits/index.php/coconut-data>

ทั้งนี้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะพร้าวในประเทศไทยไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำทะเลเกิน 100 เมตร ปลูกได้ทั้งดินทรายจนถึงดินเหนียวจัด แต่ในดินร่วนจะมีการระบายน้ำดีทำให้รากเจริญเติบโตเร็ว หน้าดินควรลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร และน้ำใต้ดินไม่สูง เพราะอาจทำให้เหี่ยวเฉาและผลอ่อนร่วงหล่นได้ ความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรอยู่ระหว่าง 6.4 – 7.0 และมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ดินที่เหมาะสมกับการปลูกมะพร้าวได้แก่ ดินไถลี้ฝั่งแม่น้ำ ดินไถลี้

ปากน้ำติดทะเลเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมในฤดูฝน ดินตามเกาะต่างๆ ดินชายทะเลซึ่งส่วนมากหน้าดินเป็นดินทราย ดินเลนที่ขุดลอกจากสันดอน และดินบนคันนา แต่หากจะปลูกเป็นการค้าก็ควรจะต้องเลือกปลูกในสภาพอากาศที่มะพร้าวจะให้ผลผลิตสูง ซึ่งสภาพลมฟ้าอากาศที่เหมาะสมแก่การปลูกมะพร้าวเป็นดังนี้ ฝน มะพร้าวเจริญเติบโตให้ผลผลิตดีเมื่อได้รับน้ำฝนอย่างสม่ำเสมอ 1500 – 2000 มิลลิเมตรต่อปีและไม่ควรได้รับน้ำน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรติดต่อกันนาน 3 เดือน ผู้ปลูกมะพร้าวในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงนิยมขุดร่องสวนเพื่อให้มะพร้าวมีน้ำหล่อเลี้ยงเพียงพอตลอดปี ทั้งยังช่วยป้องกันน้ำท่วมรากหากฝนตกชุกเป็นเวลานาน และต้องมีลมพัดอ่อนๆ จะช่วยให้มะพร้าวเติบโตได้ดีเพราะเพิ่มการคายน้ำและเร่งการดูดธาตุอาหารและน้ำจากดิน ทั้งยังช่วยในการผสมเกสร แต่ถ้าลมแรงเกินไปอาจทำให้ยอดบิดหักและตายได้ มะพร้าวที่ปลูกใหม่จะชะงักการเจริญเนื่องจากรากยังไม่ยึดดินแน่นเท่าที่ควร มะพร้าวต้องการแสงแดดสม่ำเสมอประมาณ 2000 ชั่วโมงต่อปี หรือน้อยกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน หากได้รับแสงแดดน้อยมะพร้าวจะไม่ค่อยออกดอกติดผล หรือติดผลแต่เนือบาง อุณหภูมิ มะพร้าวเจริญได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส จะสูงหรือต่ำกว่าก็ไม่ควรเกิน 7 – 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิไม่ควรเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน อุณหภูมิที่ต่ำมากจะกระทบกระเทือนการเจริญและผลผลิต

## 5.2 ลักษณะของกะลามะพร้าว

กะลามะพร้าวเป็นส่วนหนึ่งของมะพร้าวโดยจะอยู่ทางด้านในของลูกมะพร้าว ระหว่างใยมะพร้าวและเนือมะพร้าว มีลักษณะแข็ง เป็นสีน้ำตาล มีน้ำมันเคลือบ มีคุณสมบัติคือติดไฟง่าย จึงเหมาะแก่การนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงสามารถนำผงถ่านไปทำเป็นวัสดุดูดซับได้หากผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากผิวของกะลามะพร้าวเมื่อทำการกระตุ้นในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้เกิดรูพรุนบริเวณพื้นที่ผิวและมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับได้โดยจะอยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์

## 6. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สถาพร บุ่งทอง และคณะ (2558) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยกระบวนการปรับสภาพด้วยสารเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มด้วยวิธีทางเคมี จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำกะลาปาล์มและถ่านจากกะลาปาล์มไปตรวจสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยมีร้อยละของผลผลิตเท่ากับร้อยละ 35.58 การเตรียมถ่านกัมมันต์เมื่อใช้อุณหภูมิอัตราส่วนตัวปรับสภาพต่อถ่านกัมมันต์ และระยะเวลาในการปรับสภาพ เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าร้อยละของผลผลิตมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งส่งผลต่อขนาดผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่ได้ การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จะพิจารณาจากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ความสามารถในการดูดซับขนาดของถ่าน รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์ ซึ่งพบว่าสารเคมีที่มีความเหมาะสมสำหรับการปรับสภาพคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับสภาพที่สภาวะ 900 องศาเซลเซียส อัตราส่วนตัวปรับสภาพต่อถ่านกัมมันต์ 2:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 871 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถกำจัดเมทิลีนบลูได้ร้อยละ 54.3

ปัญญา มณีจักร (2555) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากต้นहुกวาง โดยทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกहुกวาง โดยถ่านคาร์บอนที่สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกहुกวางที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านกัมมันต์เตรียมได้โดยการปรับสภาพถ่านคาร์บอนด้วยกรดซัลฟูริก ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับในถ่านสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยเครื่องบลูเนอรเอลเมทเทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนมีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์

สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล โดยศึกษาความสามารถในการดูดซับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม โดยนำตัวอย่างชีวมวล คือ กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด มาเผาเป็นถ่านในเตาถ่านน้ำมัน 200 ลิตร แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบกับน้ำทิ้งจากชุมชน ร้านอาหาร และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อดูดซับสี และกลิ่นของน้ำทิ้ง พบว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจาก กะลามะพร้าว คือ ร้อยละ 20 โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 367 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทดสอบกับน้ำทิ้ง

จากคร่าวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 1-5 กรัม และ ต่อน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะทำให้น้ำทิ้งใสขึ้น และมีกลิ่นลดลง หรือไม่มีกลิ่น

รัตนภรณ์ เอกนุช, (2554) ได้ศึกษาการพัฒนาแผ่นดูดซับสารระเหยที่ขึ้นรูปด้วย ถ่านไม้และเยื่อกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแผ่นดูดซับที่ผลิตจากผงถ่านไม้ร่วมกับ เยื่อกระดาษที่สามารถใช้งานได้สะดวกและหลากหลาย และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหย ที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่อยู่อาศัย ด้วยการผสมผสานระหว่างผงถ่านไม้ 3 ชนิด ได้แก่ โกงกาง ใผ่ และ ยูคาลิปตัสและเยื่อกระดาษ 2 ชนิด ได้แก่ เยื่อยาวของปอสา และเยื่อสั้นของยูคาลิปตัส และเมื่อ คัดแยกขนาดของผงถ่านออกเป็นขนาดเล็กกว่า 53 ไมโครเมตร และระหว่าง 53 – 300 ไมโครเมตร และทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารระเหยพบว่าสารอินทรีย์ระเหยรวมจากสีน้ำอะคริลิกดูดซับได้ ร้อยละ 97.79 แผ่นดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดคือ ชนิดที่ขึ้นรูปจากผงถ่านขนาดน้อย กว่า 3 ไมโครเมตร

องอาจ สุยะพันธ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสาร โทลูอินจากถ่านไม้ เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากถ่านไม้โดยใช้น้ำยาฟาราเป็น ตัวประสาน ถ่านไม้ที่ถูกนำมาทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอระเหยสาร โทลูอินได้แก่ ผงถ่านที่ทำจากไม้มะขามและไม้จันทน์ โดยทำการทดลองศึกษาความสามารถในการดูดซับ ทุก ๆ 5 นาทีเป็นระยะเวลา 50 นาที

อรณิชา อุปรีย์ และสัญญา สิริวิทยาปกรณ์ (2559) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ ถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้า มันสำปะหลัง ซึ่งทำการปรับสภาพด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้า จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ เหมาะสมในการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านคือ 900 องศาเซลเซียส และถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยที่ถูก ปรับสภาพด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้ามีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีค่าไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 655.68 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อนำไปส่องที่กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าถ่านขานอ้อยส่วนใหญ่จะมีรูพรุนกระจายตัวไม่หนาแน่นมาก ส่วน ถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบ หนาแน่น และที่ปรับสภาพด้วยเถ้าจะมีรูพรุนกระจายตัวไม่หนาแน่นมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสอง ชนิดนี้สามารถนำไปบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมผ้าได้

สรณ์ สุวรรณโชติ (2559) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซอินทรีย์และ ก๊าซอนินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพโดยสารเคมี โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมสารมลพิษในกลุ่มสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่

ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ โดยใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพ โดยสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ กรดไนตริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไนเตรต จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 0.1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 N เป็นวิธีการปรับสภาพที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของถ่านกัมมันต์น้อยที่สุด ในขณะที่การปรับสภาพโดยใช้ความเข้มข้นอื่น ๆ และแอมโมเนียมไนเตรต จะทำให้โครงสร้างโพรงของถ่านกัมมันต์ถูกทำลาย ผลจากการปรับสภาพทำให้ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลง ยกเว้นการปรับสภาพด้วยกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.1 2.0 และ 3.0 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 N และแอมโมเนียมไนเตรต ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 N ซึ่งทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น โดยการปรับสภาพด้วยแอมโมเนียมไนเตรต ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 N และกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 3.0 N ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยมีร้อยละเพิ่มขึ้นเป็น 11.20 8.00 และ 1.88 ตามลำดับ การปรับสภาพโดยสารทั้งสามชนิดส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น โดยการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5.0 N ทำให้มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันนอลเพิ่มขึ้นมากที่สุดร้อยละ 247.83 ขณะที่การใช้กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 5.0 N ทำให้มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันนอลเพิ่มขึ้นสูงสุด คือเพิ่มขึ้นร้อยละ 199.12 ส่วนการปรับสภาพโดยแอมโมเนียมไนเตรต ที่ความเข้มข้น 3.0 N ทำให้ปริมาณหมู่ฟังก์ชันนอลเพิ่มขึ้นมากที่สุดร้อยละ 119.18

ปรินทร เต็มญารศิลป์ (2551) ได้ศึกษาการเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้เต็งและไม้พญา โดยใช้วิธีการปรับสภาพด้วยสารเคมี จากผลการศึกษาพบว่าสมบัติถ่านกัมมันต์ได้แก่องค์ประกอบแบบประมาณได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัวและความสามารถในการดูดซับขึ้นกับพื้นที่และชนิดของไม้ไฟ ชนิดของสารปรับสภาพ และสภาวะในการปรับสภาพ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารปรับสภาพ และเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ หลังจากนั้นได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับพบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ไฟเต็งอายุ 2 ปีที่ถูกปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุดคือ 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไฟทางการค้า สามารถดูดซับได้ 0.12 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และในการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่าถ่านกัมมันต์จากไม้ไฟพญา อายุ 2 ปี ที่ถูกปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถดูดซับได้มากที่สุดคือ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไฟทางการค้า สามารถดูดซับได้ 9.69 และ 6.86 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ (2559) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ โดยศึกษาการผลิตถ่านที่ได้จาก

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยทำการบดถ่านให้เป็นผงและอัดขึ้นเม็ดเป็นรูปทรงกระบอกด้วยเครื่องอัดเม็ด โดยใช้สารเชื่อมประสาน 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง น้ำมันดิน และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และทำการปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และให้ความร้อนในการปรับสภาพ คือให้ใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 2 โมลาร์อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาที ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์และเมทิลีนบลูสูงสุดถึง 602.75 และ 202.04 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

กุลธิดา สะอาด (2557) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเตรียมถ่านชีวภาพโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับสภาพ เพื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดติดผิว และร้อยละการกำจัดไอออนทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ รวมถึงศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของถ่านชีวภาพที่เตรียมขึ้น โดยเทคนิคฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากผลการทดลองพบว่าชนิดและปริมาณของถ่านชีวภาพที่มีค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดไอออนทองแดงสูงสุด ได้แก่ เปลือกทุเรียน ที่ระดับ 1.50 กรัม ส่วนชนิดและปริมาณของถ่านชีวภาพที่มีค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดไอออนทองแดงต่ำสุด ได้แก่ เมล็ดลำไย ที่ระดับ 0.500 กรัม ดังนั้นชนิดและปริมาณจึงมีปฏิสัมพันธ์กันโดยประสิทธิภาพการดูดติดและร้อยละการกำจัดไอออนทองแดงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดซับ ลักษณะและขนาดรูพรุนของถ่าน

เกียรติศักดิ์ สมสัย (2556) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอระเหยโทลูอินของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโทลูอินของถ่านที่เหลือจากขบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์โดยนำมาปรับสภาพด้วยเฮกเซน ความร้อน และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลการศึกษาพบว่าถ่าน มีพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่าศูนย์กลางของถ่านเท่ากับ 24.20 ตารางเมตรต่อกรัม 0.2574 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 425.5 อังสตรอม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นโทลูอิน 13.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถ่านมีความสามารถในการดูดซับโทลูอินเท่ากับ 532.0 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อทำการปรับสภาพถ่านด้วยสารเฮกเซนพบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นเป็น 32.85 ตารางเมตรต่อกรัม 0.3648 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดลดลงเหลือ 444.2 อังสตรอมความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น 682.17 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อทำการปรับสภาพถ่านด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านสามารถดูดซับไอระเหยโทลูอินได้ดีที่สุด 1,192.83 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับการปรับสภาพถ่านด้วยความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียสร่วมกับสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าถ่านหลังการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดซับลดลง

ผลการศึกษามีแนวโน้มว่าคุณลักษณะของพื้นผิวทางเคมีมีความสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับ โทลูอีนมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์ และพันธุทิพย์ ตาทอง (2557) ได้ศึกษาการเผาถ่านด้วยวิธีดั้งเดิมของชุมชนท้องถิ่นสู่เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก โดยใช้เตาเผาถ่านแบบถังขนาด 200 ลิตร ซึ่งสามารถใช้เศษกิ่งก้านไม้ หรือเศษวัสดุพืชอื่น ๆ มาเป็นวัตถุดิบแทนไม้ขนาดใหญ่ จึงกลายเป็นทางเลือกใหม่สำคัญของการเผาถ่าน และประโยชน์ที่ได้จากการเผาถ่านด้วยเตาประสิทธิภาพสูงมิใช่ได้เพียงถ่านเท่านั้น ด้วยข้อเด่นของเตาชนิดนี้และการส่งเสริมอย่างจริงจังทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบผลผลิตและประโยชน์ที่ได้จากการเผาถ่านหลากหลายชนิด เช่น น้ำส้มควันไม้ ถ่านอัดแท่ง ถ่านกัมมันต์ และสบู่จากถ่าน เป็นต้น รวมถึงเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการเผาถ่านแบบถังขนาด 200 ลิตรหลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้การเผาถ่านในแต่ละภูมิภาคมีการใช้ชนิดไม้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการเผาถ่านแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้น เช่น ภาคใต้ใช้ไม้ยางพารา และบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำจะใช้ไม้โกงกาง เป็นต้น

พิทักษ์ อยู่มี (2558) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งจากผงถ่านไม้ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการก่อกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารก่อกัมมันต์ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการก่อกัมมันต์จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ เมื่อใช้ NaOH เป็นสารปรับสภาพมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างปริมาณผงถ่านไม้ต่อสารปรับสภาพเป็น 1:3 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ 2 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 1,247 mg/g และพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 1,214.52 m<sup>2</sup>/g ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ถูกนำไปตรวจหาคุณลักษณะเฉพาะด้วยเครื่อง FT-IR, XRD และ SEM การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เตรียมง่าย และได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูง

พิมานเมศ ชนะโยธา และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม (2557) ได้ศึกษาการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ โดยสังเคราะห์ตัวดูดซับจากวัสดุ กะลามะพร้าว ถ่านหิน และถ่านโค้ก โดยใช้วิธีการไพโรไลซิสตามด้วยการปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) พร้อมทั้งเปรียบเทียบการดูดซับของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้กับตัวดูดซับพบว่าในบรรดาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และเผาปรับสภาพที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถดูดซับสาร HEMA และสาร

Octamethylcyclotetrasiloxane ได้สูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 77.87 และ 50.82 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น ร้อยละ 79.73 และ 70.07 ของความสามารถในการดูดซับสาร HEMA และ Octamethylcyclotetrasiloxane ด้วย Carbotrap™ B ตามลำดับ

ธีรดิษฐ์ โปธิตันติมงคล (2560) ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการปรับสภาพทางเคมีเพื่อการประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวน สรุปประเด็น และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการ เตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยวิธีการปรับสภาพทางเคมีเพื่อใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีลักษณะโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงประมาณ 600 – 2,400 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.20 – 1.00 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ โดยมีธาตุคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณร้อยละ 80 – 90 เมื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพทางกายภาพและทางเคมี พบว่าการปรับสภาพทางเคมีมีการศึกษาและนำไปใช้งานมากกว่าการปรับสภาพทางกายภาพ เนื่องจากใช้ อนุภูมิคุ้มต่ำ และระยเวลาน้อยกว่า แต่ได้ถ่านกัมมันต์ที่พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูง สารเคมีที่นิยม นำมาใช้ในการ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ถ่านกัมมันต์จาก วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผลิตได้มีการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับในกระบวนการดูดซับได้

ยุวรัตน์ เงินเย็น และคณะ (2557) ได้ศึกษาการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษด้วยถ่านกัมมันต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดสี ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ โดยทำการทดลองเพื่อหา ประสิทธิภาพการกำจัดสี ทั้งในกระบวนการดูดซับแบบกะและแบบหอดูดซับ ซึ่งตัวแปรที่ ทำการศึกษาในกระบวนการดูดซับแบบกะ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณตัวดูดซับ จากผล การศึกษาพบว่าในกระบวนการดูดซับแบบกะถ่านกัมมันต์ปริมาณ 1.5 กรัม สามารถกำจัดสีของ น้ำเสีย ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ได้ร้อยละ 100 โดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในการเข้าสู่สมดุลของการ ดูดซับ และในกระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับจำนวน 7 คอลัมน์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณคอลัมน์ ละ 20 กรัม ต่อ น้ำเสีย 2,000 มิลลิลิตร พบว่าหอดูดซับสามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้สูงสุดร้อยละ 70 ในเวลา 12 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้ปริมาตรของ น้ำเสียและเวลาในการดูดซับเท่ากัน พบว่ากระบวนการดูดซับแบบกะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี สูงกว่ากระบวนการดูดซับแบบหอดูดซับ

ศรีสุดา นิเทศธรรม อัจฉรา บุญมาหล้า และอรพรรณ ชัยสิทธิ์ (2558) ได้ศึกษาการ เตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียม คาร์บอเนตสำหรับการดูดซับสีย้อม โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ในวัตถุดิบโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) และศึกษา



พฤติกรรมการสลายตัวของไขมันของโพลีเอทิลีนในสารปรับสภาพโพแทสเซียมคาร์บอเนต ด้วยเทคนิค TGA และศึกษาสภาวะการปรับสภาพที่อัตราส่วนระหว่างสารปรับสภาพต่อวัตถุดิบ เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 อุณหภูมิในการกระตุ้นในช่วง 700-1,000 องศาเซลเซียส วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการดูดซับ และถ่ายภาพโครงสร้างรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราส่วน 1.0 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 1,089 ตารางเมตรต่อกรัมและความสามารถในการดูดซับสีย้อมเป็น 500 มิลลิกรัมต่อกรัม

สุภกร บุญยืน ศราวุธ ลั่นวงษา และศิริวิทย์ บัวเจริญ (2552) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ และการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับ โดยศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาถ่านต่อพื้นที่ผิวของถ่านที่ได้ รวมทั้งประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์โดยใช้สีของ Methylene Blue เป็นตัวอย่างในการศึกษา รวมทั้งการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมไอออน ( $Cd^{2+}$ ) จากการทดลองพบว่าสภาวะการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะให้พื้นที่ผิวมากที่สุด 639.30  $m^2/g$  (ถ่านซีลี้อย) การเผาถ่านในช่วงอุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส จะให้พื้นที่ผิวในช่วง 86-681.40  $m^2/g$  โดยถ่านกะลาจะให้พื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซีลี้อย และแกลบ ถ่านที่สังเคราะห์ได้ถูกนำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีของ Methylene Blue และแคดเมียมไอออน พบว่าจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อพื้นที่ผิวมากขึ้น ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นที่ผิวภายนอกของถ่านเท่านั้นไม่ได้เกิดในช่องว่างภายในโดยการดูดซับ Methylene Blue จะอยู่ในช่วง 9.55-9.60 mg/g กรณีแคดเมียมไอออนจะอยู่ในช่วง 4.98-5.00 mg/g แสดงให้เห็นว่าถ่านที่ศึกษานี้มีศักยภาพในการใช้เป็นตัวดูดซับที่ดีได้

พีระพงษ์ เนียมเสวก (2555) ได้เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับจากวิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน โดยหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากวิธีการผลิต 2 วิธี ด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือการผลิตโดยวิธีทางกายภาพโดยใช้ไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส และการผลิตโดยวิธีชุบด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการคาร์บอไนซ์ 3 ชั่วโมง ในวัสดุ 3 ชนิดได้แก่ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด ถ่านที่ผลิตจากกะลามะพร้าวผลิตโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.48 ด้านปริมาณความหนาแน่นเชิงปริมาณ คือถ่านที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.458 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กล่าวโดยสรุปถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากวัสดุเปลือกทุเรียนโดยวิธีไอน้ำความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

สุพรรณ เพ็งพันธ์ (2555) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ *Escherichia coli* บน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและขี้เถ้า โดยศึกษาการดูดซับเชื้อ *Escherichiacoli* ด้วย ถ่านกัมมันต์การค้าจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เถ้าด้วยกระบวนการปรับสภาพ ทางกายภาพ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 180 นาที โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนร่วมกับไอน้ำ เป็นตัวปรับสภาพ จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้ามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 317.95 ตารางเมตร ต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.118 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.49 นาโนเมตร ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 27.89 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ 581.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 357.43 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.246 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.46 นาโนเมตร ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 34.62 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับไอโอดีน 617.17 มิลลิกรัมต่อกรัม การทดสอบการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง มี อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านถ่านกัมมันต์เท่ากับ 45 มิลลิลิตรต่ออนาที ค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายเท่ากับ 6 และค่าความแรงไอออนของ สารละลายเท่ากับ 0.1 โมลต่อลิตร ทำให้การดูดซับเชื้อ *E.coli* บนถ่านปริมาณ 100 กรัมดีที่สุด โดย ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและขี้เถ้าให้ค่าร้อยละการดูดซับสูงสุดคือ 57.44 และ 96.95 ตามลำดับสาเหตุที่ถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าให้ค่าการดูดซับสูงกว่าถ่านจากกะลามะพร้าวเนื่องจากมี รูพรุนขนาดใหญ่มากกว่า ทำให้เชื้อ *E. coli* ซึ่งมีขนาดใหญ่สามารถถูกดูดซับบริเวณรูพรุนได้

Kerstin I. Andersson, Marie Eriksson, and Magnus Norgren (2011) ได้ ศึกษาการกำจัดลิกนินจากน้ำเสียโดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านลอย ซึ่งการตรวจสอบการดูดซับวัสดุที่ เกี่ยวข้องกับลิกนินซึ่งพบในน้ำเสีย ทั้งนี้จึงใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านลอยเป็นตัวดูดซับในการทดลอง วัสดุที่เกี่ยวข้องกับลิกนิน มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ในการดูดซับบนตัวดูดซับ ถึงแม้ว่า ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะสูงกว่าถ่านลอย แต่ก็เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการบำบัด น้ำเสียขั้นสูงและถ่านลอยสามารถเป็นตัวดูดซับต้นทุนต่ำที่เหมาะสมสำหรับสารอินทรีย์ได้

Kun Zhang, Lijie Zhang, and Shang-Tian Yang (2014) ได้ศึกษาการฟื้นฟู สภาพถ่านกัมมันต์หลังการดูดซับด้วยกรดฟอร์มิก โดยถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับกรด fumaric (~ 200 mg / g) ที่ความเป็นกรด - ด่างต่ำ (<2) มีความสามารถในการดูดซับน้ำตาลกลูโคส และกรดฟอร์มิกสูง ทั้งนี้จึงเลือกอะซิโตนมาใช้เพื่อลดกรดฟอร์มิกจากถ่านกัมมันต์ และถูกนำมา ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยอะซิโตนส่งผลให้กรดฟอร์มิกระเหยหมดไป ดังนั้นทั้งถ่านกัมมันต์และอะซิโตนสามารถฟื้นฟูและใช้ซ้ำได้

Xin Liu, Pedram Fatehi, and Yonghao Ni (2011) ได้ศึกษาการดูดซับลิกโน เซลลูโลสที่ละลายในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษคราฟท์ โดยศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ

วัสดุจาก เฮมิเซลลูโลส โดยถ่านกัมมันต์ถูกปรับสภาพด้วย  $H_2O_2$  หรือ  $H_2SO_4$   $H_2S_2$  และ  $H_2SO_4$  และนำไปดูดซับเฮมิเซลลูโลสต่อถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่าการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ในสภาวะเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมไว้นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนดังกล่าวยังช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับของเฮมิเซลลูโลส

Yang Juan and Qiu Ke-qiang (2009) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการปรับสภาพทางเคมีภายใต้สุญญากาศ โดยใช้วัสดุจากขี้เลื่อยของต้นสนจีน โดยการปรับสภาพด้วยสังกะสีคลอไรด์ภายใต้สภาพสุญญากาศ พบว่าโครงสร้างหลังจากการปรับสภาพมีค่าที่สูงขึ้นของพื้นที่ผิว BET (สูงสุด  $1079 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) และปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (สูงกว่า  $0.5665 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) ซึ่งมากกว่าคาร์บอนที่มีการปรับสภาพแบบปกติ ซึ่งการปรับสภาพแบบสุญญากาศมีการลดออกซิเจนในระบบโดยถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวดูดซับมีต้นทุนต่ำและมีคุณสมบัติพื้นผิวที่เหมาะสม

Chetan Borkar, Dheeraj Tomar and Sasidhar Gumma (2010) ได้ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ออกจากน้ำเสียโดยใช้ถ่านกัมมันต์ไดคลอโรมีเทน โดยการวัดความสมดุลและการดูดกลืนที่ใช้เครื่อง TGA ซึ่งเป็นเครื่องมือเฉพาะในการทดสอบ โดยวัดการไหลผ่านความเข้มข้นของ VOC ในระยะก๊าซสามารถควบคุมได้อย่างถูกต้อง การวัดได้ดำเนินการในอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 303.15, 318.15 และ 353.15 เคลวิน

Hyoki Min, Tanveer Ahmad, and Sang-Sup Lee (2017) ได้ศึกษาลักษณะการดูดซับปรอทกับคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำจัดปรอท โดยวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์และสภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับปรอท พื้นที่ผิวของ BET และปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับปรอท ดังนั้นจึงคัดเลือกวัสดุที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันถูกโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว จะนำไปทดสอบการดูดซับปรอทในรูปแบบของก๊าซจำลอง 3 รูปแบบคือ (1) สภาวะก๊าซธรรมชาติและ (2) ประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทเพิ่มขึ้นเทียบกับพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่นำไปทดสอบการดูดซับกับก๊าซธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ถ่านหินมีประสิทธิภาพในการดูดซับปรอทสูงกว่าคาร์บอนที่ใช้ถ่านไม้สน ในสภาวะการเผาไหม้ของก๊าซซัลเฟต ประสิทธิภาพการดูดซับปรอทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

Jinhui Xu และคณะ (2014) ได้ศึกษาอิทธิพลของเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ / คาร์บอนที่เกิดขึ้นในอะเซทิลีนคลอริเนชัน

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ กับสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาจากทองคำในระบบอะเซทิลีนไฮโดรคลอรีนชัน ด้วยชุดของถ่านกัมมันต์ดัดแปลงที่มีระดับของกลุ่มออกซิเจนที่ต่างกันบนพื้นผิว โดยศึกษาลักษณะทางเคมีพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ในการเร่งปฏิกิริยา เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาและการคำนวณแบบ DFT

Abedeh Gholidoust, John D. Atkinson, and Zaher Hashisho (2017) ได้ศึกษาการดูดซับ CO<sub>2</sub> โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากอะซิเตทของถ่านหิน โดยมีการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยอะเซสเตอร์อลจากทรายน้ำมันเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกปรับสภาพโดยใช้ไมโครเวฟและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับสภาพ การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสูงสุดคือ 5.63 mmol CO<sub>2</sub> / g สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ซูดด้วย 1.15 mmol N / g มีค่าเท่ากับร้อยละ 75 สูงกว่าค่าที่ระบุไว้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 75 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Liqing Li และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของสมบัติพื้นผิวในถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับปรอท โดยศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์ โดยนำมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบกับคุณสมบัติของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ การดูดซับปรอทได้รับการทดสอบโดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้ไอโซโทนและไอโซโทปฟิลแอลกอฮอล์เป็นสารละลาย ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับของ Hg ในคลอไรด์คลอไรด์ที่เคลือบด้วยถ่านกัมมันต์ฟิลแอลกอฮอล์มีค่ามากที่สุด การสะสมของโคบอลต์บนผิวถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับสารปรอทของสารเคมี

Jubing Zhang และคณะ (2011) ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ไฟและการประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงชนิดคาร์บอน โดยศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงคาร์บอน (DCFCs) ที่ผลิตขึ้นจากเศษไม้ไฟโดยการปรับสภาพด้วยด้วยสารละลาย HNO<sub>3</sub> ภายใต้อุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราส่วนการอิมตัว K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพพื้นผิวของถ่านกัมมันต์และขจัดเถ้าก่อนการนำไปใช้งาน จากการทดลองพบว่าพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1264 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> ที่อุณหภูมิในการปรับสภาพ 1173 K ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้นพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีปริมาณรูพรุนและการพื้นที่ผิวที่มากขึ้น โดยการปรับสภาพด้วย HNO<sub>3</sub> และปริมาณเถ้าจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด พื้นที่ผิวของ BET ลดลงเล็กน้อย ความเข้มข้นของสารละลาย HNO<sub>3</sub> ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 2 โมล

Juan Yang และคณะ (2012) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเป็นเถ้าออกจากเถ้า โดยศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเถ้า ที่มีเถ้าถ่านนำมา

ผ่านและการปรับสภาพต่อเนื่องด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการบำบัดด้วยต่างของถ่านกัมมันต์ ทำให้เกิดถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพด้วย NaOH และการบำบัดด้วยต่างโดยตรง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าลดลงร้อยละ 84.4 และการวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET และปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 92.3 และร้อยละ 109.3 ตามลำดับ ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีปริมาณเถ้าร้อยละ 11 ของน้ำหนัก และมีพื้นที่ผิว  $620 \text{ m}^2 / \text{g}$  และมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ  $0.67 \text{ cm}^3/\text{g}$

Fei Wang และคณะ (2017) ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมของ Bisphenol A และ Triclosan โดยกราฟีนเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว โดยทำการศึกษาสมบัติการดูดซับของ Bisphenol A (BPA) และไตรคลีโซไรด์ (TCS) ต่อกราฟีนและเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ การศึกษาทางจุลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการดูดซับ BPA บนกราฟีน หรือถ่านกัมมันต์มีความสมดุลภายใน 240 นาที ขณะที่การดูดซับ TCS บนวัสดุทั้งสองนี้มีความสมดุลใน 60 และ 120 นาที ความสามารถในการดูดซับ BPA ของกราฟีนหรือถ่านกัมมันต์สูงสุดอยู่ที่ประมาณ  $2.0 \times 10^3$  ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กราฟีนมีประสิทธิภาพเทียบเท่าถ่านกัมมันต์แบบดั้งเดิมสำหรับการกำจัด BPA ในทางตรงกันข้ามความสามารถในการดูดซับ TCS ต่อกราฟีนทำให้สามารถใช้วัสดุกราฟีนเพื่อกำจัด TCS ออกจากน้ำทิ้งได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่าง 4.0 ถึง 7.0 ไม่ส่งผลต่อการดูดซับ BPA หรือ TCS แต่อย่างใด แต่การดูดซับจะลดลงอย่างมากเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 7.0 เป็น 9.0

Mingjia Zhi และคณะ (2014) ได้ศึกษาผลของโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากเศษเหลือทิ้งต่อสมรรถนะของตัวทำละลายหรือตัวเก็บประจุที่ใช้แล้วโดยนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพซึ่งใช้ยางที่ไม่ได้ใช้งานแล้วเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยกระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการปรับสภาพด้วยสารเคมี ซึ่งการปรับสภาพของถ่านกัมมันต์และมีการทดสอบในหลายพารามิเตอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ได้เช่นกัน

Syed Waheed ul Hasan and Farid Nasir Ani (2014) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ไมโครเวฟ งานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ประเด็นสำคัญ ๆ เพื่อใช้ในการวิจัยในปัจจุบันและมีการเสนอแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางและขั้นตอนต่อไปในพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟเพื่อไปต่อยอดในระดับภาคอุตสาหกรรม

Şahika Sena Bayazit, smail İnci, and Hasan Uslu (2011) ได้ศึกษาการดูดซับกรดแลคติกจากแบบจำลองบนถ่านกัมมันต์และ Amberlite IRA-67 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของกรดแลคติกต่อถ่านกัมมันต์และ Amberlite IRA-67 และเพื่อหาค่าการดูดซับไอโซเทอม ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่ภาคอุตสาหกรรมรู้จักและใช้อย่างแพร่หลาย

ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ และ Amberlite IRA-67 เมื่อเทียบกับร้อยละการกำจัดกรด Amberlite IRA-67 มีประสิทธิภาพมากกว่าถ่านกัมมันต์

Yogesh C. Sharma and Uma (2010) ได้ศึกษาการเพิ่มพารามิเตอร์สำหรับการดูดซับเมธิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขยะมูลฝอยคือแกลบที่มีพื้นที่ผิว  $180.50 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  การวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราฟายเออร์อินฟราเรด (FTIR) ของถ่านกัมมันต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มฟังก์ชันที่มีอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ การศึกษาการดูดซับเมธิลีนบลู (MB) จากสารละลายที่เป็นน้ำโดยใช้แกลบ (RHAC) การกำจัดสียอมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 82.75 - 93.20 โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นลดลงจาก 100 ลดลงเหลือ 60  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  ระยะเวลาของการดูดซับพบว่าอยู่ที่ 100 นาที การกำจัดสูงขึ้นเมื่อดูดซับสารที่สูงขึ้นและการกำจัดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 86.75 - 99.83 โดยใช้ตัวดูดซับ 0.40 - 0.60 กรัม การกำจัดเมธิลีนบลูเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 93.20 - 99.16 โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 50 องศาเซลเซียส ที่ 60 มิลลิกรัมความเข้มข้นของ L-1

Marek Wojnicki และคณะ (2018) ได้ศึกษาการฟื้นฟูไอออนของคลอไรด์จากแพลเลเดียม (II) จากสารละลายในน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ การศึกษาสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์ พบว่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวและความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์ที่นำมาศึกษาได้ทดสอบโครงสร้าง 2 วิธี วิธีแรกใช้การวิเคราะห์พื้นที่ผิวแบบ BET ในวิธีนี้จะกำหนดค่าไอโซเทอมของการดูดซับ จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวที่สังเกตได้จากโมเลกุลไนโตรเจนเท่ากับ 0.162 นาโนเมตร การคำนวณพื้นที่ผิวเฉพาะมีค่าเท่ากับ  $1431 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  ส่วนความเป็นรูพรุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 1-10  $\mu\text{m}$  แต่พบการกระจายของรูพรุนขนาดกว้างถึง 4 นาโนเมตร ค่าความพรุนของคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 31 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีสมบัติการดูดซับได้ โดยโครงสร้างของรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ

Shaheen A. Al-Muhtaseb (2010) ได้ศึกษาการดูดซับของไนโตรเจน มีเทน และอีเทน ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นการปรับปรุงสภาพและให้เกิดรูพรุนของถ่านกัมมันต์มากขึ้น โดยใช้เครื่องมือในการวัดค่าไอโซโทปในช่วงความดันที่อุณหภูมิ 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากไนโตรเจน มีเทน และอีเทนมีความสามารถในการเพิ่มรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ และจะใช้งานได้ดีในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ

Tănase Dobre, Oana C. Părvulescu และคณะ (2014) ได้ศึกษาการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ โดยการจำลองการดูดซับไอระเหย VOC (สารอินทรีย์ระเหยง่าย) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการดูดซับด้วยวิธีการดูดกลืนแสง ตั้งแต่เริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวของถ่านกัมมันต์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับรวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการดูดซับ

Ibrahim I. El-Sharkawy และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) ในการทดลอง โดยดำเนินการที่อุณหภูมิการดูดซับตั้งแต่ 20 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส และใช้ความดันที่ 10 บาร์ โดยจะวัดความสามารถในการดูดซับที่ 2 สภาวะ จะมีความสัมพันธ์ในรูปแบบของไอโซเทอม ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทดลองลงเป็นอย่างมาก หลังจากทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดสามารถดูดซับก๊าซธรรมชาติได้ประมาณ 77 กรัมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดันเท่ากับ 10 บาร์



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1.1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- 1.1.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- 1.1.3 สารละลายไอโอดีน
- 1.1.4 สารละลายโซเดียมเรโอซัลเฟต
- 1.1.5 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดน์
- 1.1.6 สารโทลูอิน



ภาพที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

##### 1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1.2.1 การทดสอบการปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกลาปาล์ม
  - 1) เครื่องชั่งน้ำหนัก
  - 2) โถตุความชื้น
  - 3) เครื่องกรองสุญญากาศ
  - 4) ปีกเกอร์
  - 5) ขวดวัดปริมาตร
  - 6) กระบอกตวง
  - 7) ปีเปต
  - 8) แท่งแก้วคนสาร
  - 9) กระดาษกรอง



10) ตู้อบ

### 1.2.2 การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน

- 1) ขวดแก้ว
- 2) สายยาง
- 3) เครื่องปั๊มอากาศ
- 4) โรตاميเตอร์
- 5) เครื่องวัด VOC meter

## 2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

### 2.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.1.1 นำกะลาปาล์มมาเผาในสภาพไร้ออกซิเจน เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และกะลามะพร้าว มาเผาในสภาพไร้ออกซิเจน เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ภายในถังขนาด 200 ลิตร



ภาพที่ 3.2 การเผาถ่านภายในถังขนาด 200 ลิตร

2.1.2 จะได้ถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มดังภาพที่ 3.3 ทำการบดและร่อนให้ได้ขนาด 1-3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.3 ถ่านกะลามะพร้าว (ซ้าย) และถ่านกะลาปาล์ม (ขวา) หลังจากเผาด้วยถังขนาด 200 ลิตร

2.1.3 นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนเย็น



ภาพที่ 3.4 ตู้อบถ่าน (ซ้าย) และโถดูดความชื้น (ขวา)

2.1.4 ชั่งถ่านกะลามะพร้าว 10 กรัม จำนวน 9 ตัวอย่าง และชั่งถ่านกะลาปาล์ม 10 กรัม จำนวน 9 ตัวอย่าง บนเครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.5 บันทึกน้ำหนักถ่าน



ภาพที่ 3.5 การชั่งน้ำหนักถ่านบนเครื่องชั่งตศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.1.5 นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มมาปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5 N โดยใช้สัดส่วนดังตารางที่ 3.1 และให้ความร้อน 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนปริมาณถ่านต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ชนิดถ่าน	ปริมาณ [ถ่าน(กรัม): KOH(ml)]	สัดส่วน (ถ่าน:KOH)	หน่วยการทดลอง
กะลามะพร้าว	10:10	1:1	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
	10:30	1:3	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
	10:50	1:5	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
กะลาปาล์ม	10:10	1:1	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
	10:30	1:3	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
	10:50	1:5	ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3.6 การปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม

2.1.6 หลังจากปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ปรับค่า pH ด้วยสารละลายกรดไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) และล้างออกด้วยน้ำกลั่น จนมีค่า pH เป็นกลาง เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3.7 การล้างสาร KOH เพื่อให้ pH เป็นกลาง

2.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

2.2.1 นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนเย็น



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

2.2.2 วิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 750 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะพื้นที่ผิว ก่อน - หลัง ปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



ภาพที่ 3.9 ห้องปฏิบัติการ Do SEM กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา : <https://dosem.wordpress.com/sem/>

### 2.3 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

2.3.1 นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนเย็น

2.3.2 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์โดยการชั่งและบันทึกน้ำหนักถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักถ่านบนเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.3.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร แก้วขวดเบา ๆ เพื่อให้ผงถ่านชุ่มด้วยสารละลายจากนั้นต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์

2.3.4 เติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 100 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.11 การเติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.1 N

2.3.5 ใช้ปิเปตดูดน้ำในปิเกตอร์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ไทเทรตกับสารละลายไรโอซัลเฟตจนกระทั่งสีเหลืองจางจนเกือบขาว เติมน้ำแบ่ง 1 หยด (จะได้สีน้ำเงินเข้ม) และไทเทรตต่อไปจนกระทั่งใส ไม่มีสี

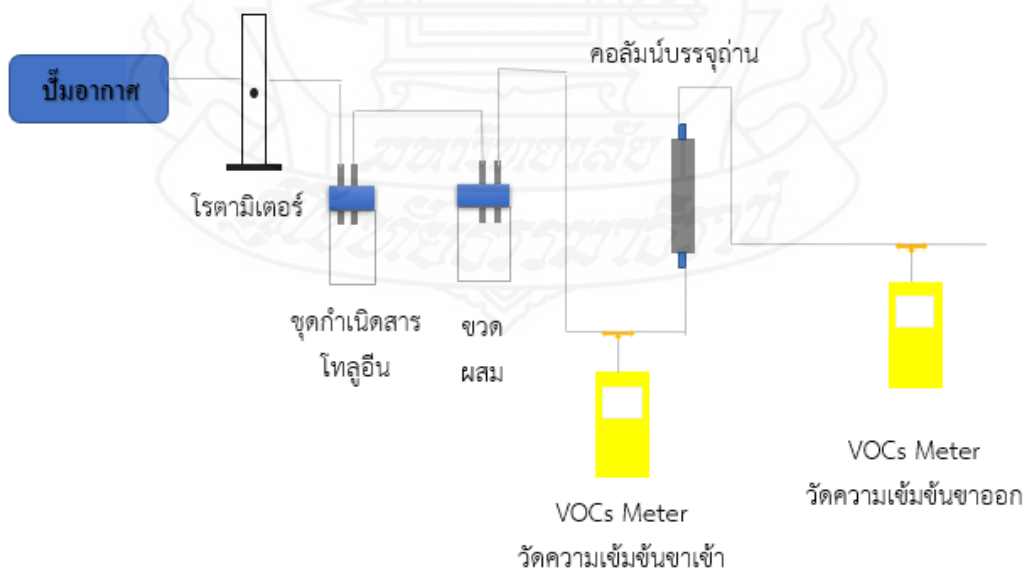


ภาพที่ 3.12 การไทเทรตน้ำไอโอดีนจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มกับสารละลายไฮโอซัลเฟต

2.3.6 บันทึกปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายไฮโอซัลเฟตที่ใช้ไป และนำผลมาคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์

### 3. การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

#### 3.1 จัดเตรียมชุดทดลองในการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ชุดทดลองการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน

3.2 เตรียมวัสดุดูดซับจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม (ในสัดส่วนที่ดีที่สุดโดยคัดเลือกจากการวิจัยในข้อ 2.2 และ 2.3) และถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากถ่านหิน ยี่ห้อ KOLKO ที่มีค่าไอโอดีนนมเบอร์ 900 มิลลิกรัมต่อกรัม



ภาพที่ 3.14 ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว



ภาพที่ 3.15 ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม





ภาพที่ 3.16 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากถ่านหิน

**3.3 เตรียมสารโทลูอินความเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 10 มิลลิตรใส่ลงในชุดกำเนิดสารโทลูอิน** นำวัสดุดูดซับจากถ่านกัมมันต์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์กะลาปาล์ม และวัสดุดูดซับทางการค้า ปริมาณ 10 กรัมใส่ในคอลัมน์บรรจุถ่าน



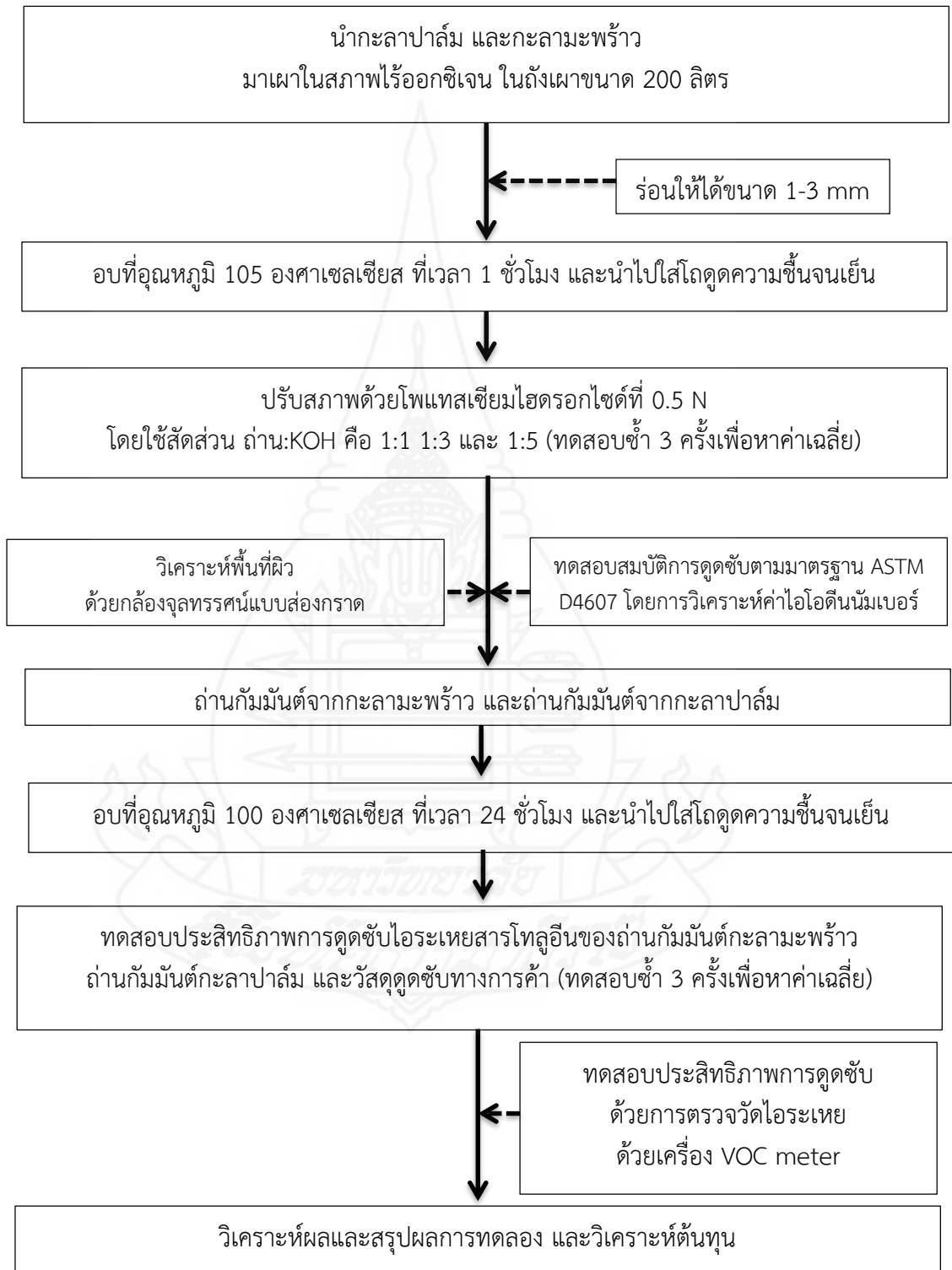
ภาพที่ 3.17 การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน

**3.4 บันทึกผลความเข้มข้นขาเข้าและขาออก** จากการวัดด้วยเครื่อง VOCs Meter ในหน่วย ppm สรุปผลการทดลอง

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

แสดงผลด้วยค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย (ทั้งนี้จากการทดลองสามารถคำนวณและบันทึกผลได้เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อความเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ผู้วิจัยจึงใส่ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) แล้วจึง

สรุปผลการทดลอง โดยใช้ตาราง และภาพ ประกอบการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหย และต้นทุนของวัสดุดูดซับจากถ่านกัมมันต์ที่พัฒนาขึ้นกับวัสดุดูดซับทางการค้า



ภาพที่ 3.18 แผนภาพการทดลอง

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลีอินจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้วัสดุจากธรรมชาติ และเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยใช้วัตถุดิบคือ กะลามะพร้าว และกะลาปาล์ม ที่นำมาเผาในถังขนาด 200 ลิตร และนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น รวมถึงเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

#### ตอนที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มพบว่าสมบัติของถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับโดยการศึกษาในครั้งนี้เป็นการพัฒนาถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มหลังจากผ่านการปรับสภาพตามกรรมวิธีทางเคมี ซึ่งจะทำการศึกษาจากลักษณะพื้นผิว และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่เป็นสมบัติเบื้องต้นของถ่านกัมมันต์ โดยจะให้เป็นไปตามมาตรฐานถ่านกัมมันต์ของกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ โดยผลการศึกษสามารถแบ่งเป็น 2 หัวข้อหลักดังนี้

##### 1.1 การผลิตถ่านกัมมันต์

ศึกษากระบวนการเผากะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม อย่างง่ายภายในถังขนาด 200 ลิตร โดยพบว่า

กะลามะพร้าวจากการเผาภายในถังขนาด 200 ลิตร ซึ่งเมื่อเริ่มเผาจะสามารถสังเกตเห็นควันดำหรือควันสีขาวขุ่นที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก หลังจากนั้นควันที่เกิดขึ้นจะค่อยๆจางลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ากะลามะพร้าวแปรสภาพกลายเป็นถ่าน ซึ่งใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่านนาน 2 ชั่วโมง

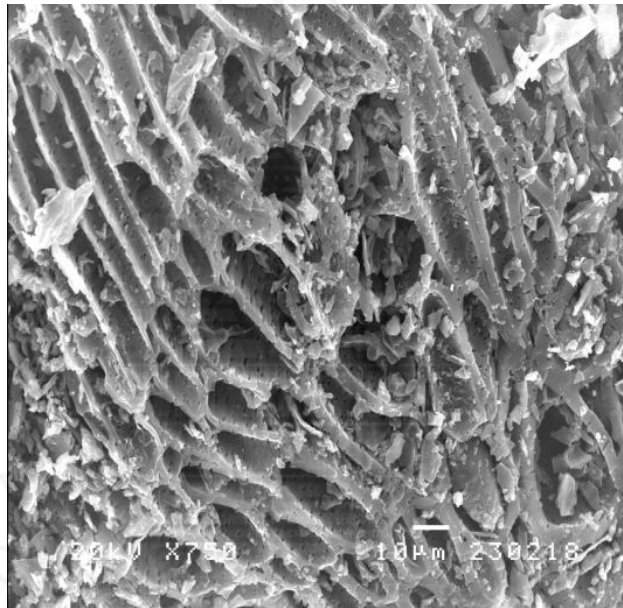
กะลาปาล์มจากการเผาภายในถังขนาด 200 ลิตร ซึ่งเมื่อเริ่มเผาจะสามารถสังเกตเห็นควันดำหรือควันสีขาวขุ่นที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก หลังจากนั้นควันที่เกิดขึ้นจะค่อยๆจางลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ากะลาปาล์มแปรสภาพกลายเป็นถ่าน ซึ่งใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่านนาน 4 ชั่วโมง

## 1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเป็นสีดำ ผิวขรุขระ และมีน้ำหนักเบา และเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า พบว่า

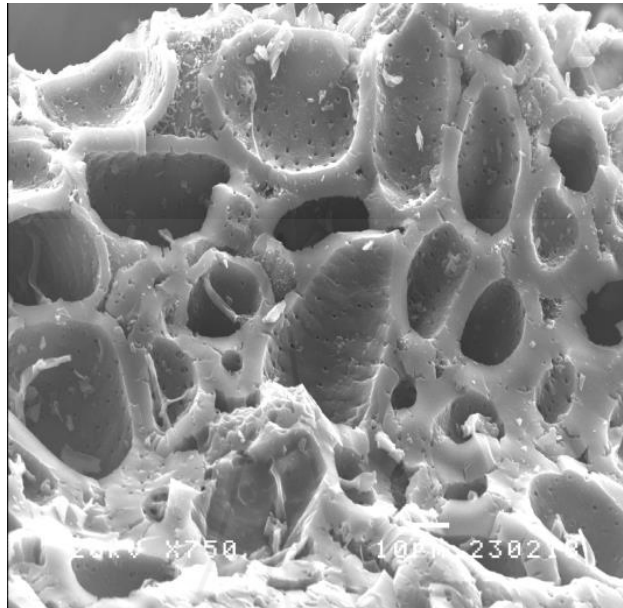
รูพรุนของถ่านกะลามะพร้าวมีลักษณะลึกลงไปในเนื้อถ่านจำนวนมาก และมีความเป็นระเบียบและสม่ำเสมอ

รูพรุนจากกะลาปาล์มมีลักษณะลึกลงไปในเนื้อถ่านเปิดกว้าง แต่มีความไม่สม่ำเสมอ และบางส่วนเป็นพื้นผิวแบบเรียบ ซึ่งรูพรุนจะเกิดเฉพาะบางจุดของผิวถ่านเท่านั้น แต่มีจำนวนน้อยกว่าถ่านกะลามะพร้าว และขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.1 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกะลามะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วย KOH ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

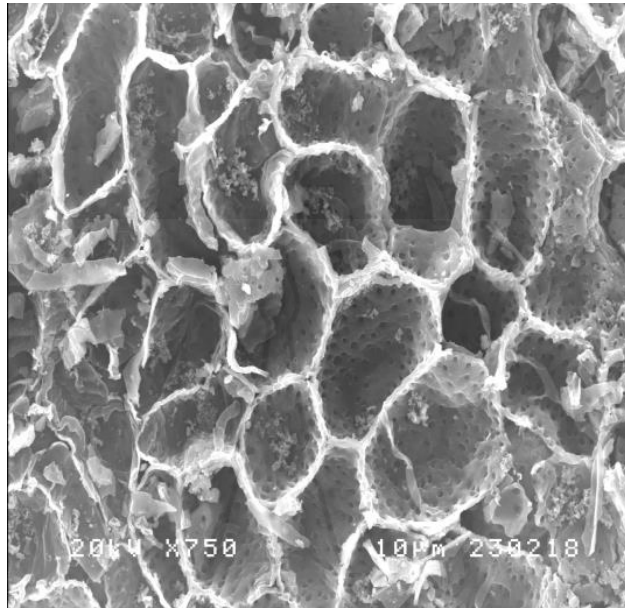
ถ่านกะลามะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ภาพที่ 4.1) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ผิวของถ่านกะลามะพร้าว และเห็นเป็นโพรงลึกลงไปในโครงสร้างถ่านได้บ้าง แต่ผิวหน้าของรูบางส่วนถูกปิดคลุม



ภาพที่ 4.2 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 (ภาพที่ 4.2) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เห็นเป็นโพรงลึกลงไป ในโครงสร้างถ่านกัมมันต์ แต่บางส่วนของพื้นผิวหน้าถูกเปิดมากกว่าถ่าน

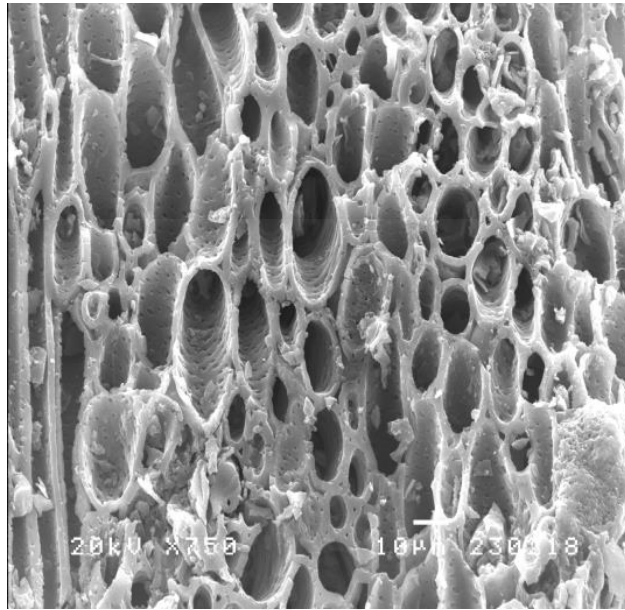




ภาพที่ 4.3 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 (ภาพที่ 4.3) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ถูกเปิดมากกว่าถ่าน และเห็นเป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้างและภายในมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก

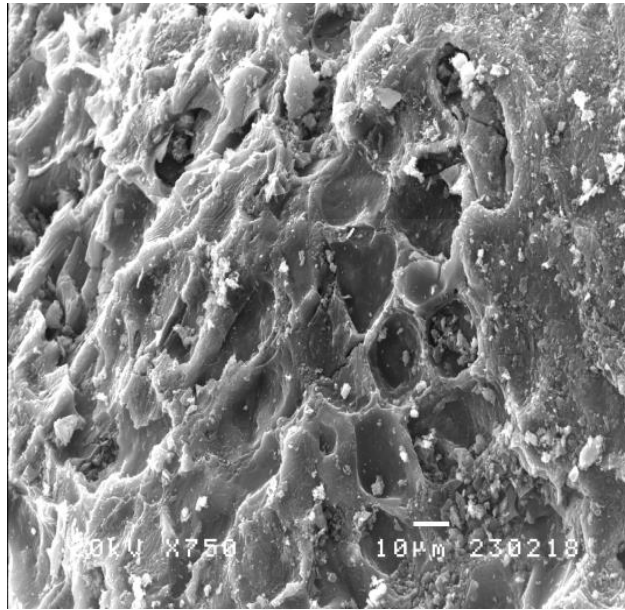




ภาพที่ 4.4 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

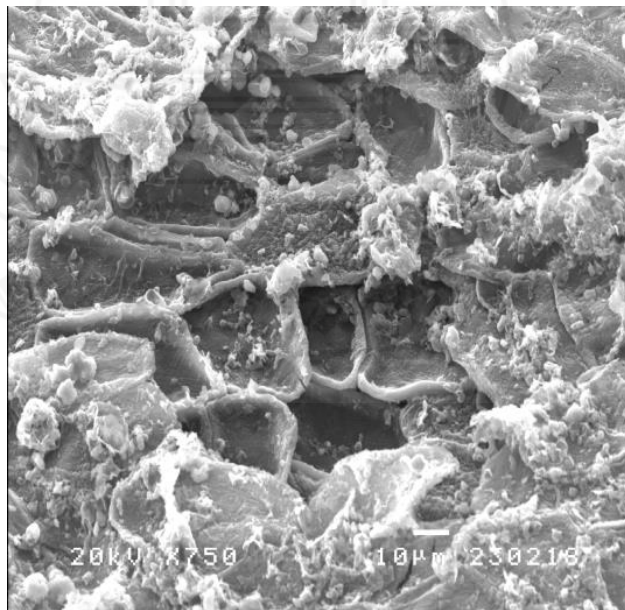
ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 (ภาพที่ 4.4) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ถูกเปิดมากกว่าถ่าน และเห็นโพรงลึกลงไปโครงสร้าง และภายในโพรงมีรูพรุนเกิดขึ้น แต่มีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวในอัตราส่วน 1:3





ภาพที่ 4.5 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกะลาปาล์ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

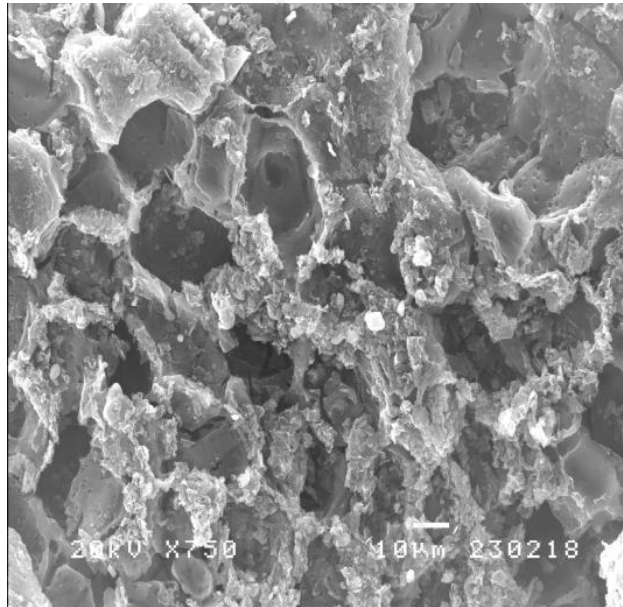
ถ่านกะลาปาล์ม (ภาพที่ 4.5) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นเป็นโครงกลวงไปในโครงสร้างถ่านได้บ้าง แต่มีพื้นผิวส่วนใหญ่ของถ่านถูกปิดคลุมอยู่



ภาพที่ 4.6 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

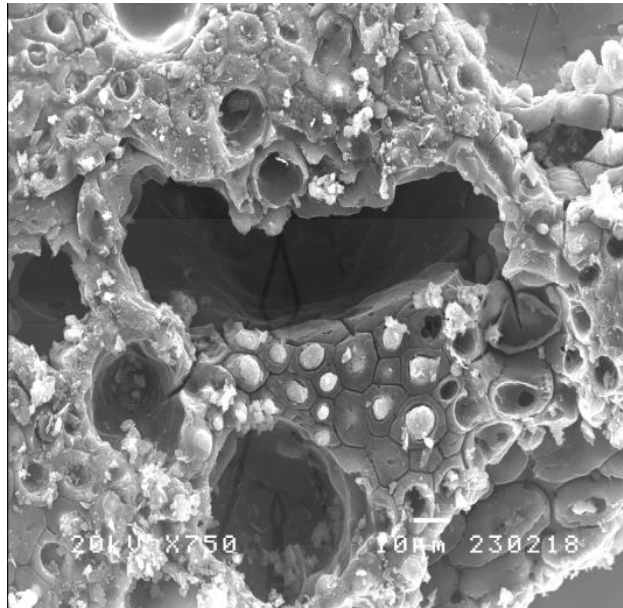


ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:1 (ภาพที่ 4.6) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นเป็นโพรงลึกลงไปในโครงสร้างถ่านกัมมันต์มากขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านกะลาปาล์ม แต่รูพรุนที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอและรูพรุนยังถูกปิดคลุมอยู่บางส่วนเหมือนกัน



ภาพที่ 4.7 ลักษณะพื้นที่ผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 (ภาพที่ 4.7) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นเป็นโพรงลึกลงไปในโครงสร้างถ่านกัมมันต์ได้ลึกกว่า และมีพื้นผิวบางส่วนถูกปิดคลุมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัตราส่วน 1:1 และ ถ่าน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวภายนอกของกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดขนาดกำลังขยาย 750 เท่า

ถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลาปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 (ภาพที่ 4.8) จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถสังเกตเห็นเป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้างถ่านกัมมันต์ได้ลึกมากกว่า และมีพื้นผิวบางส่วนถูกปิดคลุมไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัตราส่วน 1:3 1:1 และ ถ่าน

อย่างไรก็ตามพื้นผิวไม่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการดูดซับได้ทั้งหมด เพราะการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับ การปรับสภาพและชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ด้วย ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี จึงควรศึกษาสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น การศึกษาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ การศึกษา ค่าโมลาสนัมเบอร์ เป็นต้น เพื่อประกอบในการศึกษาต่อไปด้วย

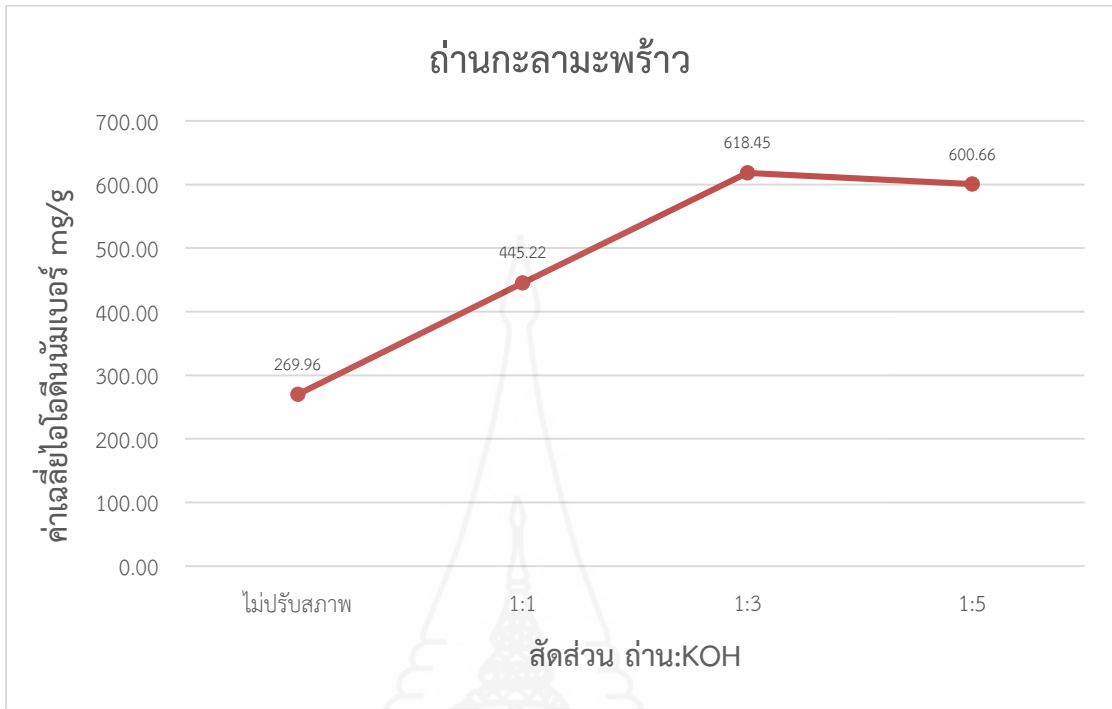
### 1.3 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 เพื่อให้สามารถแน่ใจได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตออกมามีมาตรฐานและมีคุณภาพ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มที่ยังไม่ได้ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มี ประสิทธิภาพในการดูดซับที่น้อยมาก และเมื่อถูกนำไปปรับสภาพในอัตราส่วน 1:1 1:3 และ 1:5 พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในอัตราส่วน 1:5 ค่าการดูดซับจะลดลง โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งสามารถดูผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าไอโอดีนนมเบอร์

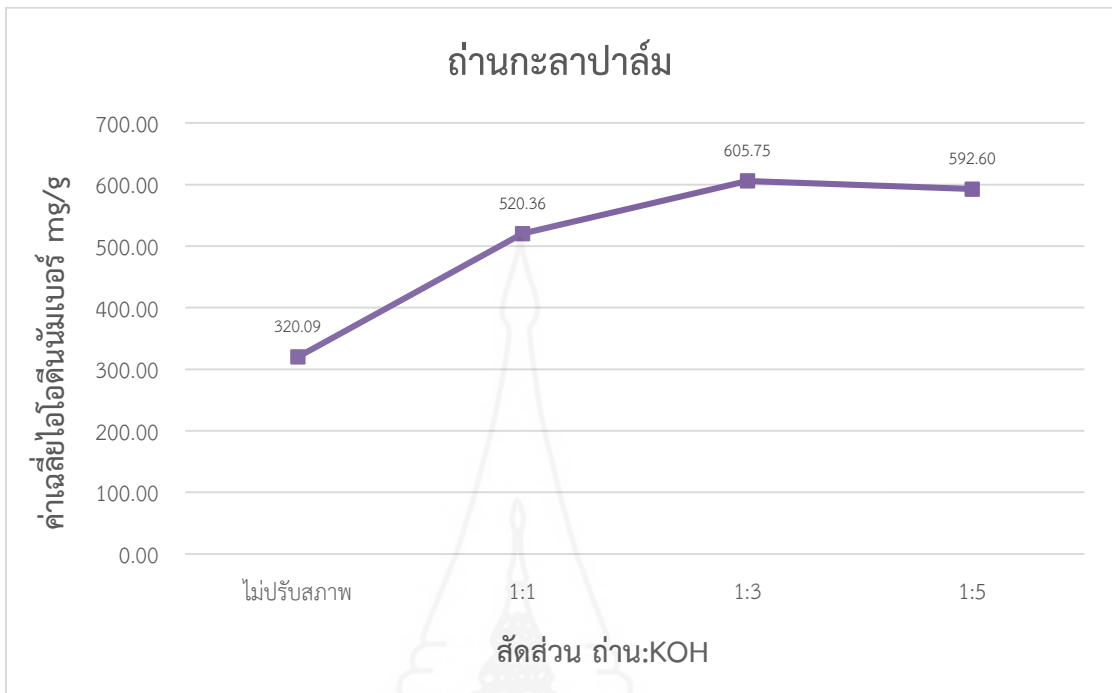
ตัวอย่าง (ถ่าน:KOH)	Iodine Number	
	ถ่านกะลาปาล์ม	ถ่านกะลามะพร้าว
ไม่ปรับสภาพ (1)	316.36	280.32
ไม่ปรับสภาพ (2)	323.57	261.01
ไม่ปรับสภาพ (3)	320.34	268.57
1:1 (1)	540.66	427.37
1:1 (2)	529.81	474.21
1:1 (3)	490.61	434.09
1:3 (1)	613.10	620.11
1:3 (2)	603.69	629.37
1:3 (3)	600.47	605.87
1:5 (1)	582.46	632.50
1:5 (2)	587.55	602.47
1:5 (3)	607.78	567.00

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวแล้วกะลาปาล์ม ซึ่งทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยมีผลการทดลองในรูปแบบกราฟดังภาพที่ 4.9 และ 4.10



ภาพที่ 4.9 กราฟผลค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N และอุณหภูมิในการปรับสภาพ 800 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกะลามะพร้าวก่อนปรับสภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 269.96 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าการดูดซับที่น้อยมาก แต่เมื่อนำถ่านไปปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:1 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 445.22 มิลลิกรัมต่อกรัม สัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:3 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 618.45 มิลลิกรัมต่อกรัม สัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:5 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 600.66 มิลลิกรัมต่อกรัม



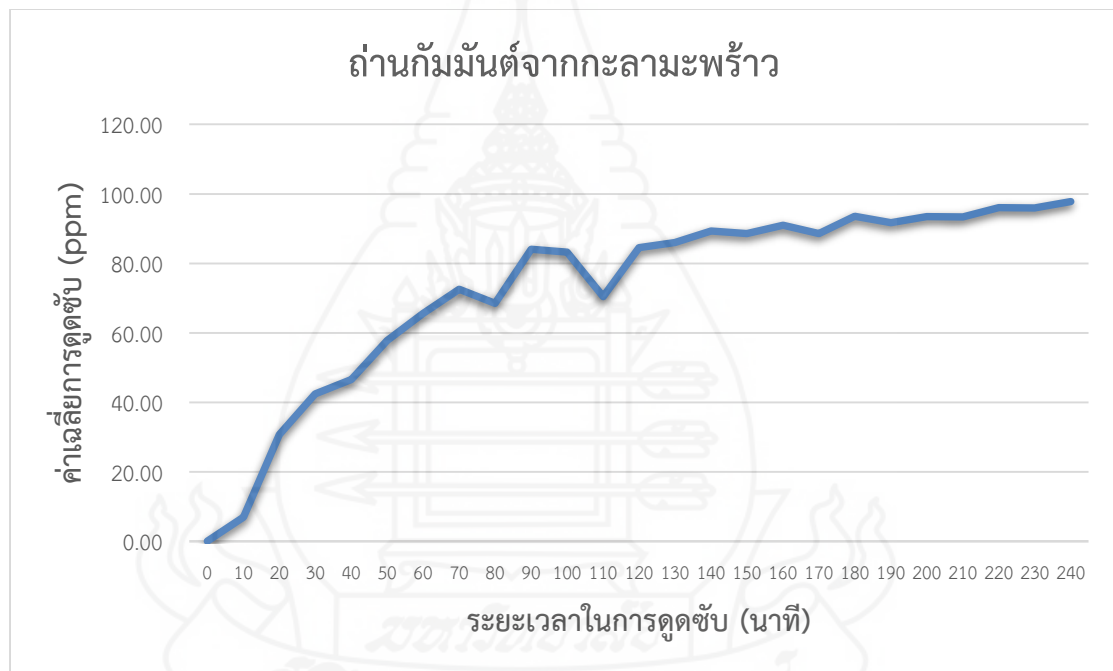
ภาพที่ 4.10 กราฟผลค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M และอุณหภูมิในการปรับสภาพ 800 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าคุณค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกะลามะปาล์มก่อนปรับสภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 320.09 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าการดูดซับที่น้อยมาก แต่เมื่อนำถ่านไปปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:1 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 520.36 มิลลิกรัมต่อกรัม สัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:3 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 605.75 มิลลิกรัมต่อกรัม และสัดส่วนถ่าน: KOH เท่ากับ 1:5 มีค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 592.60 มิลลิกรัมต่อกรัม

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับจากค่าไอโอดีนนมเบอร์จากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แสดงผลในกราฟค่าไอโอดีนนมเบอร์ (รูปที่ 4.9 และ 4.10) พบว่าผลการทดลองค่าไอโอดีนนมเบอร์แต่ละสัดส่วนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในสัดส่วน 1:5 ค่าเฉลี่ยการดูดซับจะลดลง ดังนั้นสัดส่วนที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดคือ 1:3 ซึ่งมีค่าไอโอดีนนมเบอร์ที่มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกะลามะพร้าวเท่ากับ 618.45 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าเฉลี่ยไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกะลาปาล์มเท่ากับ 605.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าไอโอดีนนมเบอร์ที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ที่ 600-1000 มิลลิกรัมต่อกรัม

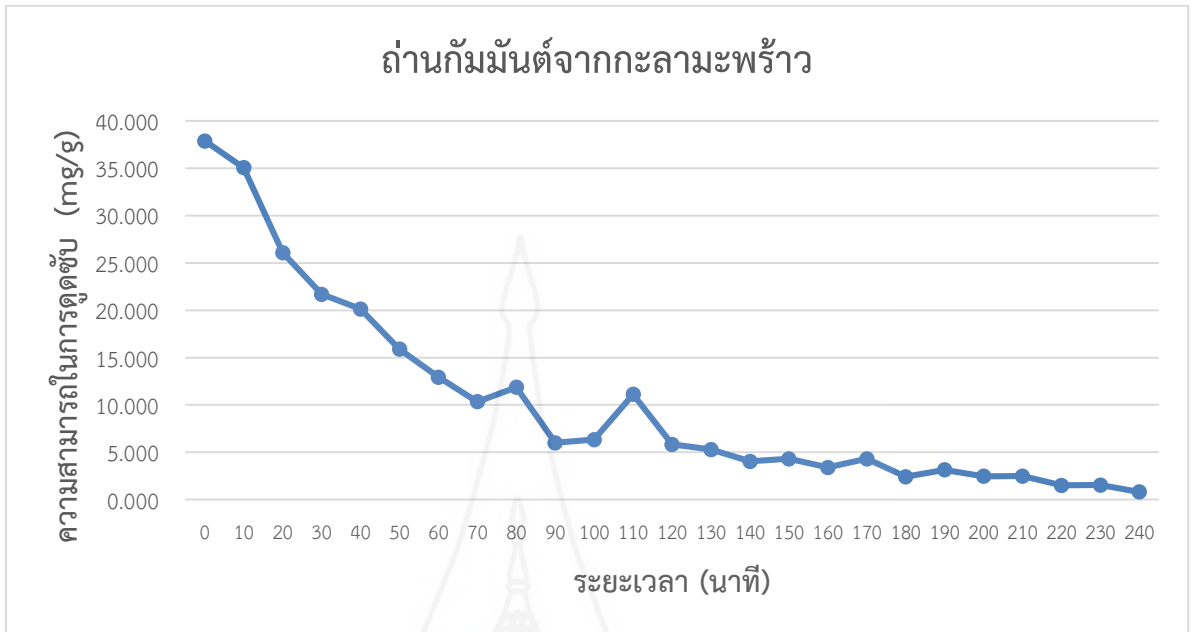
## ตอนที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

การศึกษาการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยการนำถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดจากการศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์ และการทดสอบค่าไอโอดีนัมเบอร์ในตอนแรก พบว่าถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 1:3 มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินต่อไป ดังนั้นผลการทดลองในหัวข้อนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน



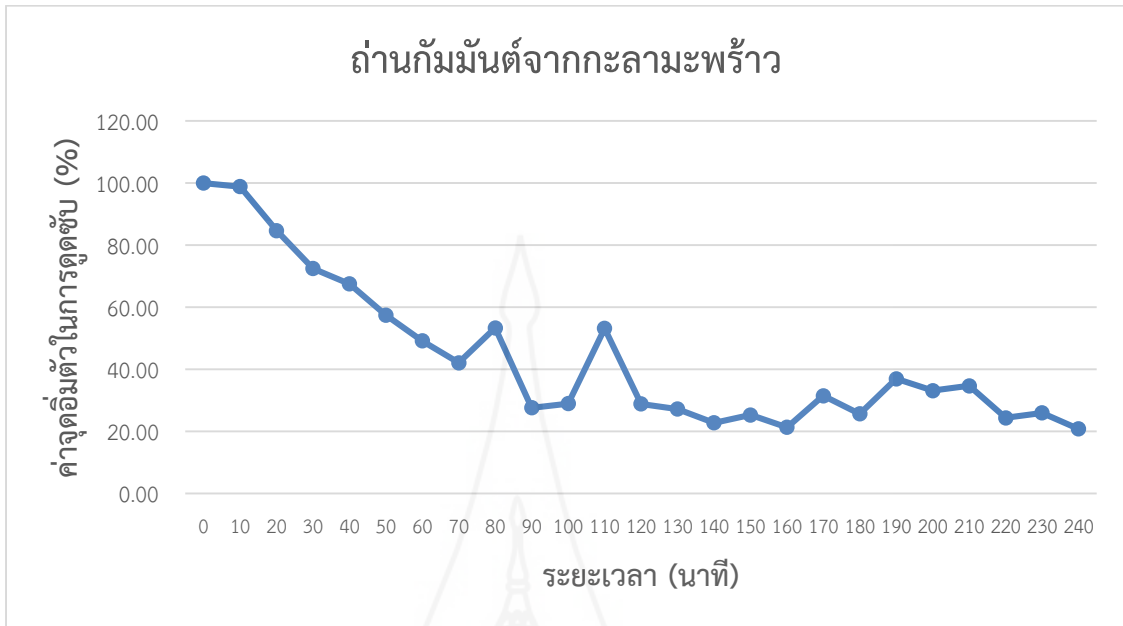
ภาพที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากกะลามะพร้าว

จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีอัตราค่าเฉลี่ยการดูดซับที่ลดลงหลังจากผ่านไป 10 นาที แต่ยังสามารถดูดซับได้จนถึงเวลา 240 นาที โดยแนวโน้มค่าเฉลี่ยการดูดซับสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในระหว่างการวัดค่าไอระเหยสารโทลูอินทุก ๆ 10 นาที ซึ่งค่าการดูดซับสูงสุด 83.96 มิลลิกรัมต่อกรัม



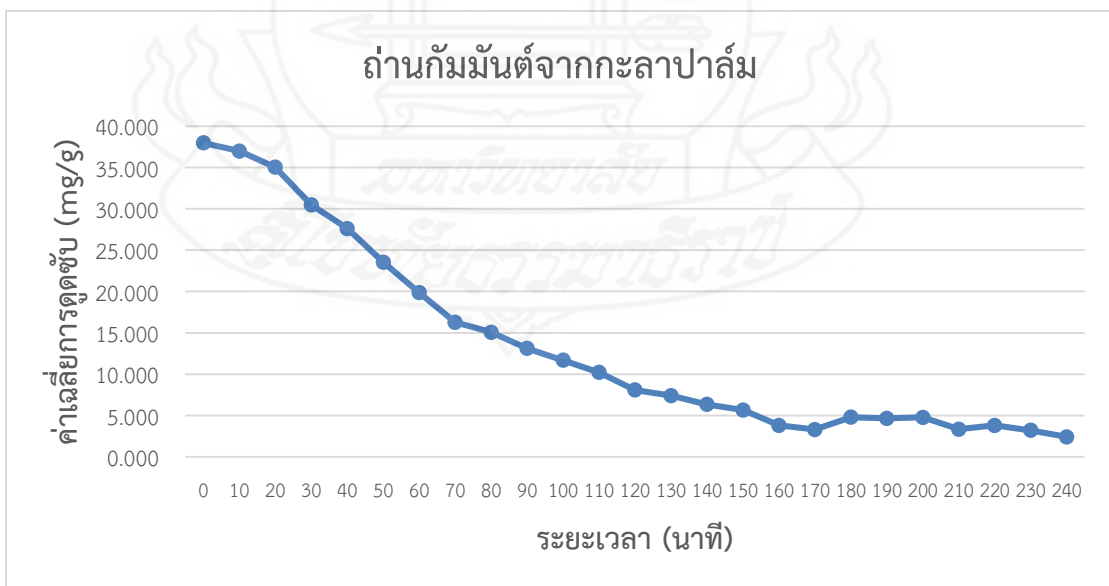
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 10 กรัม สารโทลูอินปริมาณ 100 ppm พบว่าค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ( $C/C_0$ ) ในช่วงแรกความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 37.89 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยระยะเวลารวมทั้งหมดได้ 10 นาที หลังจากนั้นความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่เวลา 80 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 11.88 มิลลิกรัมต่อกรัม



ภาพที่ 4.13 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

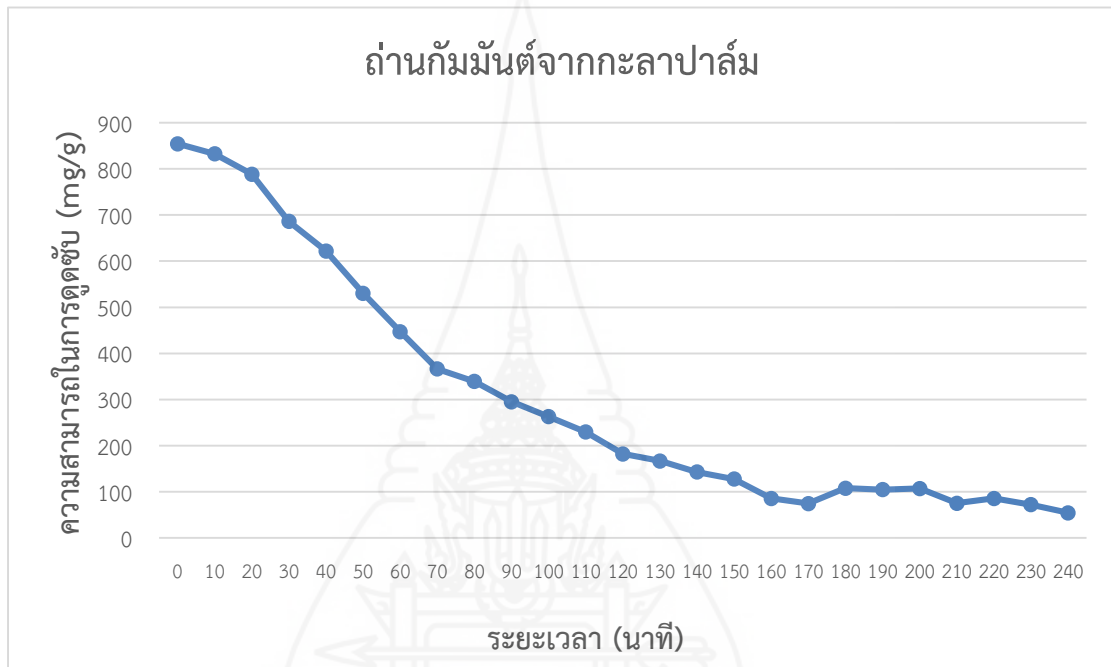
จากภาพ 4.13 แสดงถึงค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ซึ่งค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 25.69 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโพลูอินทรีย์ร้อยละ 20 ของปริมาณความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินทรีย์เริ่มต้นที่ปล่อยผ่านชุดจำลองการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินทรีย์



ภาพที่ 4.14 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินทรีย์จากกะลาปาล์ม

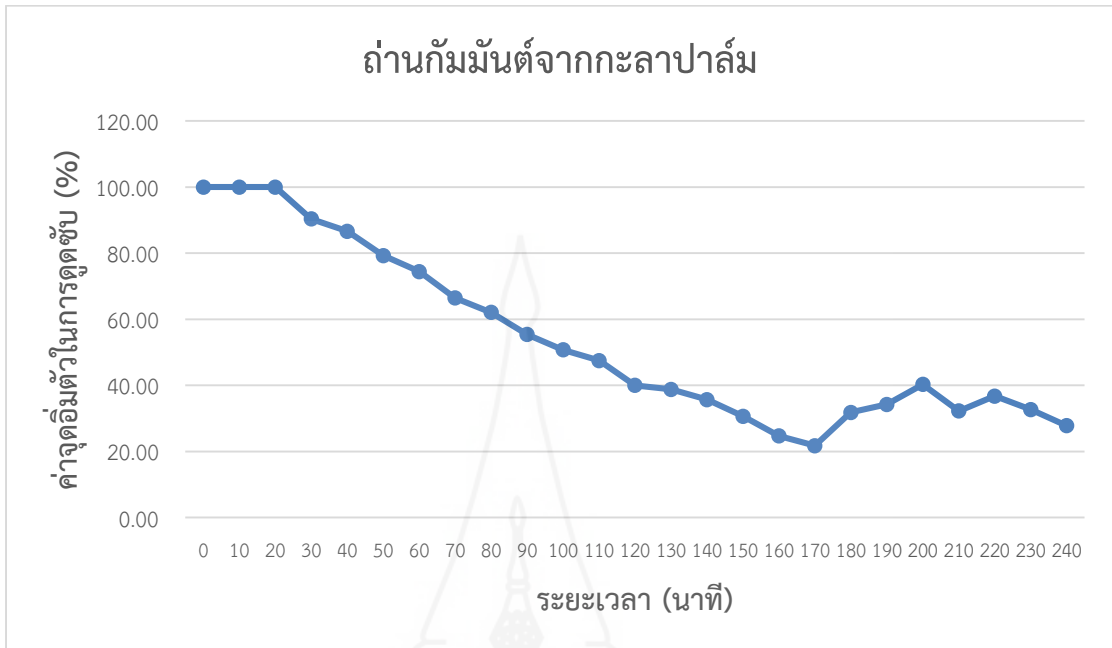


จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มมีอัตราค่าเฉลี่ยการดูดซับที่ลดลงหลังจากผ่านไป 10 นาที แต่ยังสามารถดูดซับได้จนถึง 240 นาที โดยแนวโน้มการดูดซับเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในระหว่างการวัดค่าไอระเหยสารโทลูอินทุก 10 นาที ซึ่งค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 43.61 มิลลิกรัมต่อกรัม



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 10 กรัม สารโทลูอินปริมาณ 100 ppm พบว่าค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ( $C/C_0$ ) ในช่วงแรกความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 37.96 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยระยะเวลารวมทั้งหมดได้ 10 นาที หลังจากนั้นความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่เวลา 110 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 10.20 มิลลิกรัมต่อกรัม



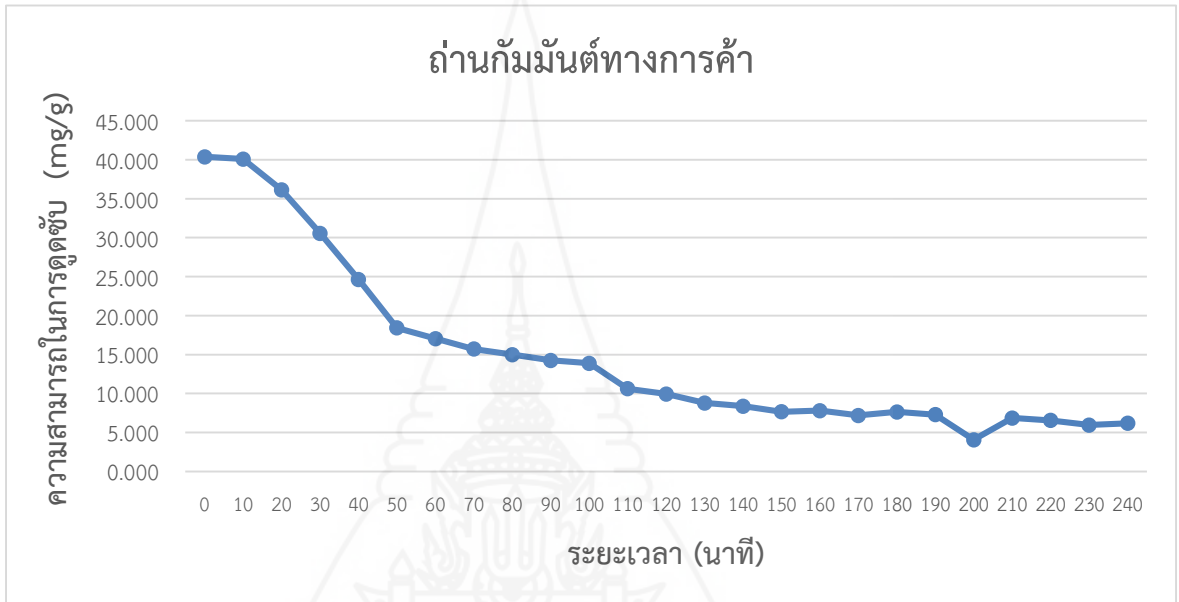
ภาพที่ 4.16 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม

จากภาพ 4.16 แสดงถึงค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ซึ่งค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 33.94 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโทลูอินได้ร้อยละ 30 ของปริมาณความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินเริ่มต้นที่ปล่อยผ่านชุดจำลองการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน



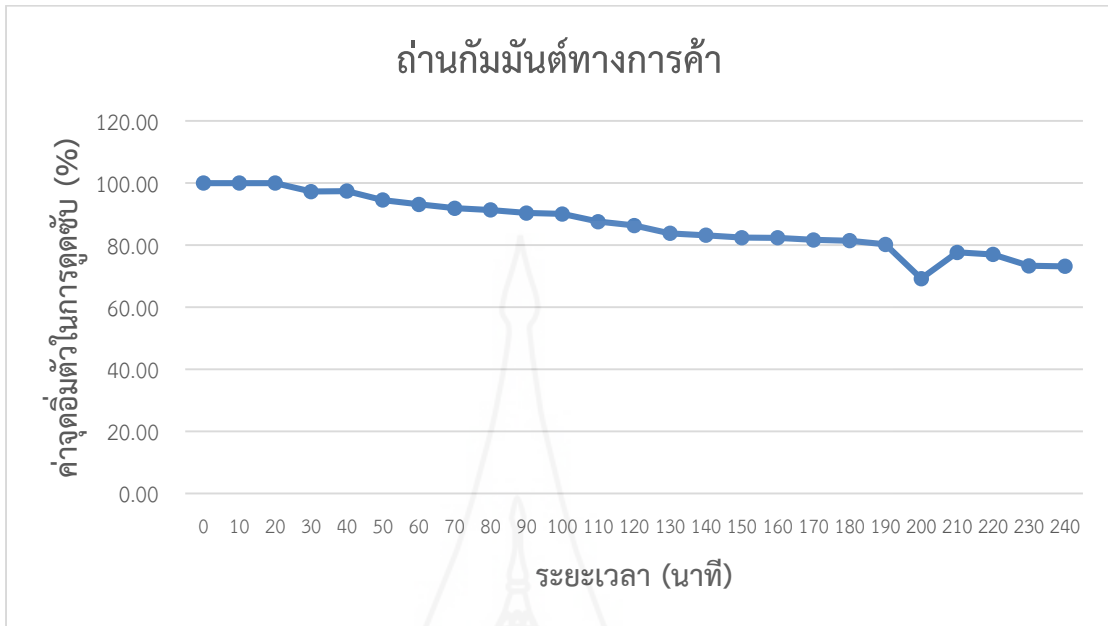
ภาพที่ 4.17 กราฟค่าเฉลี่ยการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีอัตราการดูดซับที่ลดลงหลังจากผ่านไป 10 นาที แต่ยังสามารถดูดซับได้จนถึง 240 นาที โดยแนวโน้มการดูดซับสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในระหว่างการวัดค่าไอระเหยสารโทลูอินทุก ๆ 10 นาที ซึ่งค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 221.83 มิลลิกรัมต่อกรัม



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 10 กรัม สารโทลูอินปริมาณ 100 ppm พบว่าค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ( $C/C_0$ ) ในช่วงแรกความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 40.37 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยระยะเวลาทั้งหมดได้ 20 นาที หลังจากนั้นความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาออกต่อความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินขาเข้า ความสามารถในการดูดซับจะคงที่และสามารถดูดซับได้มากกว่า 4 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.19 กราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากภาพ 4.19 แสดงถึงค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 37.11 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโทลูอินได้ร้อยละ 90 ของปริมาณความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอินเริ่มต้นที่ปล่อยผ่านชุดจำลองการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินโดยใช้เครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยวัดค่าทุก ๆ 10 นาที โดยใช้วัสดุดูดซับจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านกะลาปาล์มและถ่านกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับได้นานเฉลี่ยสูงสุดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงสุด 83.96 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 25.69 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโทลูอินร้อยละ 20 ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงสุด 43.61 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 33.94 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโทลูอินได้ร้อยละ 30 ส่วนถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีประสิทธิภาพสามารถดูดซับเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมง โดยมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงสุด 221.83 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับสูงสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 37.11 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือสามารถดักจับไอระเหยสารโทลูอินได้ร้อยละ 90

### ตอนที่ 3 วิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

การวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น พิจารณาจากค่าใช้จ่ายโดยการประเมินทั้งวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะซื้อถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม และนำมาเผาในสภาวะไร้ออกซิเจน บดให้ได้ขนาด 1-3 มิลลิเมตร นำตัวอย่างไปทำการปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนถ่าน:KOH 1:3 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดและนำมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโกลูอิน โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโกลูอินจากถ่านกะลามะพร้าวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 และถ่านกะลาปาล์ม สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 การคำนวณต้นทุนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลามะพร้าว

รายการ	จำนวน	ราคา	ราคา (บาท)
ถ่านกะลามะพร้าว	1 กิโลกรัม	9	9
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.07 กิโลกรัม	30	0.002482
กรดไฮโดรคลอริก	0.5 ลิตร	111.11	55.56
ราคาค่าแรงขั้นต่ำ			300
<b>ราคารวมทั้งหมด</b>			<b>364.23 บาท</b>

ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว สามารถสรุปค่าใช้จ่าย โดยคำนวณค่าใช้จ่ายถ่านกะลามะพร้าวราคากิโลกรัมละ 9 บาท สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ราคากิโลกรัมละ 30 บาท นำมาใช้งานจริง 0.07 กิโลกรัม ราคา 0.002482 บาท กรดไฮโดรคลอริกราคากิโลกรัมละ 111.11 บาท นำมาใช้งานจริง 0.5 มิลลิลิตร ราคา 55.56 บาท ดังนั้นการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่าย 364.56 บาท

ตารางที่ 4.3 การคำนวณต้นทุนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านกะลาปาล์ม

วัสดุ	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ถ่านกะลาปาล์ม	1 กิโลกรัม	3	3
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.07 กิโลกรัม	30	0.002482
กรดไฮโดรคลอริก	0.5 ลิตร	111.11	55.56
ราคาค่าแรงขั้นต่ำ			300
<b>ราคารวมทั้งหมด</b>			<b>358.23 บาท</b>

ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม สามารถสรุปค่าใช้จ่าย โดยคำนวณค่าใช้จ่ายถ่าน  
กะลาปาล์มราคา กิโลกรัมละ 3 บาท สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ราคา กิโลกรัมละ 30 บาท  
นำมาใช้งานจริง 0.07 กิโลกรัม ราคา 0.002482 บาท กรดไฮโดรคลอริกราคา กิโลกรัมละ 111.11  
บาท นำมาใช้งานจริง 0.5 กิโลกรัม ราคา 55.56 บาท ดังนั้นการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม  
คิดเป็นค่าใช้จ่าย 358.23 บาท



## บทที่ 5

### สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน โดยศึกษาจากวัสดุทั้งหมด 2 ชนิด คือ กะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

#### 1. สรุปการวิจัย

##### 1.1 สถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

เป็นการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม ซึ่งเป็นการศึกษาการปรับสภาพและความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านทั้ง 2 ชนิด โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

##### 1.1.1 การผลิตถ่าน

เมื่อนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มสดมาเผาในสภาพไร้ออกซิเจน ภายในถังขนาด 200 ลิตร ซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่า กะลาปาล์มใช้เวลาในการเผา 4 ชั่วโมง แต่กะลามะพร้าวใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มมาเผาเรียบร้อยแล้วให้นำถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มมาทำการบด และร่อนให้ได้ขนาด 1-3 mm และนำมาปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนถ่าน:KOH คือ 1:1 1:3 และ 1:5

##### 1.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

##### อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

หลังจากปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม และนำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มไปทดสอบพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ถูกเปิดมากกว่าถ่าน และเห็นเป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้างและภายในมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลาปาล์มสามารถสังเกตเห็นเป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้างถ่านกัมมันต์ได้ลึกกว่า และมีพื้นผิวบางส่วนถูกปิดคลุมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัตราส่วน 1:1 และ ถ่าน ตามลำดับ

##### 1.1.3 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

หลังจากปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม จากผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม ซึ่งถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวพบว่าสัดส่วนที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดคือ 1:3 ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่มากที่สุด โดยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกะลามะพร้าวเท่ากับ 618.45 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกะลาปาล์มเท่ากับ 605.75 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยหาก ส่วนลักษณะทางกายภาพของถ่านกะลามะพร้าว พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ถูกเปิดมากกว่าถ่าน และเห็นเป็นโพรงลึกลงไปโครงสร้างและภายในมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และลักษณะทาง

กายภาพของถ่านกะลาปาล์มสามารถสังเกตเห็นเป็นโพรงลึกลงไปใต้อาคารสร้างถ่านกัมมันต์ได้ลึกกว่า และมีพื้นผิวบางส่วนถูกปิดคลุมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์อัตราส่วน 1:1 และ ถ่าน ตามลำดับ จากการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ผู้วิจัยพิจารณาทั้งพื้นที่ผิวภายนอกและค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ ดังนั้นจึงเลือกถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาปาล์มในสัดส่วน 1:3 ในการนำไปพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับต่อไป

### 1.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

สารเคมีที่ใช้ในการดูดซับในครั้งนี้คือ สารโทลูอิน โดยการศึกษาใช้ชุดจำลองการดูดซับที่ได้พัฒนาขึ้น จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงสุด 83.96 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงสุด 43.61 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับเฉลี่ยได้สูงสุดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งถ่านทั้งสองชนิดหลังจากการปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถนำไปเป็นวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้ สามารถหาวัสดุได้ง่าย ราคาต้นทุนการผลิตต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าซึ่งผลิตจากถ่านหินพบจะได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินเฉลี่ยสูงสุด 221.83 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดซับได้มากกว่า 4 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นถ่านกัมมันต์ที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีการศึกษาต่อไปถึงกระบวนการขั้นตอนที่จะทำให้ดูดซับได้มากขึ้น และมีระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย

จากการทดลองการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินและนำผลมาวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟค่าจุดอิ่มตัวในการดูดซับพบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวสามารถดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้ 25.69 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มสามารถดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้ 33.94 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 30 และถ่านกัมมันต์ทางการค้าสามารถดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้ 37.11 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 90

### 1.3 วิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

การคำนวณค่าใช้จ่ายผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มมาเผา ดังนั้นจะคำนวณถึงต้นทุนที่ใช้จ่ายจริง ถ่านกะลามะพร้าวราคา กิโลกรัมละ 9 บาท สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ราคา กิโลกรัมละ 77 บาท นำมาใช้งานจริง 0.07 กิโลกรัม ราคา 9.67 บาท กรดไฮโดรคลอริกราคา กิโลกรัมละ 111.11 บาท นำมาใช้งานจริง 0.5 กิโลกรัม ราคา 55.56 บาท ดังนั้นการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัมรวมค่าแรง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 374.23 บาท ถ่านกะลาปาล์มราคา กิโลกรัมละ 3 บาท สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ราคา กิโลกรัมละ 77 บาท นำมาใช้งานจริง 0.07 กิโลกรัม ราคา 9.67 บาท กรดไฮโดรคลอริกราคา กิโลกรัมละ 111.11 บาท นำมาใช้งานจริง 0.5 กิโลกรัม ราคา 55.56 บาท ดังนั้นการผลิตถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัมรวมค่าแรง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 368.23 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ใกล้เคียงกัน ซึ่งราคาอยู่ประมาณ 76 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีราคาสูงกว่าถึง 3 เท่า



## 2. อภิปรายผล

### 2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม

#### 2.1.1 การผลิตถ่าน

เมื่อนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มสดมาเผาในสภาพไร้ออกซิเจน ภายในถังขนาด 200 ลิตร จะพบว่าถ่านกะลามะพร้าวจะใช้เวลาในการเผาน้อยกว่าถ่านกะลาปาล์มเนื่องจากวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้มีช่องว่างของออกซิเจนมากกว่า และการเผาไหม้จะเกิดในเวลาอันรวดเร็วกว่า รวมถึงกะลาปาล์มซึ่งมีน้ำมันมากกว่ากะลามะพร้าวทำให้เผาไหม้ช้ากว่า

#### 2.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

##### อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

จากผลการศึกษาพบว่าถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ถ่านที่มีการปรับสภาพในสัดส่วน 1:3 เนื่องจากหลังจากมีการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่าถ่านทั้ง 2 ชนิดมีพื้นที่ผิวที่กว้างและลึก รวมถึงจำนวนรูพรุนที่มีจำนวนมากว่า เนื่องจากในระหว่างการเผาจะเกิดการเปิดหน้าผิวของเปลือก ทั้งนี้รูพรุนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบแต่ละชนิดด้วย

#### 2.1.3 การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number)

หลังจากปรับสภาพถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์ม และนำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มไปทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ จากผลการศึกษาพบว่ามีการดูดซับที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับสภาพ แต่เมื่อเปรียบเทียบหลังจากการปรับสภาพในแต่ละสัดส่วนค่าใกล้เคียงกันมาก จึงพิจารณาเปรียบเทียบจากต้นทุนในการผลิตและวัสดุที่พัฒนาขึ้นจะต้องผ่านมาตรฐานของถ่านกัมมันต์จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

### 2.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินในสัดส่วนที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มคือ ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:3 พบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินเฉลี่ยสูงสุด 43.61 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินเฉลี่ยสูงสุด 83.96 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสารทั้งสองชนิดหลังจากการปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถนำไปเป็นวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลูอินได้ และเมื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากถ่านหิน จะได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินเฉลี่ยสูงสุด 221.83 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดซับได้มากกว่า 4 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับจะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีประสิทธิภาพสูงกว่ามากเมื่อเทียบกับระยะเวลาในการดูดซับ หากมีการนำไปใช้งานจริง ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มจะมีรอบการ

เปลี่ยนในการกรองมากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าประมาณ 4 เท่า ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาต่อไปถึงประสิทธิภาพในการดูดซับให้ได้ระยะเวลานานขึ้น และรอบการเปลี่ยนตัวกรองสั้นลง

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน พบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวความสามารถในการดูดซับ 25.69 มิลลิกรัมต่อกรัม ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 20 และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มความสามารถในการดูดซับ 33.94 มิลลิกรัมต่อกรัม ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 30 โดยประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 10 นาที ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการดูดซับจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มสามารถนำไปเป็นวัสดุดูดซับได้ และเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดซับ 37.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 90 ประสิทธิภาพยังไม่สามารถเทียบเท่าได้ เนื่องจากความสามารถในการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มมีค่าลดลงเร็วกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถึงร้อยละ 60 ทั้งนี้จึงต้องมีการศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้นานมากยิ่งขึ้น

### 2.3 วิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นเมื่อทำการประเมินต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม พบว่าวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดมีราคาที่ถูก และหาได้ง่ายเนื่องจากเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งต้นทุนการผลิตที่คำนวณมานั้นมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าถือว่าสามารถทำได้ง่ายตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนถึงโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

จากการพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม วัสดุทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพสามารถดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่ประสิทธิภาพยังไม่สามารถเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์ทางการค้าได้ และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนและจำนวนรอบในการเปลี่ยนตัวกรองถือว่ายังไม่เหมาะสม ทั้งนี้จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้การใช้งานของถ่านกะลามะพร้าวและถ่านกะลาปาล์มสามารถใช้งานได้ระยะเวลานานขึ้น

## 3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นเพื่อประสิทธิภาพในการดูดซับ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการนำมาใช้ในการใช้งานจริง และเป็นการคาดคะเนการเปลี่ยนประสิทธิภาพในการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์

### 3.2 ศึกษาเพิ่มเติมการวิเคราะห์พื้นที่ของถ่านกัมมันต์ (BET)

3.3 เพื่อให้มีการนำไปใช้งานได้หลากหลายจึงควรมีการพัฒนาต่อยอด โดยใช้สารเคมีชนิดอื่นเข้ามาทดสอบ

3.4 ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อให้สามารถใช้งานได้นานขึ้น และมีราคาต้นทุนต่ำ

3.5 ศึกษาการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
การหาค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์



การทดสอบหาค่าไอโอดีนก็สามารถพัฒนาการให้บริการได้ ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

1. อบอุ่นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่ง และบันทึกน้ำหนักถ่านกัมมันต์ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด
3. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10.0 มิลลิลิตร แกว่งขวดเบา ๆ เพื่อให้ผงถ่านชุ่มด้วยสารละลายจากนั้นต้มให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์
4. เติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าแรง ๆ 30 วินาที

โดยค่าไอโอดีนนัมเบอร์สามารถคำนวณได้จากสูตรในสมการดังนี้

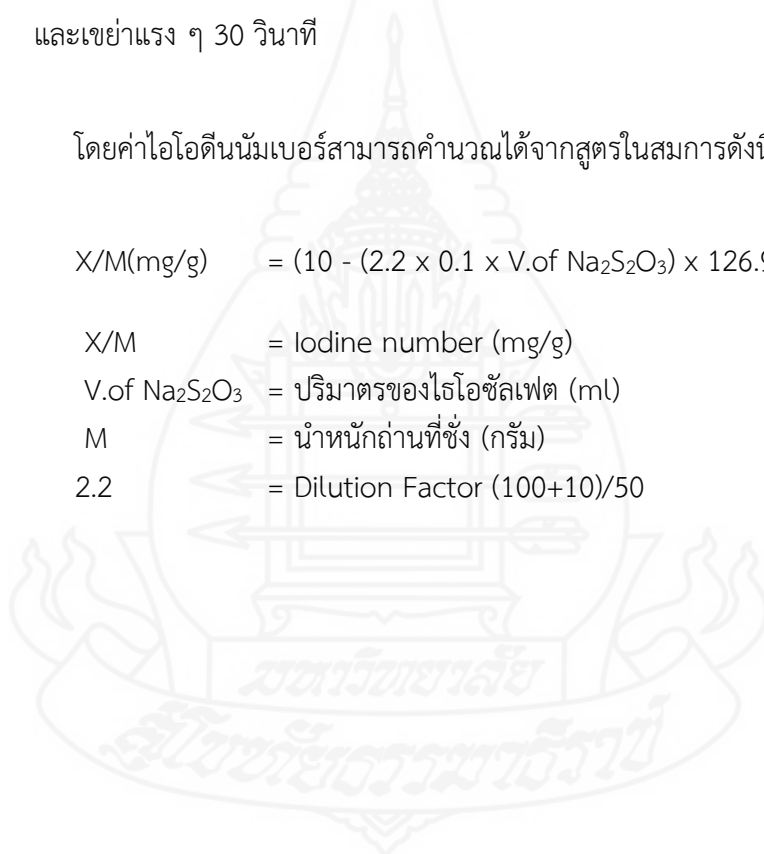
$$X/M(\text{mg/g}) = (10 - (2.2 \times 0.1 \times V.\text{of Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 126.93) / M$$

$$X/M = \text{Iodine number (mg/g)}$$

$$V.\text{of Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{ปริมาตรของไฮโอซัลเฟต (ml)}$$

$$M = \text{น้ำหนักถ่านที่ชั่ง (กรัม)}$$

$$2.2 = \text{Dilution Factor (100+10)/50}$$



**ภาคผนวก ข**

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพไอระเหยสารโทลูอิน



การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอีน สามารถหาได้จากสูตรคำนวณต่อไปนี้

$$C_{ppm} = \frac{22.4 \times 10^6 \times W}{V \times MW}$$

$$W = \rho V_L$$

เมื่อ	C	=	ความเข้มข้นของโทลูอีน (ppm)
	W	=	น้ำหนักของโทลูอีน (กรัม)
	V	=	ปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเจือจางสารเคมีในรูปของเหลว (ลิตร)
	MW	=	น้ำหนักโมเลกุลของโทลูอีน (92.13 กรัม/โมล)
	$\Delta_c$	=	ความหนาแน่นของโทลูอีน (กรัม/ลิตร)
	$V_L$	=	ปริมาตรของโทลูอีนในสถานะของเหลว (ลิตร)





ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนตามประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม





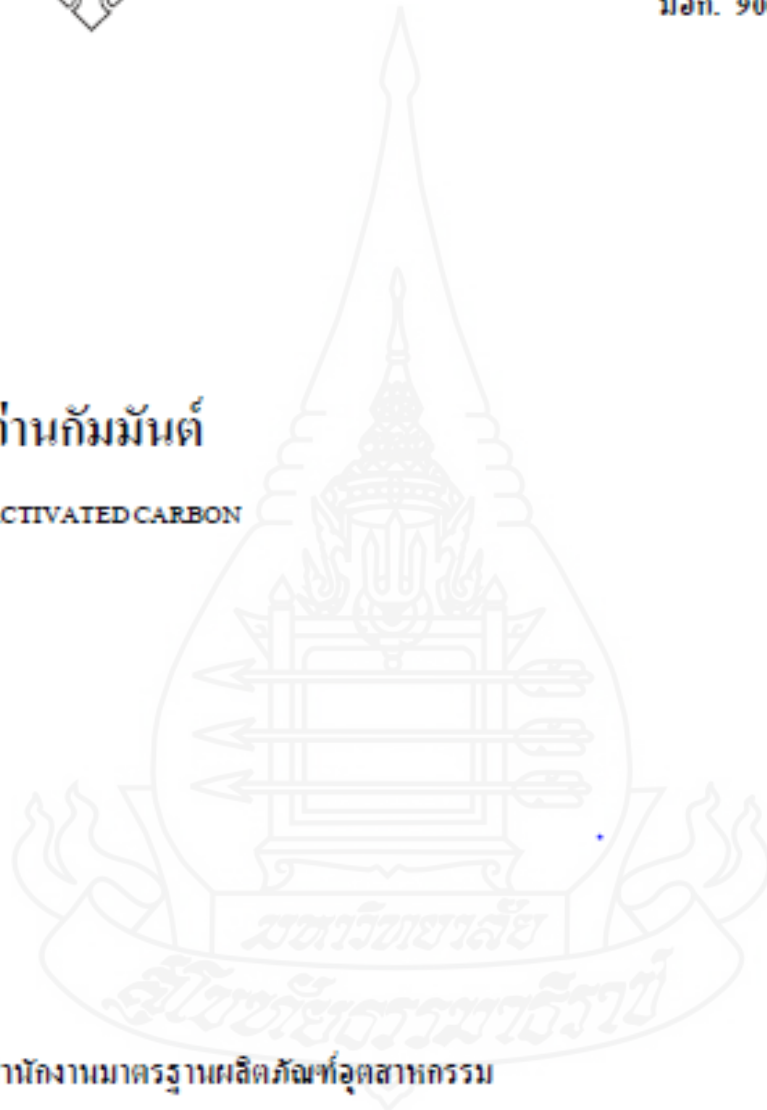
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 900 – 2547

ถ่านกัมมันต์

ACTIVATED CARBON



สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 71.100.00

ISBN 974-607-219-2



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 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ ลงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2532 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.900-2547 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้ ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2547

พิภพ จารุสมบัติ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



มอก. 900-2547

## 5.2.3 ชนิดอัดเม็ด

ให้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด  
(ข้อ 5.2.3)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20	
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70	AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test

## 5.2.4 ชนิดแท่ง

ให้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง  
(ข้อ 5.2.4)

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

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง  
(ข้อ 5.2.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

5.2.2 ชนิดเม็ด  
ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด  
(ข้อ 5.2.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	1 000	600	AWWA B604
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.20		
4	ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70		AWWA B 604 Ro-Tap abrasion test



บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

- เกียรติศักดิ์ สมสัย, (2556) ความสามารถในการดูดซับไอระเหยโทลูอิน ของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ฉบับพิเศษ, 1-9.
- กรมควบคุมมลพิษ ร่วมกับสถาบันวิจัยสภาพแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.). ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/fh2LXE>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2556). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก [http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html)
- กุลธิดา สะอาด. (2557). ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ. (2559). การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณแผ่นดินปี 2559 ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ชีวิตและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.). ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสถานะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/EBwOJB>
- ธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล. (2560). ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อการประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 196-214.
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์. (2559). สารน่ารู้ : ถ่านปลุกฤทธิ์ !. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/ATxoh3>
- ปัญญา มณีจักร. (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง. วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. 18, 119-128.
- ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. (2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตองและไม้หมาจู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

- พัชรินทร์ ฤชวรารักษ์ และพันธุ์ทิพย์ ตาทอง. (2557). การเผาถ่าน วิธีดั้งเดิมของชุมชนท้องถิ่น  
สู่เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ มนุษยศาสตร์และ  
สังคมศาสตร์*, 52-71.
- พิทักษ์ อยู่มิ. (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากผงถ่านไม้ โดยการก่อกัมมันต์ทางเคมี  
แบบแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 788-798.
- พิมานเมศ ชนะโยธา และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2557). การดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย  
โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 373-381.
- พีระพงษ์ นิยมเสวก. (2555). เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับจาก  
วิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน. *วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย  
ราชภัฏนครสวรรค์*, 11-18.
- ยุวรัตน์ เงินเย็น และคณะ. (2557). การกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและ  
กระดาษด้วยถ่านกัมมันต์. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, 37-46.
- รัตนภรณ์ เอกนุช. (2554). การพัฒนาแผ่นดูดซับสารระเหยที่ขึ้นรูปด้วยถ่านไม้และเยื่อกระดาษ.  
(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ไม้ได้ดีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- รุสนี กุลวิจิตร. (2560). การทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์. เมื่อ 12 มกราคม 2561.  
จาก <http://portal.psu.ac.th/blog/sec-nmr/43223>
- เรณู เวชรัตน์พิมล. (2555). โทลูอีน : ความเสี่ยงต่อการแท้งและความผิดปกติของทารกในครรภ์.  
เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/2VpWxM>
- วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2556). คนเอาถ่าน. เมื่อ 12 มกราคม 2561.  
จาก <http://doraemontony.wixsite.com/charcoal>
- ศูนย์ข้อมูลผลไม้. (2561). ข้อมูลมะพร้าว. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/CHRWWW>
- ศูนย์วิจัยพลังงาน. (2557). เตาเผาถ่าน 200 ลิตร (แบบตั้ง). เมื่อ 4 สิงหาคม 2561.  
จาก <http://e-shann.com/?p=7367>
- ศูนย์ข้อมูลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ม.ป.ป.). *ไม้ผลไม้ยืนต้น*. เมื่อ 12 มกราคม 2561.  
จาก [http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/tree\\_fruit/cocunutpuk.pdf](http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/tree_fruit/cocunutpuk.pdf)
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ (2556). *โทลูอีน สารเคมีอันตรายที่ควรรู้จัก*.  
เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/Hx5Klc>



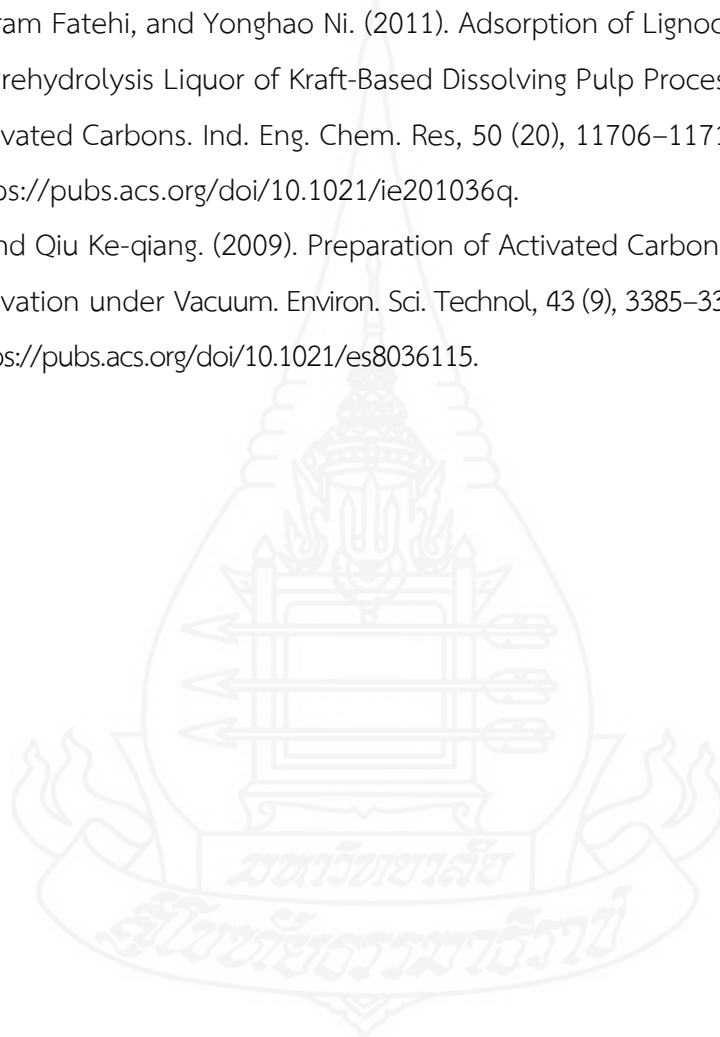
- ศรีสุตา นิเทศธรรม อัจฉรา บุญมาหล้า และอรวรรณ ชัยสิทธิ. (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการกระตุ้น ทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต สำหรับการดูดซับสีย้อม. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*, 8-18.
- สยามเคมีคอล. (ม.ป.ป.). *โทลูอีน (Toluene)/ฟีนิลมีเทน*. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/uwapPx>
- สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2557). *โรคจากโทลูอีน*. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/VpHV2m>
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์*. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- สถาพร บุ่งทอง และคณะ. (2558). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม โดยกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี*. เมื่อ 12 มกราคม 2561. จาก <https://is.gd/u4SQF2>
- สิริลักษณ์ ตาตะยานนท์ และคณะ. (2554). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์อย่างง่ายจากชีวมวล*. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สรณ์ สุวรรณโชติ. (2559). *ความสามารถในการดูดซับก๊าซอินทรีย์และก๊าซอนินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพโดยสารเคมี*. (ดุษฎีนิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- สุภาพร รัตนพันธ์ และคณะ. (2557). การเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 17, 13-21.
- สุภกร บุญยืน ศราวุธ ลั่นวงษา และศิริวิทย์ บัวเจริญ. (2552). การเตรียมถ่านจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ และการศึกษาคูณสมบัติการดูดซับ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต*, 6-13.
- สุพัฒน์ เพ็งพันธ์. (2555). *ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ Escherichia coli บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและขี้เถ้า*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- องอาจ สุยะพันธ์ และคณะ. (2558). การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอีนจากถ่านไม้. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 43, 249-259.

- อรนิจ อูปรี และสัญญา สิริวิทยาปกรณ์. (2559). ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยและเหง้า  
มันสำปะหลังในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 37-50.
- อัจฉรา แก้วกกล้า และคณะ. (2554). *การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดด้วยระบบ  
ฟลูอิดเซชันไอน้ำ*. (รายงานผลการวิจัยโครงการย่อยภายใต้ชุด: การสร้างมูลค่าเพิ่มลำไย  
ตกเกรด ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- Abedeh Gholidoust, John D. Atkinson, and Zaher Hashisho. (2017). Enhancing CO2  
Adsorption via Amine-Impregnated Activated Carbon from Oil Sands Coke.  
*Energy Fuels*, 31 (2), 1756–1763. Retrieved from  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.6b02800>.
- Chetan Borkar, Dheeraj Tomar and Sasidhar Gumma. (2010). Adsorption of  
Dichloromethane on Activated Carbon. *J. Chem. Eng. Data*, 55 (4), 1640–1644.  
Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/je900706h>.
- Fei Wang, Xingwen Lu, Wenchao Peng , Yu Deng, Tong Zhang, Yibo Hu, and Xiao-yan.  
(2017). Sorption Behavior of Bisphenol A and Triclosan by Graphene:  
Comparison with Activated Carbon. *ACS Omega*, 2 (9), 5378–5384. Retrieved  
from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.7b00616>.
- Hyoki Min, Tanveer Ahmad, and Sang-Sup Lee. (2017). Mercury Adsorption  
Characteristics as Dependent upon the Physical Properties of Activated Carbon.  
*Energy Fuels*, 31 (1), 724–729. Retrieved from  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.6b02246>.
- Ibrahim I. El-Sharkawy และคณะ. (2014). Investigation of Natural Gas Storage through  
Activated Carbon. *J. Chem. Eng. Data*, 60 (11), 3215–3223. Retrieved from  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jced.5b00430>.

- Jinhui Xu, Jia Zhao, Jiangtao Xu, Tongtong Zhang, Xiaonian Li, Xiaoxia Di, Jun Ni, Jianguo Wang, and Jie Cen. (2014). Influence of Surface Chemistry of Activated Carbon on the Activity of Gold/Activated Carbon Catalyst in Acetylene Hydrochlorination. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53 (37), 14272–14281. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie502683r>.
- Juan Yang, Jian Yu, Wei Zhao, Qiang Li, Yin Wang, and Guangwen Xu. (2011). Preparation of Bamboo-Based Activated Carbon and Its Application in Direct Carbon Fuel Cells. *Energy Fuels*, 25 (5), 2187–2193. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef200161c>.
- Juan Yang, Jian Yu, Wei Zhao, Qiang Li, Yin Wang, and Guangwen Xu. (2012). Upgrading Ash-Rich Activated Carbon from Distilled Spirit Lees. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51 (17), 6037–6043. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie202882r>.
- Kerstin I. Andersson, Marie Eriksson, and Magnus Norgren. (2011). Removal of Lignin from Wastewater Generated by Mechanical Pulping Using Activated Charcoal and Fly Ash: Adsorption Kinetics. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50 (13), 7733–7739. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie200379p>.
- Kun Zhang, Lijie Zhang, and Shang-Tian Yang. (2014). Fumaric Acid Recovery and Purification from Fermentation Broth by Activated Carbon Adsorption Followed with Desorption by Acetone. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53 (32), 12802–12808. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie501559f>.
- Liqing Li, Xin Li, Joo-Youp Lee, Tim C. Keener, Zheng Liu, and Xiaolong Yao. (2012). The Effect of Surface Properties in Activated Carbon on Mercury Adsorption. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51 (26), 9136–9144. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie2028156>.

- Marek Wojnicki, Robert P. Socha, Zbigniew Pedzich, Krzysztof Mech, Tomasz Tokarski, and Krzysztof Fitznert. (2018). Palladium(II) Chloride Complex Ion Recovery from Aqueous Solutions Using Adsorption on Activated Carbon. *J. Chem. Eng. Data*, 63 (3), 702–711. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jced.7b00885>.
- Mingjia Zhi, Feng Yang, Fanke Meng, Minqi Li, Ayyakkannu Manivannan, and Nianqiang Wu. (2014). Effects of Pore Structure on Performance of An Activated-Carbon Supercapacitor Electrode Recycled from Scrap Waste Tires. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2 (7), 1592–1598. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/sc500336h>.
- Syed Waheed ul Hasan and Farid Nasir Ani. (2014). Review of Limiting Issues in Industrialization and Scale-up of Microwave-Assisted Activated Carbon Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53 (31), 12185–12191. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie501432q>.
- Şahika Sena Bayazit, Smail İnci, and Hasan Uslu. (2011). Adsorption of Lactic Acid from Model Fermentation Broth onto Activated Carbon and Amberlite IRA-67. *J. Chem. Eng. Data*, 56 (5), 1751–1754. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/je1006345>.
- Shaheen A. Al-Muhtaseb. (2010). Adsorption and Desorption Equilibria of Nitrogen, Methane, Ethane, and Ethylene on Date-Pit Activated Carbon. *J. Chem. Eng. Data*, 55 (1), 313–319. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/je900350k>.
- Tanase Dobre, Oana C. Pârvulescu, Gustav Iavorschi, Marta Stroescu, and Anicuta Stoica. (2014). Volatile Organic Compounds Removal from Gas Streams by Adsorption onto Activated Carbon. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53 (9), 3622–3628. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie402504u>.

- Yogesh C. Sharma and Uma. (2010). Optimization of Parameters for Adsorption of Methylene Blue on a Low-Cost Activated Carbon. *J. Chem. Eng. Data*, 55 (1), 435–439. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/je900408s>.
- Xin Liu, Pedram Fatehi, and Yonghao Ni. (2011). Adsorption of Lignocelluloses Dissolved in Prehydrolysis Liquor of Kraft-Based Dissolving Pulp Process on Oxidized Activated Carbons. *Ind. Eng. Chem. Res*, 50 (20), 11706–11711. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie201036q>.
- Yang Juan and Qiu Ke-qiang. (2009). Preparation of Activated Carbon by Chemical Activation under Vacuum. *Environ. Sci. Technol*, 43 (9), 3385–3390. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es8036115>.



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวผุสดี ลีกระจ่าง
วัน เดือน ปีเกิด	11 กุมภาพันธ์ 2535
สถานที่เกิด	ชัยนาท
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จบปีการศึกษา 2557
สถานที่ทำงาน	มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย จังหวัดนนทบุรี
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่

