

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนโดยการกระตุ้นด้วย KMnO_4
เพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือ นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM JUVENILE DURIAN FRUIT
BY ACTIVATION WITH KMnO_4 FOR ETHYLENE ADSORPTION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



COPYRIGHT 2020

SCHOOL OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุแห่งเนื้อหา และโดยยังคงสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนโดยการกระตุ้นด้วย KMnO_4 เพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีน

โดย นางสาว ธิยาวรัตน์ ธนากุลอิทธิพัทธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์
ผศ.ดร. พงษ์เสรีฐ ศรีพรหม
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

TEERAPORN

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์)



.....กรรมการ
(รศ.ดร.ญาณิพร พัทธวรโชติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนโดยการกระตุ้นด้วย KMnO_4 เพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีน
โดย	นางสาว ธิยารัตน์ ธนากุลอิทธิพัทธ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ ผศ.ดร. พงษ์เสริฐ ศรีพรหม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีน โดยการนำลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เข้าสู่กระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ไปโอชาร์ จากนั้นนำไปโอชาร์ไปกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.1, 0.2, และ 0.3 โมลาร์ โดยการแช่ไปโอชาร์ลงในโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในอัตราส่วน 10 กรัม : 100 มิลลิลิตร แล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ศึกษาการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ การหาพื้นที่ผิวการดูดซับของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET และศึกษาหมู่ฟังก์ชันบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง FTIR จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ จะให้ค่าเลขไอโอดีนสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 240.87 มิลลิกรัม ไอโอดีนต่อกรัมไปโอชาร์ และมีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 4.0235 ตารางเมตรต่อกรัม และจากการศึกษาการดูดซับสารชนิดต่างๆในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวการดูดซับและปริมาตรของรูพรุน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Report Title Preparation of activated carbon from juvenile durian fruit by activation with KMnO_4 for ethylene adsorption

By Ms. Tiyarat Tanagulittipat

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2020

Advisor Asst.Prof.Dr. Pornsawan Assawasaengrat
Asst.Prof.Dr. Pongsert Sriprom

ABSTRACT

This research studied the preparation of activated carbon from juvenile durian fruit for ethylene gas adsorption. The juvenile durians were dehumidified at 60 degree for 12 hours to produce biochar. The biochar was activated with 0.1, 0.2, and 0.3 molar potassium permanganate by soaking the biochar in potassium permanganate at a ratio of 10 g : 100 ml and drying at 120 degree for 2 hours. Studied on iodine adsorption of activated carbon, determination of the adsorption surface area of activated carbon by BET technique and studied of surface functional groups of activated carbon with FTIR. It was found that activated carbon activated with 0.3 molar potassium permanganate gives the highest iodine number, which is $240.87 \text{ mg}_{\text{iodine}}/\text{g}_{\text{biochar}}$ and a surface area is $4.0235 \text{ m}^2/\text{g}$. From the study of absorption of various substances in related research. It was found that when the adsorption surface area and the pore volume increase, it will result in increased absorption efficiency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยจากการที่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจากบุคลากรหลายท่าน

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และ ผศ.ดร. พงษ์เสริฐ ศรีพรหม อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ทั้งในด้านความรู้ในการทำงาน การตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของปริญญานิพนธ์ตลอดการทำงาน ตลอดทั้งยังอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์และของใช้จำเป็นต่างๆ ในการทำวิจัย ผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ และ รศ.ดร.ญาณิพร พัทธวรโชติ กรรมการการสอบหัวข้อและโครงสร้างปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และข้อชี้แนะในปริญญานิพนธ์ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ในทุกรายวิชาที่ใช้ในการศึกษา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณพิมพ์ใจ ภูชนะกิจ, คุณพิสันต์ ผลโพธิ์, และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณ คุณไชยวัฒน์ ณ ลำปาง และ คุณภาคภูมิ อธิกพันธ์ุ ที่คอยให้คำแนะนำให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยช่วยสนับสนุนในด้านการศึกษารวมทั้งเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี รุ่นที่ 24 ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยหากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีประโยชน์และคุณค่าทางการศึกษา ผู้วิจัยขอมอบแก่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การศึกษอบรมสั่งสอนแก่ผู้วิจัย แต่หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับความผิดพลาดไว้แต่เพียงผู้เดียว

ธียรรัตน์ ธนากุลอิทธิพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

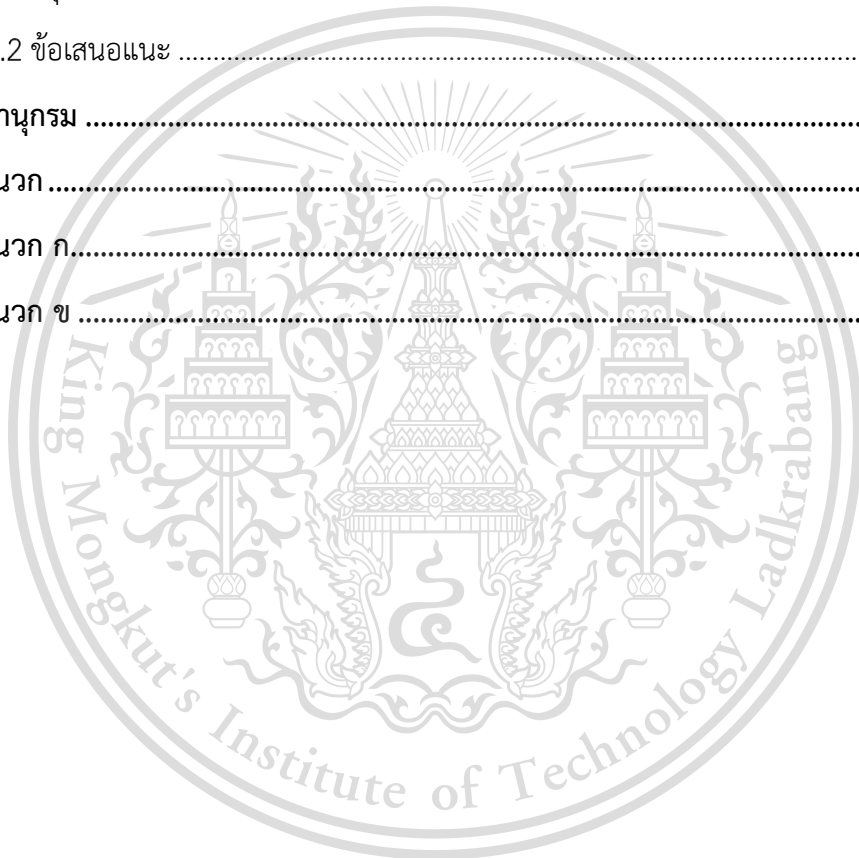
	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	8
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	8
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	9
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ลูกทุเรียนอ่อน.....	10
2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	11
2.3 การดูดซับ (Adsorption).....	12
2.4 กลไกการดูดซับ.....	13
2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm).....	15
2.6 แบบจำลองการดูดซับ.....	17
2.7 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate).....	19
2.8 เอทิลีน (Ethylene).....	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	21
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	21
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
4.1 การวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine number)	24
4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET	25
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR	25
4.4 การจำลองการดูดซับด้วยโปรแกรม Aspen Plus.....	26
4.5 การศึกษาแนวโน้มการดูดซับก๊าซเอทิลีนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	28
5.1 สรุปผลการทดลอง	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	29
ภาคผนวก	31
ภาคผนวก ก	32
ภาคผนวก ข	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ผลทุเรียนอ่อนอายุ 4-6 สัปดาห์	10
รูปที่ 2-2 แสดงกลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์	14
รูปที่ 2-3 ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซ ที่สภาวะสมดุลตามระบบ IUPAC	15
รูปที่ 2-4 โครงสร้างทางเคมีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	19
รูปที่ 2-5 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลีน	19
รูปที่ 3-1 กระบวนการดูดซับก๊าซเอทิลีน	22
รูปที่ 4-1 กราฟแสดง FTIR Spectra ของ ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ	25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี	13
ตารางที่ 4-1 เลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่างๆ.....	24
ตารางที่ 4-2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	25
ตารางที่ 4-3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	26
ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีนเพื่อหาเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์	32
ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.1 โมลาร์	32
ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.2 โมลาร์	33
ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.3 โมลาร์	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

VII

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ทุเรียนเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของไทย โดยสามารถส่งออกได้ทั้งลูกทุเรียนสดและทุเรียนที่ผ่านการแปรรูป เช่น ทุเรียนแช่แข็ง ทุเรียนอบแห้ง และทุเรียนกวน จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงกรกฎาคมของปี 2563 ประเทศไทยมีการส่งออกทุเรียน 501,439 ตัน มูลค่า 50,072.2 ล้านบาท ซึ่งในการปลูกทุเรียนในช่วงหลังจากการติดผลแล้ว เกษตรกรจะต้องมีการตัดลูกทุเรียนอ่อนภายในช่อออก เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกทุเรียนมีขนาดเล็กจนเกินไปจนทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งจากขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดปริมาณลูกทุเรียนอ่อนจำนวนมากที่ถูกทิ้งโดยไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงมีแนวคิดการนำวัสดุเศษเหลือจากการปลูกทุเรียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ การผลิตถ่านกัมมันต์จึงเป็นหนึ่งวิธีที่น่าสนใจในการสร้างมูลค่าแก่วัสดุเศษเหลือเหล่านี้

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน นิยมนำวัสดุทางการเกษตรหรือวัสดุชีวมวล เช่น แกลบ (rice husk) [1] ไม้มะขาม (tamarind wood) [2] กะลามะพร้าว (coconut shell) [3] หรือ เปลือกกระท้อน (santol peel) [4] มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีต้นทุนต่ำและสามารถหาได้ง่าย ในกระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จะมี 2 กระบวนการที่เกี่ยวข้องคือ กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นถ่านชาร์ โดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ และจากกระบวนการนี้จะทำให้ปริมาณคาร์บอนสูงมากขึ้น จากนั้นจะนำถ่านชาร์ที่ได้มาผ่านกระบวนการกระตุ้น (activation) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว (surface area) และเพิ่มปริมาตรของรูพรุน (pore volume) โดยการกระตุ้นมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เป็นการนำถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มากระตุ้นโดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อีกวิธีหนึ่งคือการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เป็นการนำถ่านชาร์มากระตุ้นด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการกระตุ้นได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) หรือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄) เป็นต้น โดยในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีมากกว่าวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ และใช้เวลาในการกระตุ้นค่อนข้างน้อย แต่ยังสามารถได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนสูง

ก๊าซเอทิลีนเป็นก๊าซที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืชซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยหากพืชได้รับก๊าซเอทิลีนมากเกินไปอาจจะไปเร่งให้ผลสุกเร็วกว่าความต้องการ ทำให้เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน ในกรณีที่ส่งออกผลไม้ไปขายจึงจำเป็นต้องหาทางกำจัดเอทิลีนในช่วงทำการขนส่ง เพื่อเก็บรักษาผลไม้ให้อยู่ในสภาพเดิมได้นาน

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนซึ่งเป็น
เอกสารวัสดุเศษเหลือโดยกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีนและหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซเอทิลีน
ไม่ว่าการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์หรือไม่ก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนด้วยกระบวนการคาร์บอนเซชัน และการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนด้วยการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 1.3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
 - 1.3.2.1 วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค BET (Brunauer-Emmett-Teller)
 - 1.3.2.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
- 1.3.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับจากการจำลองกระบวนการดูดซับด้วยโปรแกรม Aspen Plus

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับเอทิลีนสำหรับการขนส่งและเก็บรักษาผลไม้ เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ และยังเป็น การนำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรอย่างลูกทุเรียนอ่อน มาเพิ่มมูลค่าและใช้ให้เกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลูกทุเรียนอ่อน

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [5] พบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงกรกฎาคมของปี 2563 ประเทศไทยมีการส่งออกทุเรียน 501,439 ตัน มูลค่า 50,072.2 ล้านบาท จึงทำให้เกษตรกรในหลายพื้นที่ทั่วประเทศเริ่มหันมาปลูกทุเรียนมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลการผลิตทุเรียน พบว่าพื้นที่ปลูกทุเรียนที่ให้ผลผลิตได้ของปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ประมาณ 755,000 ไร่ เพิ่มจากปี พ.ศ. 2562 ประมาณ 30,000 ไร่ ซึ่งสำหรับการปลูกทุเรียนเพื่อให้ได้ผลผลิตนั้นมีหลายขั้นตอน โดยหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญคือการตัดแต่งช่อของลูกทุเรียนหลังระยะติดผล ซึ่งจะต้องทำเมื่อลูกทุเรียนมีอายุ 4-6 สัปดาห์ โดยปกติแล้วในหนึ่งช่อของทุเรียนจะมีหลายลูก ดังนั้นจึงต้องมีการตัดแต่งลูกทุเรียนในช่อที่มากเกินไปหรือไม่สมบูรณ์เพื่อควบคุมคุณภาพของทุเรียน ไม่ให้เสียรูปทรงหรือมีขนาดเล็กเกินไป และยังทำให้การดูแลรักษาและเก็บเกี่ยวผลผลิตทำได้ง่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ก็จะก่อให้เกิดลูกทุเรียนอ่อนที่ถูกตัดทิ้งซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีแนวคิดว่านำวัสดุเศษเหลือจากการปลูกทุเรียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ นั่นคือการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อสร้างมูลค่าแก่วัสดุเศษเหลือเหล่านี้



รูปที่ 2-1 ผลทุเรียนอ่อนอายุ 4-6 สัปดาห์
ที่มา: <http://greens.zateers.com/durian/index.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) [6] ชนิดหนึ่งแต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก หากศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์จากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ จะพบว่าโครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือ แกรไฟต์ เป็นต้น โดยถ่านกัมมันต์จะมีความสามารถในการดูดซับสูงเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ที่ผิวจะมีโครงสร้างจะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผิวของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิว และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนอล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์อาจเป็นวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ ถ่านหิน พีช หรือวัสดุทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว แกลบ ชานอ้อย ไม้มะขาม ถ่านหิน ขี้เลื่อย หรือกระดูกของสัตว์ เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน (carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (activation) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นผิว จึงทำให้เกิดการเกาะติดของอนุภาคสารหรือโมเลกุลของก๊าซได้ดี ซึ่งในปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น การฟอกสี การกำจัดสารพิษ การกำจัดสีและกลิ่น เป็นต้น ในการเตรียมถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลักๆ คือ กระบวนการคาร์บอนเซชัน (carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (activation) [7]

2.2.1 กระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization)

กระบวนการคาร์บอนเซชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบให้อยู่ในรูปถ่านชาร์ ซึ่งคล้ายกับปฏิกิริยาของไพโรไลซิสในก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ซึ่งเป็นการให้ความร้อนภายใต้สภาพอับอากาศหรือมีการควบคุมปริมาณออกซิเจน เพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้ได้ขี้เถ้าแทนถ่าน และถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้กระบวนการคาร์บอนเซชันยังช่วยกำจัดธาตุและองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำออกมาในรูปของน้ำมันทาร์และก๊าซ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของคาร์บอนที่เป็นระเบียบมากขึ้น

2.2.2 กระบวนการกระตุ้น (Activation)

กระบวนการกระตุ้นเป็นกระบวนการเปลี่ยนถ่านชาร์ให้เป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งกระบวนการนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารให้แก่ถ่านกัมมันต์ โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนโดยจะแบ่งออกเป็น การกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

การกระตุ้นทางกายภาพเป็นวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยจะกระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ 600 ถึง 950 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ ทำให้โครงสร้างภายในมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี โดยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการนี้จะสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องล้างสารตกค้างออก

2.2.2.2 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

การกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยสารเคมี โดยจะทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิประมาณ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาใช้ในการกระตุ้น และสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) หรือซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) เป็นต้น การกระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นไม่สูงนัก ทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ใช้เวลาน้อยกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนั้นการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูง ซึ่งหากทำการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะต้องนำไปล้างสารตกค้างออกจนกว่าจะมีคุณสมบัติเป็นกลางจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้

2.3 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (adsorption) [8] หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่สัมผัสกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยตรงซึ่งสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ และสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงนั้นจะไม่ถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ปริมาณการดูดซับนั้นจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับและสารดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะการดูดซับ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้น และความดัน เป็นต้น ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน ความเข้มข้น และอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง การดูดซับแบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพจะอาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอ่อนๆที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งแรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารดูดซับมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวมาติดอยู่ที่สารดูดซับแทน การดูดซับทางกายภาพไม่มีแรงกระตุ้น (activation energy) มาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับจะมีค่าน้อย ดังนั้นการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของตัวดูดซับจึงทำได้ง่าย และการดูดซับจะสามารถเกิดขึ้นได้หลายชั้น (multilayer) โดยในแต่ละชั้นจะซ้อนทับกันอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน และจำนวนชั้นจะเป็น

สัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารและเกิดขึ้นได้ดีที่สภาวะอุณหภูมิสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม ซึ่งก็คือการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมชิ้นใหม่โดยมีการสร้างพันธะเคมีที่แข็งแรง โดยแรงที่ใช้ดูดซับจะเป็นพันธะโคเวเลนต์ และมักเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ และจะมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ความร้อนของการดูดซับนั้นมีค่าสูง ดังนั้นการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจึงทำได้ยาก และการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นการดูดซับแบบขั้นเดียว

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50 - 400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนก๊าซ-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ

นอกจากการแบ่งประเภทการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแล้วยังสามารถแบ่งประเภทการดูดซับตามกลไกเพิ่มเติมได้อีก คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิวของตัวดูดซับ เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุตรงข้ามกันและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ และการดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บริเวณผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พลวัตกรรมการดูดซับนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

2.4 กลไกการดูดซับ

ในกระบวนการดูดซับโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยขั้นตอนของการดูดซับ และขั้นตอนการคืนสภาพของตัวดูดซับหรือที่เรียกว่า การคายซับ (desorption) ซึ่งในขั้นตอนนี้สารละลายจะถูกส่งผ่านไปบนตัวดูดซับอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลการดูดซับ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานของตัวดูดซับ จึงได้มีการคืนสภาพให้กับตัวดูดซับนั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดันของระบบ ขั้นตอนของการดูดซับบนถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน [9] ดังนี้

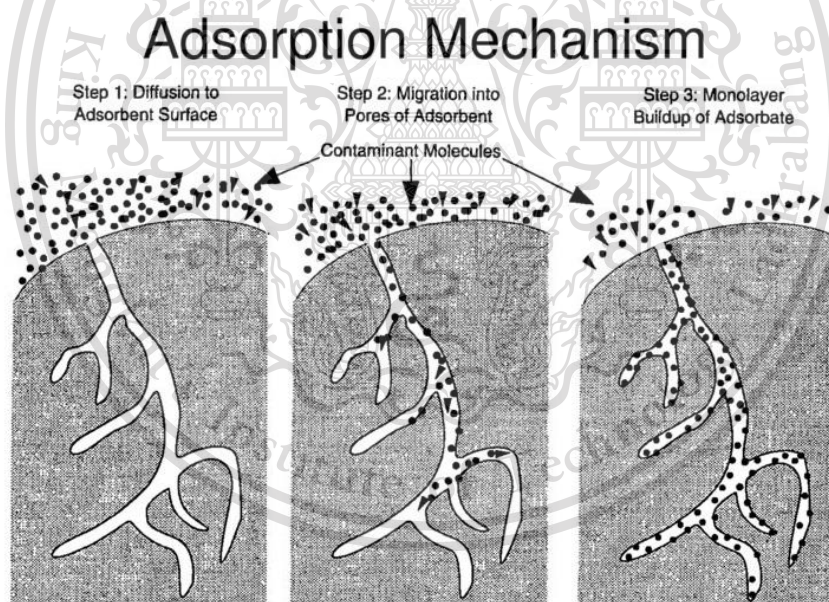
ขั้นตอนที่ 1 จะเป็นขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ เป็นการเคลื่อนที่ของสารถูกดูดซับให้เข้ามาติดบริเวณผิวนอกของตัวดูดซับ โดยสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลักขณนามีให้คิดแบ่งปัญหา และต่อมอึ้งอิงถึงเวลาของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

แพร่กระจายจะทำให้สารที่มีขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่าและมีโอกาสวิ่งเข้าหาถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า สำหรับสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนนั้น สารจะเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ตามทิศทางการไหลของของไหล การแพร่กระจายในระดับโมเลกุลจะเกิดขึ้นน้อยมาก โดยที่ขนาดและน้ำหนักของสารถูกดูดซับจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตะกอน และติดค้าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกตะกอนในทิศทางที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ได้ ดังนั้น ขนาดและการกระจายขนาด (size distribution) จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อกลไกการเคลื่อนย้ายของสารถูกดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน Pre-diffusion ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าสู่รูพรุนภายในของถ่านกัมมันต์ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์นี้จะมีฟิล์มของของไหลห่อหุ้มอยู่คล้ายเยื่อบาง ๆ โดยรอบ เมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้ามายังถ่านกัมมันต์ โมเลกุลของสารต้องทำการแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำให้ได้จึงจะสามารถเข้าไปในผิวของถ่านกัมมันต์ได้จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์นี้จะมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ภายในโพรงที่เรียกว่า รูพรุน โดยภายในรูพรุนนี้จะมีช่องเป็นโพรงคดเคี้ยวไปมา

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการเกาะติด โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะต้องสามารถเกาะติดที่บริเวณผิวภายในของถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่หลุดออกไป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนี้ถือว่าเกิดการดูดซับที่ผิวภายในรูพรุนอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2-2 แสดงกลไกการดูดซับสารบนถ่านกัมมันต์

ที่มา: <https://slideplayer.com/slide/12979321/>

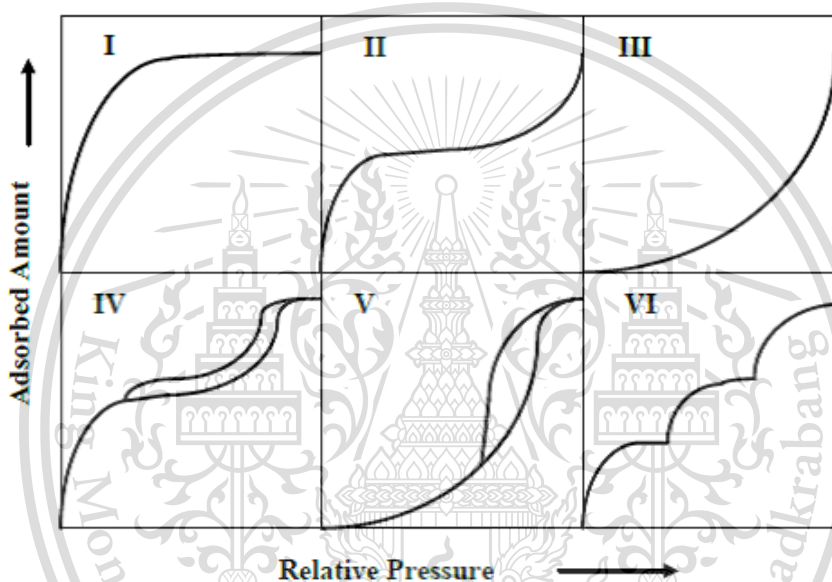
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นข้อมูลเชิงฟิสิกส์พื้นฐานที่สภาวะสมดุลการดูดซับที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของการดูดซับได้[8] ซึ่งกราฟไอโซเทอมจะแสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันสำหรับสถานะของเหลวและก๊าซ โดยในสถานะของเหลวจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับเทียบกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลาย ส่วนในสถานะก๊าซก็จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับเทียบกับความดันย่อยของก๊าซที่เป็นสารที่ถูกดูดซับ หรือในรูปของความดันสัมพัทธ์ (P/P°) โดย P คือ ความดันจริงที่วัดได้ในระบบขณะที่ทำการทดลอง และ P° คือ ความดันไออิ่มตัวของสารถูกดูดซับที่อุณหภูมิของการดูดซับ โดยค่าความดันสัมพัทธ์นี้จะมีค่าในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งชนิดของไอโซเทอมการดูดซับก๊าซนี้สามารถจำแนกตามระบบ IUPAC ได้ 6 แบบ ได้แก่



รูปที่ 2-3 ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซ ที่สภาวะสมดุลตามระบบ IUPAC

ที่มา: <https://gasadsorptiontech.wordpress.com/tag/adsorption-isotherm-equation/>

แบบที่ 1 (Type I) เป็นไอโซเทอมการดูดซับแบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และพบมากที่สุด จะมีการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer adsorption) เรียกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) หรือ L-shape isotherm ลักษณะไอโซเทอมจะเป็นโค้งเข้าหาแกน P/P° การดูดซับลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขนาดรูพรุนของตัวดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มากนัก พบได้ในการดูดซับของตัวถูกดูดซับที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

แบบที่ 2 (Type II) ลักษณะกราฟไอโซเทอมจะเป็นรูปตัว S อาจเรียกไอโซเทอมว่า S-shaped isotherm หรือ Sigmoid ซึ่งจะเป็นการดูดซับที่พบได้ในตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน (nonporous) หรือมีรูพรุนขนาดใหญ่ (microporous) จากการที่รูพรุนมีการกระจายขนาดในช่วงที่กว้าง การดูดซับจะเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่จุดเปลี่ยนกราฟ B (inflection point or knee of isotherm) จากนั้นจำนวนชั้นของการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นหรือเรียกว่าการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) เมื่อความดันสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

แบบที่ 3 (Type III) จะมีลักษณะกราฟของไอโซเทอมเป็นแบบโค้งหงาย หรือเส้นกราฟจะโค้งออก (convex) จากแกน P/P^0 และจะไม่มีจุดเปลี่ยนกราฟ จะพบไอโซเทอมลักษณะนี้ได้ในตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุน หรือมีรูพรุนขนาดใหญ่ แต่การดูดซับในลักษณะนี้จะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับด้วยตัวเอง มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับ ก่อนที่การดูดซับขั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้น้อยที่ความดันสัมพัทธ์ต่ำ แต่เมื่อความดันสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะมากขึ้นเนื่องจากเกิดการดูดซับระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับมากขึ้น

แบบที่ 4 (Type IV) ไอโซเทอมการดูดซับลักษณะนี้พบได้ในตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดกลางเป็นหลัก ในช่วงแรกที่ค่าความดันสัมพัทธ์ต่ำ ไอโซเทอมจะมีลักษณะคล้ายกับแบบที่ 2 แต่เมื่อความดันสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้นปริมาณการดูดซับโมเลกุลแก๊สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่เมื่อความดันสัมพัทธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 ในไอโซเทอมของการดูดซับแบบนี้ในช่วงที่มีการลดความดันเพื่อคายซับ (desorption) จะเกิดวงฮีสเทอรีซิส (hysteresis loop) ขึ้น เนื่องจากในขั้นตอนการดูดซับมีการควบแน่นแคปิลลารี (capillary condensation) ในรูพรุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับของกราฟ และทำให้มีสภาวะคล้ายของเหลวและมีแรงดึงดูดเกิดขึ้นดังนั้น ในการคายซับ จึงต้องทำการลดความดันของระบบให้ต่ำกว่าความดันในช่วงการดูดซับเพื่อเอาชนะแรงดึงดูดนั้น ส่งผลให้เส้นไอโซเทอมในช่วงของการดูดซับและการคายซับไม่ซ้อนทับกัน

แบบที่ 5 (Type V) เป็นไอโซเทอมรูปแบบพิเศษ ในช่วงแรกที่ความดันสัมพัทธ์มีค่าต่ำ ไอโซเทอมของการดูดซับนี้จะคล้ายกับแบบที่ 3 ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ มีค่าน้อย และจะมีวงฮีสเทอรีซิสเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของก๊าซเกิดการควบแน่นในรูพรุนเช่นเดียวกับไอโซเทอมการดูดซับแบบที่ 4 ซึ่งจะพบได้ทั้งในตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดกลางและขนาดเล็ก

แบบที่ 6 (Type VI) เป็นไอโซเทอมแบบขั้นบันได (stepped isotherm) ซึ่งจะเป็นการดูดซับแบบ multilayer เป็นชั้น ๆ ชั้นบนผิวของ nonporous โดยความสูงของแต่ละชั้นจะเป็นความสามารถของ monolayer ในชั้นนั้น ๆ และจะเกิดการดูดซับโมเลกุลของก๊าซบนชั้นผิวการดูดซับแบบขั้นต่อชั้นด้วยแรงที่สม่ำเสมอ โดยบันไดแต่ละชั้นจะแสดงถึงลักษณะการดูดซับในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 แบบจำลองการดูดซับ

2.6.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ใช้สำหรับอธิบายการดูดซับก๊าซแบบชั้นเดียวที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวราบ (monolayer adsorption) บนสมมติฐานที่ว่า

1. โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับในปริมาณที่แน่นอนและตำแหน่งที่แน่นอน
2. ตัวดูดซับแต่ละโมเลกุลจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น และไม่มีแรงกระทำระหว่างกันสำหรับโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน
3. โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้
4. ค่าความร้อนของการดูดซับจะเท่ากันและคงที่ตลอดพื้นที่การดูดซับ
5. ไม่มีแรงกระทำระหว่างกันสำหรับโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน
6. พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุก ๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ

สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้ และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังนี้

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2-1)$$

เมื่อ	q_e	คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (g) ที่สภาวะสมดุล หรือค่าการดูดซับที่สมดุล
	q_m	คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด (mg/g) ที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว
	b	คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ หรือค่าคงที่ของแลงเมียร์ (L/mg)
	C_e	คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (mg/L)

จากสมการที่ 2.4 สามารถจัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2-2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะสามารถหาค่า q_m ได้จากความชันของกราฟ (slope) และหาค่า b จากจุดตัดแกน (intercept)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่า พื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (heterogeneous) หรือมีพื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ โดยพื้นที่ผิวและพลังงานจะมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้กับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ซึ่งไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิชจะเป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer)

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2-3)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (2-4)$$

เมื่อ	C_e	คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (mg/L)
	q_e	คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (g) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (g) ที่สภาวะสมดุล
	K_F	คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)
	n	คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q_e$, กับ $\log C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K_F$ จากสมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช ความสามารถในการดูดซับจะพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่าง $\log q_e$, กับ $\log C_e$ โดยถ้าเส้นกราฟที่ได้มีค่าความชันมาก แสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี ที่ความเข้มข้นสูงๆ สำหรับค่า $1/n$ จะใช้อธิบายถึงไอโซเทอมของการดูดซับ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 ไอโซเทอมของการดูดซับจะเป็นแบบเส้นตรง แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 1 จะอธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับว่ามีปริมาณมากในการใช้ดูดซับ และถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 จะอธิบายถึงปริมาณพื้นผิวของตัวดูดซับว่ามีปริมาณจำกัดในการใช้ดูดซับ

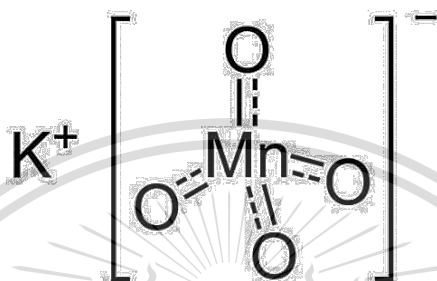
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate)

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือ ด่างทับทิม[10] มีสูตรทางเคมีคือ $KMnO_4$ เป็นสารเคมีประเภทอนินทรีย์ (Inorganic) ที่มีลักษณะเป็นผลึกหรือเกล็ดสีม่วง สามารถละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีม่วงหรือสีชมพูอมม่วงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้น โดยทางเคมีจะถือว่าด่างทับทิมเป็นเกลือชนิดหนึ่งซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ และมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างแรง ในปัจจุบันมีการนำด่างทับทิมมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือนหรือในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การใช้เป็นสารออกซิเดชันในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ อุตสาหกรรมย้อมสีไม้และผ้า หรือใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคในผักและผลไม้ เป็นต้น

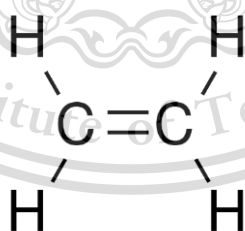


รูปที่ 2-4 โครงสร้างทางเคมีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate)

ที่มา: <https://www.restauro-online.com/Potassium-permanganate-puriss-pa-KMnO4>

2.8 เอทิลีน (Ethylene)

ก๊าซเอทิลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งที่สามารถติดไฟได้ หรือก๊าซเอทิลีนในผักและผลไม้จะเกิดขึ้นในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช [11] โดยเฉพาะในช่วงที่ผลไม้สุกจะมีก๊าซนี้แพร่ออกมา และสามารถทำให้ผลไม้ที่อยู่ใกล้ๆสุกตามไปด้วย ซึ่งก๊าซเอทิลีนถือเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช แต่หากพืชได้รับก๊าซเอทิลีนมากเกินไปจะทำให้ใบร่วงมากกว่าปกติ หรืออาจไปเร่ง ให้ผลสุก เร็วกว่าความต้องการ ทำให้เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน



รูปที่ 2-5 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลีน (Ethylene)

ที่มา: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ethylene.svg>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านที่ผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวกระตุ้น เช่น Qianqian และคณะ [12] ที่ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมในน้ำเสีย ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยนำรูปฤกษ์ที่ถูกแช่ด้วยกรดฟอสฟอริกไปผ่านกระบวนการบอโน-เซชันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปพรีตเมนต์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในอัตราส่วน 5 กรัม : 1 ลิตร แล้วอบให้แห้ง จะพบว่าพื้นที่ผิวในการดูดซับลดลงจาก 1,214.35 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 556.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Ning-chuan และคณะ [13] ที่ทำการศึกษาการดูดซับไอออนของแคดเมียม (Cd(II)) ในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากของอั้งคี้ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยนำกากของอั้งคี้ขนาด 40 เมช มาผ่านกระบวนการบอโน-เซชัน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ก่อนนำมาผสมกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในอัตราส่วน 10 กรัม : 1 ลิตร แล้วอบให้แห้ง จะพบว่าพื้นที่ผิวในการดูดซับลดลงจาก 1,519.53 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 774.13 ตารางเมตรต่อกรัม โดยในการลดลงของพื้นที่ผิวในการดูดซับนี้ จะมีปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่มีทั้งจุดที่แตกต่างและใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดย Yin และคณะ [14] ที่ทำการศึกษาการดูดซับไอออนของตะกั่ว (Pb(II)) ในสารละลายด้วยถ่านจากต้นไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและการให้คลื่นไมโครเวฟ โดยนำถ่านจากไผ่มาผสมกับโพแทสเซียม-เปอร์แมงกาเนตในอัตราส่วน 10 กรัม : 50 มิลลิลิตร ก่อนนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่าพื้นที่ผิวในการดูดซับของถ่านเพิ่มขึ้นจาก 15.5 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 172.3 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Shan และคณะ [15] ที่ทำการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับ NH_3 โดยจะนำ ถ่านหินเซีย ถ่านต้าง และถ่านที่ได้จากกะลามะพร้าว มาผ่านการปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในอัตราส่วน 100 กรัม : 500 มิลลิลิตร แล้วอบให้แห้ง จะพบว่าพื้นที่ผิวในการดูดซับของถ่านหินเซีย เพิ่มขึ้นจาก 1,025 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 1,080 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านต้าง เพิ่มขึ้นจาก 1,121 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 1,159 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านที่ได้จากกะลามะพร้าว เพิ่มขึ้นจาก 786.2 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 857.5 ตารางเมตรต่อกรัม และ Guojie Zhang และคณะ [16] ที่ทำการศึกษาลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ดัดแปลงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของก๊าซเรือนกระจก โดยนำถ่านต้าง 30 กรัม มากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น 0.02, 0.04, และ 0.06 โมลาร์ จากนั้นนำไปอบให้แห้ง จะพบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ จะมีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุด ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวการดูดซับในถ่านกัมมันต์ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวกระตุ้นในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมและการวิเคราะห์ต่างๆ โดยจำแนกอุปกรณ์และเครื่องมือในขั้นตอนการเตรียมและการวิเคราะห์หลักๆ ดังนี้

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

1. เครื่องชั่งละเอียด (รุ่น CP225D, SATORIUS AG, ประเทศเยอรมนี)
2. ตู้อบ (บริษัท เคโมไซเอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย)
3. เตาเผา (บริษัท Thermo scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
4. วาล์วปรับความดันของแก๊ส
5. ตู้ดูดความชื้น
6. ปีกเกอร์ขนาด 50 100 และ 500 mL (Duran, ประเทศเยอรมนี)
7. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 250 และ 1000 mL (Duran, ประเทศเยอรมนี)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้

1. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Commercial grade, ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์, ประเทศไทย)
2. แก๊สไนโตรเจน
3. น้ำกลั่น

3.1.3 วัสดุที่ใช้

ลูกทุเรียนอ่อนที่ได้จากการตัดแต่งช่อดอก จากจังหวัดระยองและจันทบุรี

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมวัสดุจากลูกทุเรียนอ่อน

นำลูกทุเรียนอ่อนมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะล้างสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบแห้งเพื่อไล่น้ำออกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการคาร์บอนเซชันต่อไป

3.2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

3.2.2.1 การคาร์บอนเซชัน

นำลูกทุเรียนอ่อนที่เตรียมได้มาผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชัน ภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจนโดยใช้แก๊สไนโตรเจนไหลผ่าน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนด ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บในตู้ดูดความชื้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.2 การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

นำลูกทุเรียนที่ผ่านการคาร์บอนเซชันไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ อัตราส่วน 10 กรัม : 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำมาบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตระแกรงขนาด 20/40 เมช ก่อนเก็บในตู้ดูดความชื้น

3.2.3 การวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine number)

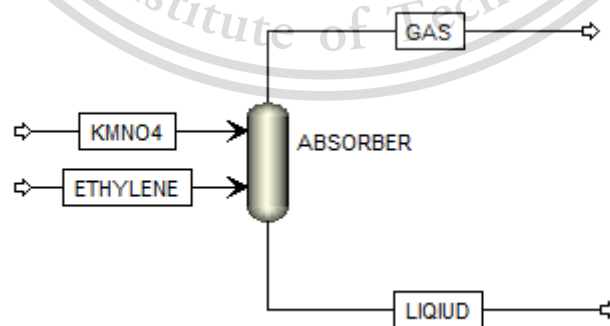
ถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ จะถูกนำไปวิเคราะห์เลขไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM [17] เพื่อหาความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุด โดยจะนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการบดไปแช่ด้วยสารละลายไอโอดีนในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการกรองสารละลายไอโอดีนเพื่อนำไปทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต และนำปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตไปคำนวณค่าเลขไอโอดีน

3.2.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET

ถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยจะมีการไล้ก๊าซก่อนทำการวิเคราะห์ BET ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.5 การจำลองกระบวนการดูดซับด้วยโปรแกรม Aspen Plus

เนื่องจากจุดประสงค์ของงานวิจัยต้องการทราบการดูดซับก๊าซเอทิลีน ทางผู้จัดทำจึงได้จำลองกระบวนการดูดซับโดยใช้หอ Absorber ในโปรแกรม Aspen Plus เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเอทิลีน เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีค่าต่างกัน โดยแบบจำลองกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 กระบวนการดูดซับก๊าซเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำหรับการจำลองกระบวนการดูดซับด้วยโปรแกรม Aspen Plus ใช้แบบจำลองอุณหพลศาสตร์คือ PENG-ROB โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Helen Lou และคณะ [18] และหอ Absorber จะจำลองโดยใช้แบบจำลอง RadFrac ในกระบวนการดูดซับจะประกอบด้วยสายขาเข้า 2 สาย สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, และ 0.3 โมลาร์จะถูกป้อนเข้าที่ด้านบนของหอ Absorber โดยมีอัตราการไหล 100 กิโลโมลต่อชั่วโมง และก๊าซเอทิลีนเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล จะถูกป้อนเข้าที่ด้านล่างของหอ Absorber โดยมีอัตราการไหล 100 กิโลโมลต่อชั่วโมง ภายในหอ Absorber จะมีอุณหภูมิขาเข้า 25 องศาเซลเซียส ความดันขาเข้า 1 บรรยากาศ (1.01325 บาร์) มีจำนวนขั้นทั้งหมด 10 ชั้น และมีสายขาออก 2 สาย คือสาย GAS ที่จะออกด้านบนของหอ Absorber และสาย LIQUID ที่จะออกด้านล่างของหอ Absorber โดยในการหาประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนจะพิจารณา Mole Fraction ของเอทิลีนในสาย LIQUID เทียบกับ Mole Fraction ของเอทิลีนในสายขาเข้า ดังสมการที่ 3-1

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Mole fraction of ethylene in liq}}{\text{Mole fraction of ethylene in feed}} \times 100\% \quad (3-1)$$

3.2.6 การศึกษาแนวโน้มในการดูดซับก๊าซเอทิลีนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงศึกษาแนวโน้มในการดูดซับก๊าซเอทิลีนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสรุปความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการดูดซับก๊าซเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อน โดยนำลูกทุเรียนอ่อนมาผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซเอทิลีน จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของถ่านกัมมันต์ โดยจะทำการวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine number) วิเคราะห์พื้นที่ผิวการดูดซับด้วย BET และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง FTIR

4.1 การวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine number)

ถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำการวิเคราะห์เลขไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM เพื่อหาความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุด ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 เลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	เลขไอโอดีน (mg _{Iodine} /g _{biochar})
ไปโอชาร์	205.12
0.1 M	227.46
0.2 M	231.93
0.3 M	240.87

จากตารางที่ 4-1 จะพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, และ 0.3 โมลาร์ จะมีเลขไอโอดีนเพิ่มขึ้นตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์จะมีเลขไอโอดีนมากที่สุด ดังนั้นจึงบ่งบอกได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ จะทำให้เกิดเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุด เนื่องจากเมื่อกระตุ้นไปโอชาร์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตยังช่วยเพิ่มปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบให้แก่ถ่านกัมมันต์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET

ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 4-2

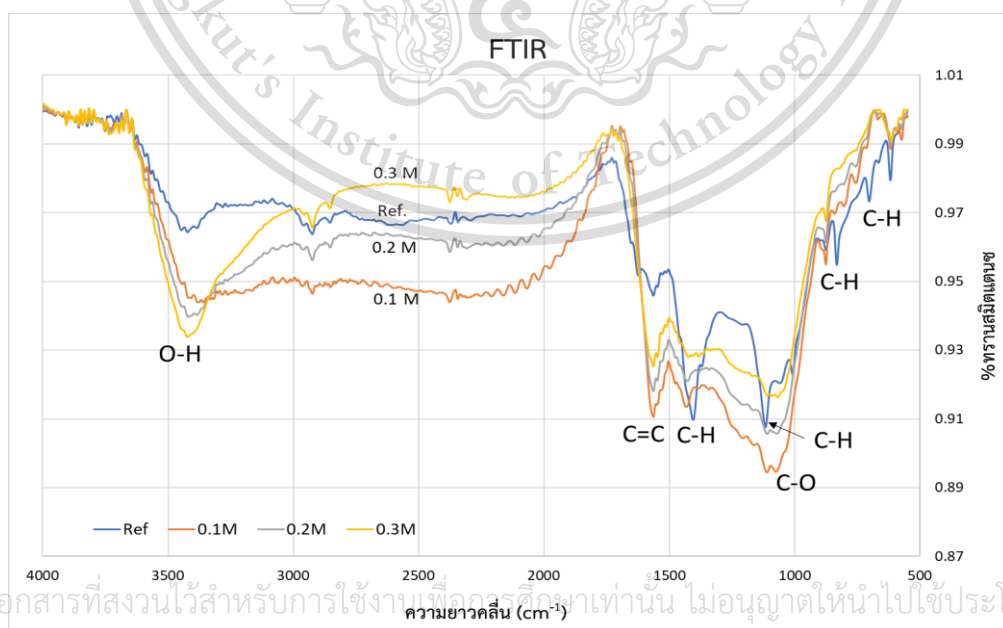
ตารางที่ 4-2 ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์	BET surface area (m ² /g)	Pore Volume (cm ³ /g)	Pore size (nm)
ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย 0.1 M KMnO ₄	0.0718	0.00034	4.9521
ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย 0.2 M KMnO ₄	2.6968	0.00259	3.8443
ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย 0.3 M KMnO ₄	4.0235	0.00498	2.7969

จากตารางที่ 4-2 จะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ผิวการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ จะมีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุด เนื่องจากเมื่อกระตุ้นไบโอชาร์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตยังช่วยเพิ่มปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบให้แก่ถ่านกัมมันต์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

ไบโอชาร์และถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมด้วยสภาวะต่างๆ จะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังรูปที่ 4-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-1 กราฟแสดง FTIR Spectra ของ ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4-1 จะพบว่ากราฟของไปโอชาร์ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น (Ref) และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ จะพบพีค[19]ของ C-H ที่ความยาวคลื่น 610, 780, 1,150 และ 1,465 cm^{-1} พีคของ C-O ที่ความยาวคลื่น 1,050 cm^{-1} พีคของ C=C ที่ความยาวคลื่น 1,640 cm^{-1} และพีคของ O-H ที่ความยาวคลื่น 3,400 cm^{-1} โดยถ่านกัมมันต์ไม่ผ่านการกระตุ้นจะไม่พบพีคของ C-O เนื่องจากไม่มีออกซิเจนจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอยู่บนพื้นผิว

4.4 การจำลองการดูดซับด้วยโปรแกรม Aspen Plus

ในการจำลองกระบวนการดูดซับเอทิลีน จะมีการป้อนโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, และ 0.3 โมลาร์ตามลำดับ ที่ด้านบนของหอ Absorber และมีการป้อนก๊าซเอทิลีน 1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล เข้าที่ด้านล่างของหอ Absorber โดยจะพบว่าเมื่อสาร 2 ชนิด เกิดการสัมผัสกันภายในหอ จะมีก๊าซเอทิลีนบางส่วนที่ติดมากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่สาย Liquid ที่ด้านล่างหอ โดยเมื่อคิดอัตราส่วนโดยโมลเทียบกับก๊าซเอทิลีนเข้าแล้วจะมีค่าดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
0.1 M	8.97×10^{-5}
0.2 M	8.99×10^{-5}
0.3 M	9.01×10^{-5}

จากตารางที่ 4-3 จะพบว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆมีค่าน้อยและใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆได้

4.5 การศึกษาแนวโน้มการดูดซับก๊าซเอทิลีนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Shan และคณะ [15] พบว่าถ่านทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต มีพื้นที่ผิวการดูดซับเพิ่มมากขึ้นโดยถ่านหนึ่งซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 1,025 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 1,080 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านต่ำลงเพิ่มขึ้นจาก 1,121 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 1,159 ตารางเมตรต่อกรัม และถ่านที่ได้จากกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 786.2 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 857.5 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนของถ่านถ่านหนึ่งซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 0.523 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 0.545 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ถ่านต่ำลงเพิ่มขึ้นจาก 0.649 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 0.680 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ถ่านที่ได้จากกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 0.405 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 0.415 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีการดูดซับก๊าซแอมโมเนียในถ่านหนึ่งซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 6 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 7 มิลลิลิตรต่อกรัม ถ่านต่ำลงเพิ่มขึ้นจาก 5 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 6 มิลลิลิตรต่อกรัม และถ่านที่ได้จากกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 8 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 9 มิลลิลิตรต่อกรัม โดยเมื่อถ่านกัมมันต์ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะเกิดอะตอมของออกซิเจนบนผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับก๊าซแอมโมเนียทำให้เกิดการดูดซับที่ถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากงานวิจัยของ Guojie Zhang และคณะ [16] พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน) คือถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ โดยพื้นที่ผิวการดูดซับเพิ่มจาก 472.40 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 499.31 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นจาก 0.4042 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม เป็น 0.4095 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม โดยมีความสามารถในการดูดซับมีเทน เพิ่มขึ้นจาก 27 เปอร์เซ็นต์ เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ โดยอะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับก๊าซมีเทน จึงทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

จากการรวบรวมงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับคือพื้นที่ผิวการดูดซับ และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ จากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนจะพบว่าผลจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวการดูดซับ และปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Shan และคณะ [15] รวมไปถึง Guojie Zhang และคณะ [16] ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลูกทุเรียนอ่อนโดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนโดยการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อใช้ในการดูดซับเอทิลีน โดยจะหาความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหมาะสมต่อการดูดซับเอทิลีน ซึ่งจะนำลูกทุเรียนอ่อนที่ผ่านการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มากระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, และ 0.3 โมลาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะพบว่าถ่านกัมมันต์จากลูกทุเรียนอ่อนที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ จะมีค่าเลขไอโอดีนมากที่สุดเท่ากับ 240.87 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมไปโอซาร์ และมีพื้นที่ผิวการดูดซับมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.0235 ตารางเมตรต่อกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้นั้นยังสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์อื่นๆเพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด เช่น การใช้เทคนิค Boehm titration ในการวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบทางเคมีบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพื่อระบุหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] S. Kajorncheappunngam, A Study of Activated Carbon Production from Rice Husk, Engineering. 29 (2002) 87–100.
- [2] T. Phothitontimongkol, P. U-rachuen, The Removal of Lead in Industrial Wastewater by Using Activated Carbon from Tamarind Wood via, Sci. Technol. (2017).
- [3] K. Sun, C. Leng, J. Jiang, Q. Bu, G. Lin, X. Lu, G. Zhu, Microporous activated carbons from coconut shells produced by self-activation using the pyrolysis gases produced from them , that have an excellent electric double layer performance, New Carbon Mater. 32 (2017) 451–459. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(17\)60134-3](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(17)60134-3).
- [4] R. Ngernyen, Yuvarat; Phiewruangnont, Werawit; Anachai, Preparation of Activated Carbons from Santol Peel and Chili Stem, FARM Eng. Autom. Technol. 4 (2018) 98–107.
- [5] สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, ทูเรียน ราชานแห่งผลไม้ไทย ถูกใจคนต่างแดน, (2020). http://www.tpsoc.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf.
- [6] T. Phothitontimongkol, Activated Carbon from Agricultural Residues by Chemical Activation for the Application of Pollutant Removal in Water, 8 (2017).
- [7] T. Phuangchik, Activated Carbon from Bamboo : Does the Market have a High Demand ?, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 945–954 (2558). <https://doi.org/10.14456/tstj.2015.49>.
- [8] W. Chansuvarn, Adsorption Efficiency of Lead (II) Ion from Aqueous Solution by using an Aerated Concrete as Adsorbent, (2014).
- [9] J. Katesa, EFFECTS OF CARBONIZATION TEMPERATURE ON PROPERTIES OF CHARS AND ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELL, (2013).
- [10] Potassium permanganate, กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.). (2013). https://mcs.mhesi.go.th/eServiceslinks/index.php?option=com_content&view=article&id=139:potassium-permanganate&catid=30&Itemid=175.
- [11] Orange Innovation, Ethylene Gas, (2021). <http://www.orangeth.com/GasArticles/เอทิลีน-คือ.html>.
- [12] Q. Shi, J. Zhang, C. Zhang, W. Nie, B. Zhang, H. Zhang, Adsorption of Basic Violet 14 in aqueous solutions using KMnO₄-modified activated carbon, J. Colloid Interface Sci. 343 (2010) 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.08.021>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีโอนอร์เป็นผู้อบรมไปจนจบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารตลอดทั้งการนำไปใช้

This research is not intended for commercial use.

- [13] N. chuan FENG, W. FAN, M. lin ZHU, X. yi GUO, Adsorption of Cd²⁺ in aqueous solutions using KMnO₄-modified activated carbon derived from Astragalus residue, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)* 28 (2018) 794–801.
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64712-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64712-0).
- [14] Y. Wang, X. Wang, X. Wang, M. Liu, L. Yang, Z. Wu, S. Xia, J. Zhao, Adsorption of Pb(II) in aqueous solutions by bamboo charcoal modified with KMnO₄ via microwave irradiation, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 414 (2012) 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.08.007>.
- [15] S. Xiao-mei, Z.H.U. Shu-quan, Z. Wen-hui, Effect of surface modification of activated carbon on its adsorption capacity for NH₃, *18* (2008) 261–265.
- [16] G. Zhang, Y. Sun, P. Zhao, Y. Xu, A. Su, J. Qu, Characteristics of activated carbon modified with alkaline KMnO₄ and its performance in catalytic reforming of greenhouse gases CO₂ / CH₄, *J. CO₂ Util.* 20 (2017) 129–140.
<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.05.013>.
- [17] ASTM, Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon 1, *ASTM Int.* 94 (2006) 1–5.
<http://compass.astm.org.acces.bibl.ulaval.ca/download/D4607.6656.pdf>.
- [18] U. Lüttge, FRUIT RESPIRATION AND ETHYLENE PRODUCTION, *Encycl. Ecol.* (2018) 549–557. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11130-3>.
- [19] Merck KGaA, IR Spectrum Table & Chart, (2021).
<https://www.sigmaaldrich.com/TH/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ก.1 การหาเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีนเพื่อหาเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

Concentration	Volume of Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)	Iodine Number (mg _{iodine} /g _{biochar})
Biochar	39	205.12
0.1 M	38	227.46
0.2 M	37.8	231.93
0.3 M	37.4	240.87

ก.2 การหาประสิทธิภาพการดูดซับ

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.1 โมลาร์

		ETHYLENE	KMNO ₄	LIQUID	GAS
Phase		Vapor	Liquid	Liquid	Vapor
Temperature	C	25	25	12.02294	24.74522
Pressure	bar	1.01325	1.01325	1.01325	1.01325
Mole Flows	kmol/hr	100	100	97.20743	102.7926
ETHYLENE	kmol/hr	1	0	8.72E-07	0.999999
KMNO ₄	kmol/hr	0	0.1831971	1.26E-117	0.183197
WATER	kmol/hr	0	99.816803	97.20741	2.609396
AIR	kmol/hr	99	0	1.88E-05	98.99998
Mole Fractions					
ETHYLENE		0.01	0	8.97E-09	0.009728
KMNO ₄		0	0.001832	1.29E-119	0.001782
WATER		0	0.998168	1	0.025384
AIR		0.99	0	1.93E-07	0.963105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.2 โมลาร์

		ETHYLENE	KMNO4	LIQUID	GAS
Phase		Vapor	Liquid	Liquid	Vapor
Temperature	C	25	25	12.08926	26.08729
Pressure	bar	1.01325	1.01325	1.01325	1.01E+00
Mole Flows	kmol/hr	100	100	96.78236	103.2176
ETHYLENE	kmol/hr	1	0	8.70E-07	0.999999
KMNO4	kmol/hr	0	0.3703794	4.56E-117	0.370379
WATER	kmol/hr	0	99.629621	96.78235	2.85E+00
AIR	kmol/hr	99	0	1.88E-05	98.99998
Mole Fractions					
ETHYLENE		0.01	0	8.99E-09	0.009688
KMNO4		0	0.0037038	4.71E-119	0.003588
WATER		0	0.9962962	1	0.027585
AIR		0.99	0	1.94E-07	0.959138

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการดูดซับของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.3 โมลาร์

		ETHYLENE	KMNO4	LIQUID	GAS
Phase		Vapor	Liquid	Liquid	Vapor
Temperature	C	25	25	12.14008	27.35133
Pressure	bar	1.01325	1.01325	1.01325	1.01325
Mole Flows	kmol/hr	100	100	96.34868	103.6513
ETHYLENE	kmol/hr	1	0	8.68E-07	0.999999
KMNO4	kmol/hr	0	0.5616813	1.13E-116	0.561681
WATER	kmol/hr	0	99.438319	96.34866	3.08966
AIR	kmol/hr	99	0	1.87E-05	98.99998
Mole Fractions					
ETHYLENE		0.01	0	9.01E-09	0.009648
KMNO4		0	0.0056168	1.17E-118	0.005419
WATER		0	0.9943832	1	0.029807
AIR		0.99	0	1.94E-07	0.955126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลการวิเคราะห์และการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

ข.1 การหาเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล สารละลายไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และน้ำแข็งสำหรับใช้เป็นอินดิเคเตอร์
2. นำไบโอชาร์หรือถ่านกัมมันต์มาบดให้ละเอียด แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม และใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่าแล้วทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที
4. ทำการกรองด้วยกระดาษกรองแล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายมาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
5. ไทเทรตสารละลายในขวดรูปชมพู่ ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์
6. ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เพื่อใช้ในการคำนวณเลขไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.