การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน

Production and Preparation of Activated Carbon from Waste Corncob for Adsorption Methane

รุจิรา ปิ่นแก้ว

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2556

รุจิรา ปิ่นแก้ว . 2556. ***การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน.***สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชเพชรบูรณ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิต และการเตรียม ถ่านกัมมันต์จาก ซังข้าวโพด โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของสารละลายตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการ กระตุ้นถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ตัวทำละลายอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เถ้า และความชื้น ค่าการดูดซับไอโอดีนค่าการดูดซับฟีนอลค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูและค่าการดูดซับมีเทน จากผลการทดลองพบว่าสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับไอโอดีน คือ0.5 M $ZnCl_2$ที่อุณหภูมิ 60 C° เวลา 60 นาทีสำหรับสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการดูดซับเมทิลลีนบลู คือ 50% H_3PO_4ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที มีค่าการ ดูดซับเมทิลลีนบลูสูงสุดในการศึกษาการ ดูดซับฟีนอล พบว่าการ กระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิ ห้อง เวลา 120 นาทีมีค่าการดูดซับสูง การวิเคราะห์การดูดซับมีเทน ของถ่าน กัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้นพบว่าเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ60 นาทีและสภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุดคือสภาวะการกระตุ้นด่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/gถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดและปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

RuchiraPinkaew. 2013. ***Production and Preparation of Activated Carbon from Waste Corncob for AdsorptionMethane*** . Research in Chemistry, Faculty of Science, PhetchabunRajabhat University.

ABSTRACT

In this work,productionand preparation of activated carbon from waste corncobwas activated with phosphoric acid (H_3PO_4), potassium hydroxide (KOH) and zinc chloride ($ZnCl_2$) in suitable condition, The ratio carbon weight to activation solution volume was 1:3 in each of experiment. The suitable condition in the activation was determined by varioussolvent, temperature and time in activation condition. Then the activated carbon properties suchas ash and moisture percent, iodine number, phenol adsorption, methylene blue adsorption and methane adsorptionwere determined. From the results it was found that the optimum activation condition was 0.5 M zinc chloride solution at 60 C° for 60 minutes. The study of methylene blue adsorption on the activated carbon which activated by 50% H_3PO_4solution at room temperature and activated time was 120 minutes, it showed highest adsorption capacity. For phenol adsorption studying, it showed that the activated carbon 0.1 M KOH solution at room temperature and activated time 120 minutesshowedhigh percent phenol adsorption.From the study of methaneadsorption on the activated carbon, it was found thatthe minimum time and absorb equilibrium by using 60 min and the optimum activation condition were0.1 M KOH solution at room temperature and activated time 120 minutes. Therefore, the adsorption capacity of methane was 0.21 mg/g andits adsorption capacity was nearly the same as the commercial activated carbon.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย เรื่องการผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ หลายฝ่าย ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนที่ปรากฏชื่อในบรรณานุกรมทุกท่าน และขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

รุจิรา ปิ่นแก้ว

วิไลพร ปองเพียร

25มีนาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญและที่มาปัญหาของงานวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
4. วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
5. ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1. คุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	3
2. ข้าวโพด (Corn)	4
3. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	6
4. การดูดซับ	25
5. หอดูดซับ	38
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	51
1. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	51
2. สถานที่ทำวิจัย	53
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	53
บทที่ 4 ผลการวิจัย	70
1. ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ	70
2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์	74
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	92
1. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	92
2. ข้อเสนอแนะ	92

บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก	97
ภาคผนวก ก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ มอก.900-2547	98
ภาคผนวก ข. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน	104
ภาคผนวก ค. รูปภาพงานวิจัย	106
ประวัตินักวิจัย	110

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและปริมาณความร้อน	3
ตารางที่ 2.2	ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี ค่าความร้อน	6
ตารางที่ 2.3	วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์	8
ตารางที่ 2.4	ค่าคงที่ r ที่ได้จากกราฟ Langmuir Adsorpton Isotherm	33
ตารางที่ 3.1	แสดงสารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง	51
ตารางที่ 3.2	แสดงเครื่องมือ และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง	52
ตารางที่ 3.3	แสดงสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ ที่อัตราส่วน 1:3 (ถ่านซังข้าวโพด:สารกระตุ้น)	55
ตารางที่ 4.1	ค่าร้อยละความชื้นและเถ้า ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก	71
ตารางที่ 4.2	ค่าร้อยละความชื้นและเถ้าของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	72
ตารางที่ 4.3	ค่าร้อยละความชื้นและเถ้า ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คอไรด์	73
ตารางที่ 4.4	แสดงตัวอย่างที่คัดเลือกมาทำการทดสอบการดูดซับ	74
ตารางที่ 4.5	ค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก	75
ตารางที่ 4.6	ค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	76
ตารางที่ 4.7	ค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	77
ตารางที่ 4.8	ค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านเกรดการค้า	78
ตารางที่ 4.9	แสดงค่ากราฟมาตรฐานเมทิลลีนบลู	80
ตารางที่ 4.10	ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก	81
ตารางที่ 4.11	ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	82
ตารางที่ 4.12	ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	83
ตารางที่ 4.12	ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า	84
ตารางที่ 4.14	ค่าการดูดกลืนของสารละลายมาตรฐานฟีนอล	85
ตารางที่ 4.15	ค่าการดูดซับฟีนอลของของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย กรดฟอสฟอริก	86
ตารางที่ 4.16	ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	88
ตารางที่ 4.17	ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	89
ตารางที่ 4.18	ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านเกรดการค้า	90

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้น	4
ภาพที่ 2.2 และฝักข้าวโพด	4
ภาพที่ 2.3 ลักษณะของซังข้าวโพด	5
ภาพที่ 2.4 ประเภทของถ่านกัมมันต์	10
ภาพที่ 2.5 แสดงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	11
ภาพที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมที่เผาของอุณหภูมิต่างๆ	13
ภาพที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี	15
ภาพที่ 2.8 แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เซลลูโลสกับฟอสฟอริก	17
ภาพที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ	18
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์	20
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลลีนบลู	23
ภาพที่ 2.12 แบบจำลองวัฏภาคดูดซับ	25
ภาพที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์	27
ภาพที่ 2.14 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับ (adsorption) ในขบวนการ Adsorption	27
ภาพที่ 2.15 แสดงไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด	29
ภาพที่ 2.16 Adsorption Isotherm แบบต่าง ๆ	31
ภาพที่ 2.17 ลักษณะของ hysteresis	31
ภาพที่ 2.18 กราฟแสดง Langmuir Adsorption Isotherm	33
ภาพที่ 2.19 กราฟแสดง Freundlich Adsorption Isotherm	34
ภาพที่ 2.20 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต	38
ภาพที่ 2.21 หอดูดซับแบบชั้นตรึงเพื่อแยกเอาซัลเฟอร์ออกจากก๊าซแอลพีจี	39
ภาพที่ 2.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับสัดส่วนความเข้มข้นของสาร	40
ภาพที่ 2.23 รูปของการกระจายความเข้มข้นตามระยะหอดูดซับ	42
ภาพที่ 3.1 แสดงถังแก๊สมีเทน พร้อมกับติดตั้งวาวล์ปรับความดันให้คงที่	52
ภาพที่ 3.2 ระบบทดสอบการดูดซับมีเทนของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์	53
ภาพที่ 3.3 เตาเผาถ่านซังข้าวโพด	54
ภาพที่ 4.1 ถ่านซังข้าวโพด	70

ภาพที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดและถ่านเกรดการค้า 78
ภาพที่ 4.3 แสดงการสแกนหาความยาวคลื่นของเมทิลลีนบลู 79
ภาพที่ 4.4 เป็นกราฟที่แสดงค่าการดูดกลืนของเมทิลลีนบลูในแต่ล่ะความเข้มข้นโดยวัดค่าการดูดกลืนที่ 620 nm 80
ภาพที่ 4.5 แสดงร้อยละของการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ในสภาวะ 84
ภาพที่ 4.6 การสแกนหาความยาวคลื่นของฟีนอล 85
ภาพที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนของฟีนอลแต่ล่ะความเข้มข้นโดยวัดค่าการดูดกลืนที่ 270 nm 86
ภาพที่ 4.8 แสดงร้อยละของการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ 90
ภาพที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ 91

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาปัญหาของงานวิจัย

ในจังหวัดเพชรบูรณ์มีการเพาะปลูกข้าวโพดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในแต่ละปี ในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวโพดจะพบนั้นเอง ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการลดปริมาณการเผาซังข้าวโพดในจังหวัดเพชรบูรณ์ และปรับมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาให้ให้เกิดประโยชน์ จึงมีแนวคิดในการนำซังข้าวโพดมาปัญหามากที่สุดคือหลังกระบวนการสีข้าวโพดเพื่อเอาเมล็ดออกไปแล้ว ที่เหลือคือแกน หรือซังข้าวโพด เกษตรกรส่วนใหญ่ก็จะทำลายทิ้งโดยการเผา ซึ่งการเผาทำลายนั้นเป็นสาเหตุหลักของปัญหา การเกิดหมอก ควัน และมลพิษทางอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสภาวะเรือนกระจกแปรรูปโดยการผลิตและเตรียมถ่านกัมมันต์ จากซังข้าวโพด

ถ่านกัมมันต์(Activate carbon)เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นโดยผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และทำการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีหรือทางกายภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ผิวของคาร์บอนเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง เกิดร่างแหรูพรุนภายในและร่างหมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวในแต่ละส่วน ทำให้ถ่านกัมมันต์มีลักษณะพิเศษ คือ มีพื้นที่สัมผัสผิวมาก ประมาณ 600-2000 ตารางเมตรต่อกรัม **จึง**มีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิดเช่นไม้ยางพาราไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่นแกลบกะลามะพร้าวขี้เลื่อย ซังข้าวโพดเป็นต้นถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆเช่นใช้ในการฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาลใช้กำจัดกลิ่นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเช่น เบียร์และไวน์ใช้ในการทำตัวละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์และอุตสาหกรรมการพิมพ์ใช้ในการดูดซับสีและกลิ่น ใช้ในการดูดแก๊สและไอใช้ในการทำน้ำประปาใช้ในเครื่องกรองน้ำ หรือเครื่องทำน้ำให้บริสุทธิ์ที่มีจำหน่ายอย่างแพร่หลายอยู่ในขณะนี้และใช้เป็นวัสดุทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษเป็นต้น ในปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตถ่านกัมมันต์มีการนำเสนอรูปแบบการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้นเช่นการทำผลิตภัณฑ์ฟอกอากาศจากถ่านกัมมันต์ ในรูปแบบที่สวยงามใช้ในรถยนต์ในตู้เย็นอีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เช่น การดูดซับก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบการดูดซับก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ หรือประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ดูดซับของเสียมีเทนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่แก๊สมีเทนที่ดูดซับได้จากถ่านกัมมันต์ยังสามารถนำไปพัฒนาหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์นั้นมีประโยชน์การใช้งานมากมาย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบ การตรวจสอบคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากซังข้าวโพด เพื่อศึกษาถึงสมบัติและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับที่เป็นวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตอีกด้วย

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) **เพื่อผลิตผงถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นทางเคมี**

2) ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี

3) เพื่อ**ศึกษาการดูดซับก๊าซมีเทนโดยเปรียบเทียบการใช้ตัวกระตุ้นที่แตกต่างกัน**เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตในระดับเกษตรและอุตสาหกรรม

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้รับการเผยแพร่ในวารสาร เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2)หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำเอาถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาใช้ในการ ดูดซับแก๊สมีเทน ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการการผลิตต่าง ๆ ในด้านอุตสาหกรรม เพื่อช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนในประเทศได้

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

แนวทางดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นหลัก ๆ 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ ถ่านกัมมันต์ คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ ซังข้าวโพด รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและการดูดซับสี

ขั้นตอนที่ 2เก็บรวบรวมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขั้นตอนที่ 3เผาซังข้าวโพดให้กลายเป็นถ่าน

ขั้นตอนที 4 นำถ่านที่เผาได้มากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และซิงค์คลอไรด์ พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ คือ การหาปริมาณร้อยละเถ้า การหาปริมาณร้อยละความชื้นและการดูดซับสี

ขั้นตอนที่ 5นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ โดยการประยุกต์ใช้ในการดูดซับ เพื่อช่วยดูดซับสารพิษและสิ่งสกปรกออกจากน้ำ

1.5. ขอบเขตของการวิจัย

1) **ด้านพื้นที่** คือพื้นที่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาและการใช้ประโยชน์

2) **ด้านเนื้อหา**

- ศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ คือ ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้นและการดูดซับ
- เพื่อผลิตและเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อการดูดซับแก๊สมีเทน
- เพื่อช่วยลดปัญหาการเกิดหมอกควันและมลพิษทางอากาศซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดโลกร้อน

3) **ด้านเวลา**

เดือนตุลาคม 2555 – เดือนกันยายน 2556

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1. คุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2.2. ข้าวโพด

2.3. ถ่านกัมมันต์

2.4. การดูดซับ

2.5 หอดูดซับ

2.6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ของเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดี และสามารถให้พลังงานความร้อน การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นการลดขยะทางการเกษตรผลิตเชื้อเพลิงสำเร็จรูปพร้อมใช้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นโครงการนำร่องการผลิตสำหรับชุมชน เพื่อการพึ่งพาตนเองในลักษณะเศรษฐกิจพอเพียงทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงในแง่การให้พลังงานและเป็นพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับประชาชนทั้งในเขตพื้นที่เมืองและชนบท

ตารางที่ 2.1วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและปริมาณความร้อน[Sundstrom, D.W. and Klei, H.B., 1979]

ชนิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	**ปริมาณความร้อน(kJ/kg)**
แกลบ	14,400
ขี้เลื่อย	10,880
ซังข้าวโพด	16,220
เหง้ามันสำปะหลัง	16,800

2.2ข้าวโพด(Corn) ที่มา : องค์กรการตลาดเพื่อเกษตรกร http://www.mof.or.th

ข้าวโพดเป็นธัญพืชสำคัญอย่างหนึ่งของโลกรองจากข้าว นิยมนำมารับประทานเป็นอาหาร นอกจากเป็นอาหารแล้ว เมล็ดและส่วนอื่นๆ เช่นลำต้น ใบ ซัง ก็ยังใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้หลายชนิด เมล็ด และผลผลิตจากเมล็ดข้าวโพด สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น ทำแอลกอฮอล์ แป้ง น้ำตาลชนิดต่างๆ กากที่เหลือก็สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้ ฝักใบและลำต้นสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระดาษอัด ปุ๋ย ฉนวนนำไฟฟ้า ประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวโพดมานานนับสิบปีมาแล้ว สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาค

ข้าวโพดส่วนที่เราเรียกว่าเมล็ด ที่จริงคือผลธัญพืช และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประเภทเมล็ดข้าวโพดมีสีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีขาว สีเหลือง หรือสีม่วง ประกอบไปด้วยแป้งที่มีโปรตีนผสมอยู่รากของต้นข้าวโพดเป็นระบบรากฝอยงอกออกมาจากเมล็ด ต้นข้าวโพดเป็นพรรณไม้จำพวกหญ้า ลำต้นนั้นอวบตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในมีลักษณะคล้ายฟองน้ำมีความสูงประมาณ 1.4 เมตรใบจะเป็นเส้นตรงปลายของมันแหลมยาวฝักข้าวโพดหุ้มด้วยกากบางหลายชั้น ฝักอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีนวล เราเรียกว่า เปลือก

ภาพที่ 2.1ลักษณะของต้น

ภาพที่ 2.2ฝักข้าวโพด

ที่มา: http://www.kasetporpeang.com

ซังข้าวโพด คือ ส่วนที่เหลือจากการกะเทาะเอาเมล็ดข้าวโพดออก หากมีปริมาณเยอะ เกษตรกรบางรายก็จะกำจัดโดยการเผา ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเร็ว แต่ผลเสียคือเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจำนวนไม่น้อย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน หรือเกิดภาวะเรือนกระจก ดังนั้นนักวิจัยและนักวิชาการจึงทำการศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ พบว่า ซังข้าวโพดให้ความร้อนได้เร็ว และมีค่าการนำความร้อนสูง เมื่อเทียบชีวมวล จึงมีการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยซังข้าวโพดสามารถนำมาเผาไหม้

โดยตรงในหม้อไอน้ำและถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้แก่น้ำในหม้อไอน้ำจนกลายเป็นไอน้ำที่ร้อนจัด และมีความดันสูงซึ่งไอน้ำนี้จะถูกนำไปปั่นกังหันที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้ได้กระแสไฟฟ้า นอกเหนือจากการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวแล้ว ในบางโรงงานอุตสาหกรรมก็จะใช้ประโยชน์จากไอน้ำไปในขั้นตอนการผลิตของโรงงานด้วยนอกจากนี้ถ้านำซังข้าวโพดมาตากแห้งแล้วเผาและบดผสมกับตัวประสาน เช่นแป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล ส่าเหล้า หรือน้ำข้าวเมื่อผสมแล้วใส่ลงในเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวซึ่งเป็นเครื่องอัดแบบสกรูลักษณะคล้ายน็อตเกลียวตัวใหญ่ แล้วจึงนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปผึ่งแดดให้แห้งจะได้ถ่านอัดแท่งนำไปใช้ทดแทนถ่านไม้ได้ส่วนเปลือกของข้าวโพดสามารถนำมาหมักให้เกิดแก๊สชีวภาพ โดยใช้ระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศซึ่งในกระบวนการนี้ แบคทีเรียจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนบางแห่งก็ใช้ก๊าซชีวภาพไปเผาในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำไปปั่นไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงาน

ซังข้าวโพดจึงเกิดประโยชน์และมูลค่ามากกว่าการเผาทิ้ง การนำซังข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันนิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิง ทำถ่านอัดแท่ง และมาทำผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบทั้ง ปุ๋ย กระดาษ จุกปิดฝา อาหารสัตว์เป็นต้น

ภาพที่ 2.3ลักษณะของซังข้าวโพด

ชื่อวิทยาศาสตร์:*Zea mays* Linn

ชื่อวงศ์: Leguminosae

ชื่อสามัญ : Corn

ชื่อพื้นเมือง :ซังข้าวโพด

ชนิดพืช [Plant Type]:พืชตระกูลเดียวกับหญ้า

ขนาด [Size] :2.2 เมตร

อัตราการเจริญเติบโต [Growth Rate]:มีการเติบโตค่อนข้างเร็ว

ตารางที่ 2.2ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี ค่าความร้อนของเศษซังข้าวโพดและซังข้าวโพด
ที่มา : คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน http:// www2.diw.go.th

ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหยได้ (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าความร้อน (cal/g)
เศษซังข้าวโพด	8.12	3.19	71.03	17.66	4,054.56
ซังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4,187.00

2.3. ถ่านกัมมันต์(activated carbon)ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/ถ่านกัมมันต์
ถ่านกัมมันต์คือวัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงเป็นการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูงซึ่งหากดูที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้งโดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87 – 90 % และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือไฮโดรเจนออกซิเจนซัลเฟอร์และไนโตรเจนโดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิตดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูงซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยจากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) แต่ถูกทำขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาโดยเครื่องเอ็กเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซเรย์ เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างกว่าถ่านชนิดอื่น ๆ เช่น ถ่านลิกไนต์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้หรือถ่านแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงอันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับสูง

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้เป็นรูพรุนหรือโครงสร้างภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20

อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูงและมีความสามารถในการดูดซับสูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ ดูดไว้ สมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจกระทำได้โดยการวิเคราะห์ ค่าการดูดซับไอโอดีน ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรด-ด่างอุณหภูมิและเวลาในการสัมผัส

2.3.1 วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือถ่านพีทถ่านหินถ่านลิกไนต์และไม้เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กสูงโดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่านมักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันอินทรียวัตถุ หรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial Char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Char) เช่นถ่านหินก็ได้ถ่านสังเคราะห์แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท

1. ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง (Hard Artificial Char)เช่นถ่านหินน้ำมันถ่านไม้ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันที่ความดันสูง

2. ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน (Soft Artificial Char)เช่นถ่านไม้ถ่านชานอ้อยถ่านแกลบถ่านกากน้ำตาล

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ปัจจุบันจึงได้มีการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมากแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูกแต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตถ่านกัมมันต์คือวัตถุดิบมีคุณสมบัติไม่คงที่แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนในการผลิต

ตารางที่ 2.3วัตถุดิบที่มีการศึกษาการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

อินทรีย์วัตถุ			อนินทรีย์วัตถุ
วัตถุดิบที่มาจากพืช	**ถ่านหิน**	**วัตถุดิบที่มาจากสัตว์**	
1. ชานอ้อย	1.ถ่านหิน	1.เลือด	1.ฝุ่นจากปล่องไฟ
(Bagasse)	(Coal)	(Blood)	(Flue Dust)
2.กากน้ำตาล	2.แกรไฟต์	2.กระดูก	2.เขม่า
(Beet -Sugar Sludge)	(Graphite)	(Bone)	(Lampblack)
3.เมล็ดพืช	3.ถ่านลิกไนต์	3.ปลา	3.กากโปแตสเซียเฟอ-
(Cereal)	(Lignite)	(Fish)	โรไซยาไนด์
4.กะลามะพร้าว	4.หินน้ำมัน	4.กากหนัง	(Potassium
(Coconut Shell)	(Oil Shale)	(Leather Waste)	ferrocyanide
5.เปลือกถั่ว	5.ถ่านพีท		Residue)
(Nut Shell)	(Peat)		4.เศษยาง
5.กากกาแฟ	6.ถ่านหินน้ำมัน		(Rubber Waste)
(Coffee Bean)	(Petroleum		5.กากกรดปิโตรเลียม
6.ซังข้าวโพ	Coke)		(Petroleum Acid
(Corncob)			Sludge)
7.เปลือกเมล็ดฝ้าย			6.ของเสียจากโรงงาน
(Cottonseed Hull)			เยื่อกระดาษ
8.เมล็ดแข็งของผลไม้			(Pulp-Mill Waste)
(Fruit Pit)			7.ของเสียจากโรงงาน
9.วัชพืชทะเล			กลั่นสุรา
(Kelp and Seaweed)			(Distillery Waste)
10.แกลบ			
(Rice Husk)			
11.ขี้เลื่อย			
(Sawdust)			
12.ไม้			
(Wood)			

2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์ แบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ คือ

1. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

1)การกระตุ้นทางเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่

2)การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ แก๊สออกซิไดส์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของผิวคาร์บอน

1) รูพรุนขนาดเล็ก (micropores) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2) รูพรุนขนาดกลาง (transitional or mesopores)คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15-100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3) รูพรุนขนาดใหญ่ (macropores)คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีหรือผลิตยา

3. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

1) ความหนาแน่นต่ำ(น้อยกว่า 0.35 กรัม/มิลลิลิตร) ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น

2) ความหนาแน่นสูง(มากกว่า 0.45 กรัม/มิลลิลิตร)ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊สพิษ หรือไอระเหยให้อัตราการดูดซับที่สูง

4. แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

1) ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) (ภาพที่ 2.4a) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมชไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงโดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15 –0.25 มิลลิเมตรเมตรนิยมใช้ในการดูดซับสารในสภาวะของเหลวเช่นการฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว

2) ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC)(ภาพที่ 2.4b)เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดหรือเป็นถ่านกัมมันต์แบบผงแล้วมาเติมตัวประสานทำให้เป็นเม็ดสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมชได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 และสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 เมชได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อทำให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้นและนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหยโดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

ก. Pellett activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับการอัดผ่านเครื่องอัดใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์และใช้ทำหน้ากากป้องกันแก๊สและ ไอพิษต่างๆ

ข. Granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์

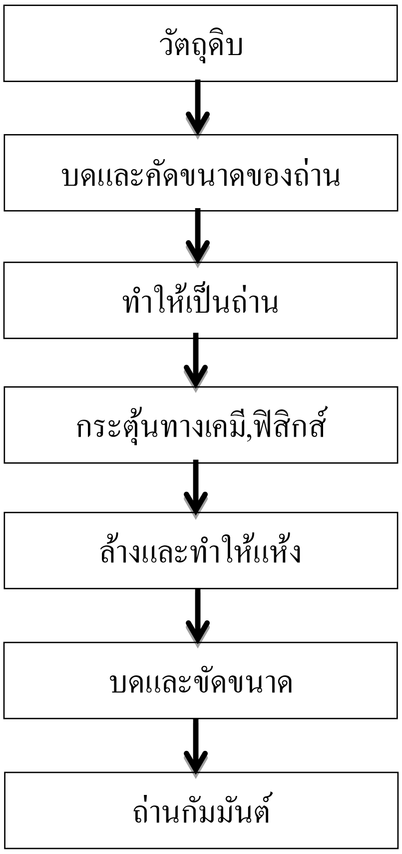
3)ถ่านกัมมันต์แบบเป็นแท่ง (Extruded) (ภาพที่ 2.4c)ใช้ในเบดนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดและแบบขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ภาพที่ 2.4ประเภทของถ่านกัมมันต์

ที่มา : http://www.neutron.rmutphysics.com.

2.3.3 การผลิตถ่านกัมมันต์(processing of activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการแต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นตอนการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอนหรือการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) และขั้นตอนการกระตุ้นหรือแอคติเวชัน (Activation) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



***ภาพที่* 2.5**แสดงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

1.ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Preparation)

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว แกลบ ซังอ้อย ไม้ไผ่ ถ่านหินและพีท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์ สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปทำให้เป็นถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง (Dehydration) แต่บางครั้งวัตถุดิบอาจจะมีของแข็งและเหนียวทำให้การบดวัตถุดิบโดยตรงทำได้ยาก จึงได้นำเอาวัตถุดิบนั้นไปทำให้เป็นถ่านก่อน แล้วจึงมาบดคัดขนาดต่อไปได้

2. ขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอไนซ์เซชัน (Carbonization)

กระบวนการคาร์บอไนเซชันเป็นการไพโรไลซีสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วยโดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านคาร์บอนส่วนกลุ่มโครงสร้าง

โมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้แก่น้ำแอมโมเนียน้ำมันทาร์และก๊าซต่างๆ

ขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่าน -กัมมันต์เนื่องจากในการคาร์บอไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุนโดยในระหว่างการคาร์บอไนเซชันธาตุและองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆเช่นไฮโดรเจนออกซิเจนไนโตรเจนและน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอนซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างผลึกโดยจะมีสารอนินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้นซึ่งในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย

ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอไนเซชันแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27- 197 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2การไพโรไลซีสโดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197 - 497 องศา-เซลเซียส

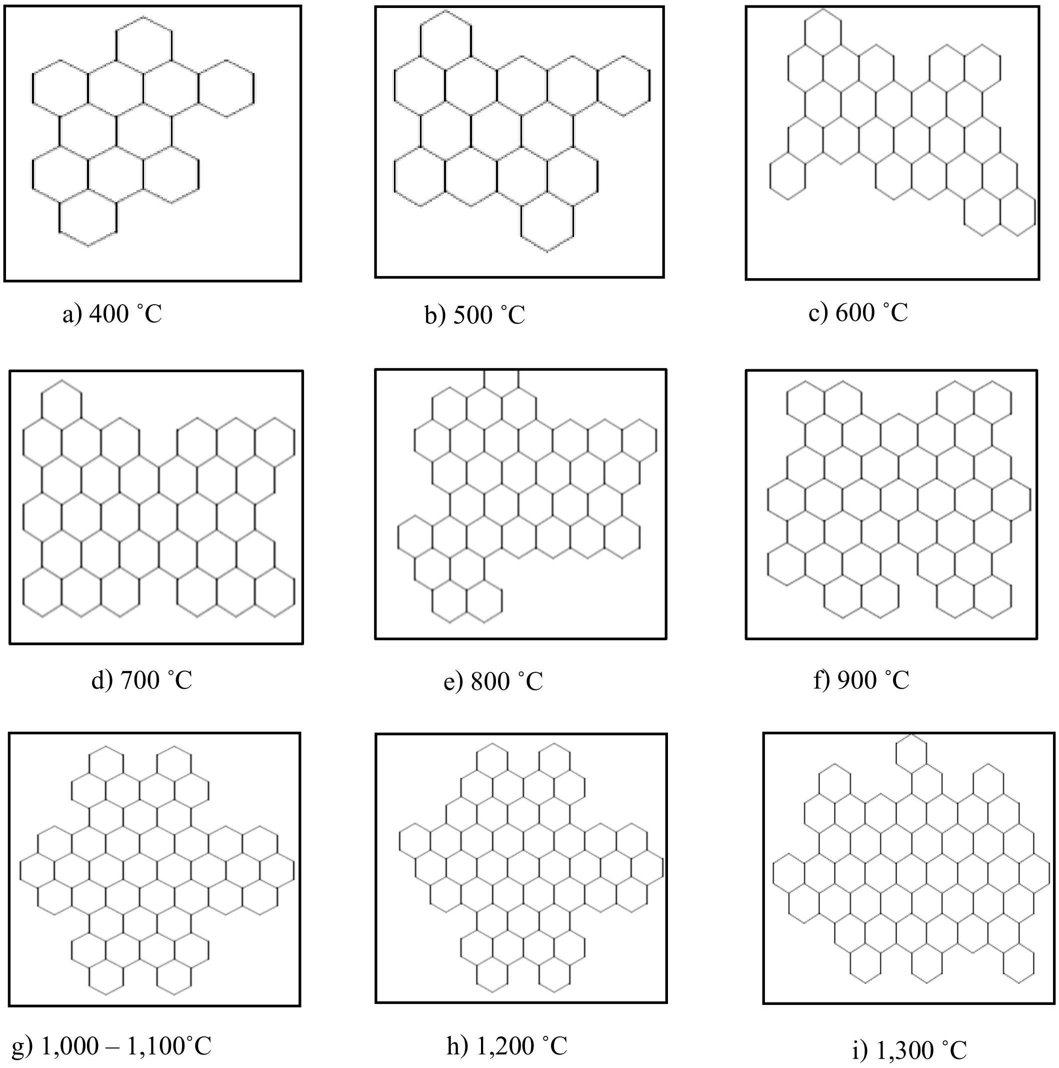
ขั้นตอนที่ 3การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอนโดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากที่ช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบ

ตัวแปรสำคัญในการคาร์บอไนเซชันได้แก่

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการเกิดถ่านคาร์บอนจะลดลงส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซที่ได้เพิ่มมากขึ้นและคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วยเพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6แสดงการเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมที่เผาของอุณหภูมิต่างๆ
ที่มา : Hassle, (1974)

2) อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหยการเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเพราะถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่ม

อุณหภูมิสูงคาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3) ตัวกลางของปฏิกิริยา(Medium of Reaction)

จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าก๊าซและไอที่เกิดระหว่างกระบวนการคาร์บอไนเซชันถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยก๊าซที่เป็นตัวกลางเช่นก๊าซไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซจากการเผาไหม้เป็นต้นถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจนแต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

4) ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสภาวะในการคาร์บอไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกันโดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

ถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีสีดำตลอด
2. เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา
3. ปลายที่หักจะแหลมคม
4. ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

ถ่านคาร์บอนที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอไนเซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับต่ำมากเพราะยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ภายในช่องว่าง (Pore) หรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องนำถ่านคาร์บอนไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

3. ขั้นตอนการกระตุ้น (activation)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นทั้งนี้อันเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวที่มีความว่องไวมากขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากหมายหลายวิธี แต่ประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย

วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

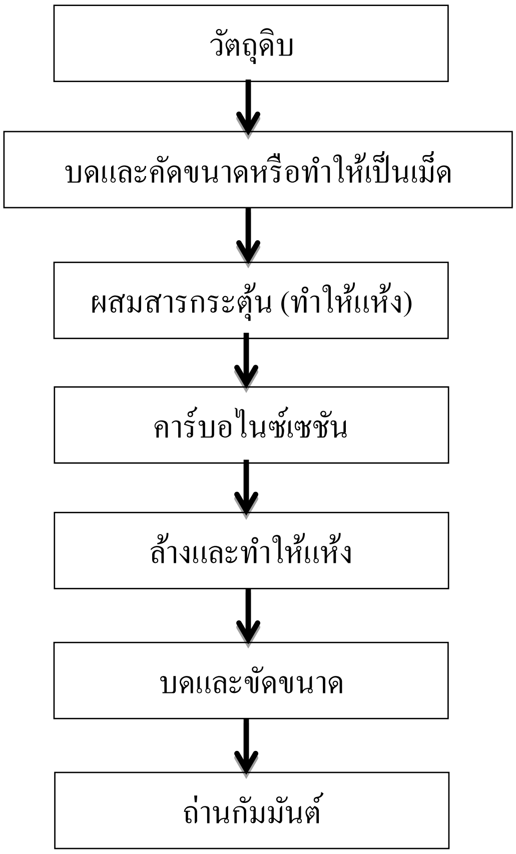
2.เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น

3.เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active Centers)

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกที่เกิดได้ 2 ประเภท คือ

1) วิธีการกระตุ้นทางเคมี (chemiscal activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น แสดงดังภาพที่ 2.7และข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก 400-600 ℃ แต่มีข้อเสีย คือ สารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น สารเคมีส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)



ภาพที่ 2.7แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

การกระตุ้นทำได้โดยการแช่วัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนในสารเคมีก่อนนำมาเผากระตุ้นวัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนจะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิว

วัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนเมื่อนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500 - 800 องศาเซลเซียสจะเกิดการสลายตัวของสารประกอบเหล่านี้และเปลี่ยนเป็นก๊าซระเหยออกไปทำให้เกิดรูพรุนขึ้นเป็นจำนวนมากการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพจึงเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่าและสารเคมีสามารถแทรกซึมลงไปยังผิวถ่านคาร์บอนได้อย่างทั่วถึงเกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์มากและลดขั้นตอนการผลิตได้มากตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีได้แก่

ก) การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรมโดยแช่วัตถุดิบในสารละลายซิงค์คลอไรด์ประมาณ 0.5-4 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วนอาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไปเล็กน้อยแล้วนำไปทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 – 800 องศาเซลเซียสจากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเพื่อกำจัดซิงค์คลอไรค์ที่เหลือและสารประกอบของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไปในทางอุตสาหกรรมสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกแต่ด้วยปัญหาการกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลงมาก

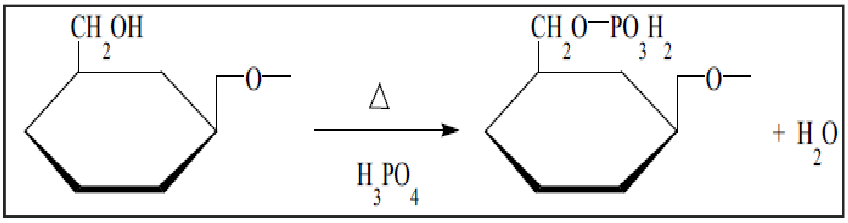
ข) การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3Po_4)

การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นคือประมาณ 400-600 องศาเซลเซียสตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ได้แก่การใช้ดินพรุหรือขี้เลื่อยโดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วนำไปเผากระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัสและไฮไดร์สารที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ค) การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (K, Na)

เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือโซเดียม (Kหรือ Na) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อนไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียสโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์น้ำและออกซิเจนจะหลุดออกไปทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำละลายสูงทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาของนักศึกษาหลายกลุ่ม พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวะมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดความเสถียรและองค์ประกอบของฟอสเฟตยังทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน



ภาพที่ 2.8แสดงปฏิกิริยาระหว่าง เซลลูโลสกับฟอสฟอริก
ที่มา : ณัฐยา พูนสุวรรณ(2545).

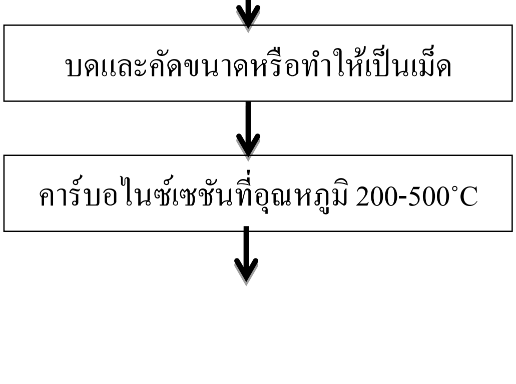
2) วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation)

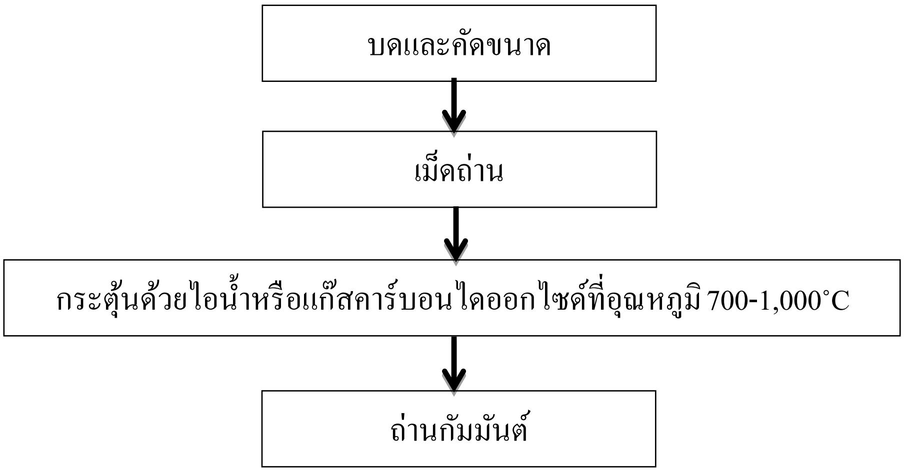
เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่น ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด (steam) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอันเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 °C แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ (Hassler, 1967)

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิของปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับการกระตุ้นด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี (700-1,200 °C) ขั้นตอนการกระตุ้นทางกายภาพ แสดงดังภาพที่ 2.9





ภาพที่ 2.9แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

จากการกระตุ้นพบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดีกว่าการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าการกระตุ้นด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว กระบวนการกระตุ้นคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวคาร์บอน เ *กิด*แก๊สซิฟิเคชั่น(Gas ification) บางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการทำให้เป็นถ่านประกอบด้วย รูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เกิดช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางโดยคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย

2.3.4. โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

1.ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกร์ไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซีนหรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือ แต่ละอะตอมก็มีพันธะเดี่ยวอีก 3 อะตอม ในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนในการเกิดพันธะนี้เป็นแบบซิกมาอิเล็กตรอน (*Sigma*electron) อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอน (pair electron) เพื่อทำให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น

2.รูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียองค์ประกอบคาร์บอนระหว่างช่องระหว่างผลึกของคาร์บอนรูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับการกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนไม่ใช่ขนาดของรูเมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันรูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและมีความลึกไม่สม่ำเสมอลักษณะรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอนบางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่งบางครั้งเป็นรูปตัววี

รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกตามได้ขนาดรัศมีของรูพรุนคือ

1)แมคโครพอร์ (Macropores)รัศมีของรูพรุนมากกว่า หรือเท่ากับ 100 - 200 นาโนเมตรปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 -0.8ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นดังนั้นแมคโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

2)เมโซพอร์ (Mesopores) หรือทรานซิชันนัลพอร์ (Transitionalpores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5 – 100 นาโนเมตรปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิว20-100 ตารางเมตรต่อกรัมตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ได้แก่ซิลิกาเจล (Silica Gels) อะลูมินาเจล (Alumina Gels)ตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต(Aminosilicate Catalyst)

3)ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตรปริมาตร 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัมบางครั้งถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัมไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption Energy) มากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า “การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้นตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์คือซีโอไลต์ (Zeolite)

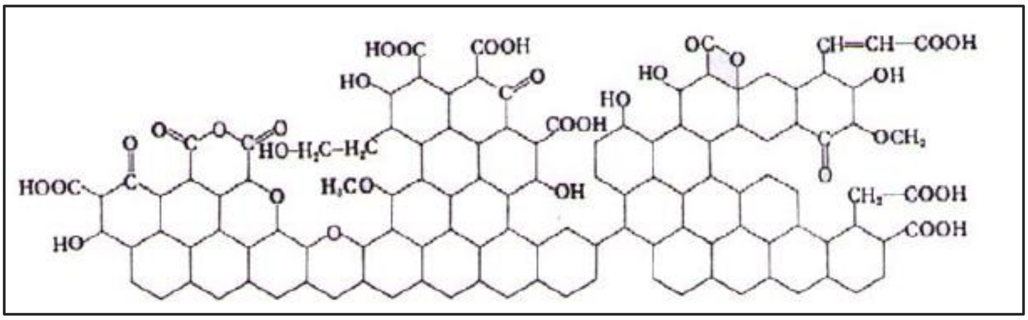
โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจัดกระจายโครงสร้างที่มีทั้งแมคโครพอร์เมโซพอร์และไมโครพอร์เรียกว่า “โครงสร้างผสม (Mixed Structure Type)” พบว่าแมคโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาคโดยมีเมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกที่หนึ่งโดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200 - 300 ตารางเมตรต่อกรัมสำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal Planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชัน -

นอลอื่นๆการดูดซับจะเกิดจากแรงวันเดอร์วาลส์หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอนแรงยึดหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อนแม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่ายแต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรงกว่าโอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

3.โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่นๆได้ เช่นอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนในกระบวนผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งในกระบวนการคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปการที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมีจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนอล (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันนอลที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆได้แก่หมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดเช่นหมู่ Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonnoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lactone และ Carboxylic Acid Anhydride

นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารละลายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายเปลี่ยนแปลงคือสามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากก็จะแสดงความเป็นกรดซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อยก็จะแสดงความเป็นเบสซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ



ภาพที่ 2.10โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์

ที่มา : Jankowska et al, 1991.

จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชัน อะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊ส อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่าง

หรือโพรงได้ ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาสลาย ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่าง ๆ ที่ได้จากการเผาสลาย ออกจากช่องว่างหรือโพรงที่จะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

2) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดซับ ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุลและส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

3) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย

4) ลักษณะของสารละลาย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น

5) ระยะเวลาในการดูดซับ

2.3.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งจากทางการเกษตร นิยมนำไปใช้กับอุตสาหกรรมอาหารหรือยา เป็นตัวกรองสารพิษในการทำหน้ากาก ใช้ในกระบวนการผลิตสารเคมีให้บริสุทธิ์ การใช้งานของถ่านกัมมันต์พบว่าใช้มากในระบบทำอากาศให้บริสุทธิ์ การทำตัวละลายให้บริสุทธิ์ และกระบวนการบำบัดน้ำ ในอุตสาหกรรมมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลาย หน้าที่ของถ่านกัมมันต์ในแต่ละอุตสาหกรรม จะแตกต่างกันไป เช่น

1.ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอ

1) ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ที่ใช้ในการทหารและใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

2) ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ

3) ใช้แยกเบนซีนออกจากแก๊สอุตสาหกรรม

4) ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะถูกดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่ำ

2.ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

1) ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น

2) ใช้ในอุตสหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย

3) แยกสิ่งเจือปนจากผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจลาติน น้ำส้ม เพกติน น้ำผลไม้

4) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติดีขึ้น

2.3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเลือกชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภทโดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์คุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความหนาแน่น (Density)

เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตรโดยปริมาตรในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์และปริมาตรของเนื้อถ่านกัมมันต์ดังนั้นค่านี้จึงขึ้นกับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำจะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากและยังพบว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรยังขึ้นอยู่กับความชื้นของอนุภาคด้วยคืออนุภาคที่มีค่าความชื้นสูงจะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง

2) พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area)

ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากสามารถทดสอบเปรียบเทียบได้กับถ่านกัมมันต์ทุกชนิดค่าพื้นที่ผิวที่มีในการรายงานคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซในการดูดซับใช้เครื่องทดสอบพื้นที่ผิวเป็นเครื่องวิเคราะห์โดยปกติถ่านกัมมันต์สามารถมีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 600 - 2,500 ตารางเมตรต่อกรัม

2. คุณสมบัติทางเคมี

1)กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ (Functional Group)

เป็นการทดสอบหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานเนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสภาวะในการกระตุ้นการนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงต้องคำนึงถึงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์เป็นสำคัญ

3. คุณสมบัติในการดูดซับ

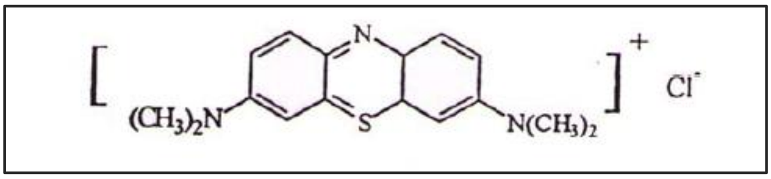
คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของของเหลวบนถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลวตัวอย่างของคุณสมบัติในการดูดซับคือ

1) การดูดซับไอโอดีน

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัมที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัลหรือความเข้มข้นที่เหลืออาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 นอร์มัลได้โดยให้อยู่ในช่วง 0.007 - 0.03 นอร์มัลโมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตร

2) การดูดซับเมทิลลีนบลู

ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลูซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์คือจะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตรเนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีโมเลกุลเท่ากับ 1.6 นาโนเมตร



ภาพที่ 2.11โครงสร้างทางเคมีของ**เมทิลลีนบลู**
ที่มา : Jankowska et al, 1991

4. คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

1) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้กโดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ได้ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950±25 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 7 นาทีค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวแก่ถ่านกัมมันต์

2) ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์นำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

3) ปริมาณเถ้า (Ash)

ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานานปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอนนอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟตคาร์บอเนตและสารประกอบอื่นๆของเหล็กอะลูมิเนียมแคลเซียมโซเดียมโปตัสเซียมแมกนีเซียมและโลหะอื่นๆซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

2.3.7 การปรับสภาพของถ่านดูดซับ (carbon regenerate)

เมื่อถ่านถูกใช้งานไปนาน ๆ รูพรุนของถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรกทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด จะต้องนำถ่านที่หมดประสิทธิภาพมาฟื้นฟูคุณภาพเพื่อที่จะกลับมาใช้ใหม่ โดยการนำไปกำจัดโมเลกุลสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่าน ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี โดยใช้สารอนินทรีย์เคมี ทำการออกซิไดซ์สิ่งสกปรก แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า วิธีที่ดีที่สุด คือ การนำถ่านกัมมันต์ไปเผาในเตาเผา เพื่อควบคุมสภาวะการเผาไหม้โมเลกุลของสิ่งสกปรกให้ระเหยออกมาและถูกเผาไหม้ ระบบการฟื้นฟูของถ่านกัมมันต์ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมตัวกันเป็นน้ำข้น ที่ถูกสูบเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ

2) ถ่านกัมมันต์จะถูกแยกออกจากน้ำแล้วจึงส่งเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 1,500-1,700 ฟาเรนไฮด์ ควบคุมการเผาไหม้ให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกในรูของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาสลายตัวไป

3) ถ่านกัมมันต์ที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็น โดยจุ่มลงในน้ำ

4) ถ่านที่เย็นแล้วถูกนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออก แล้วจึงสูบไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน

การฟื้นฟูคุณภาพของถ่านกัมมันต์จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,250 บีทียู ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณ 2-10 กรัม

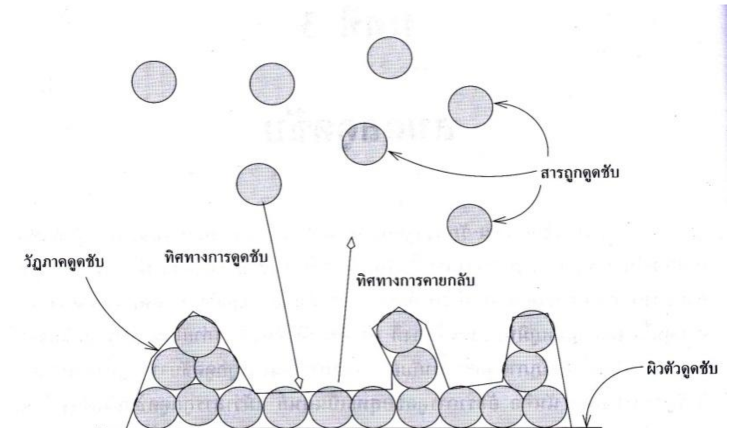
2.4การดูดซับ

2.4.1. ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสาร (mass transfer) มาสะสม (accumulation) ที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิวโดยให้สารละลายที่มีตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ไหลสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลายจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย (lyphobic, solventdisliking)และความชอบของตัวถูกละลายที่มีต่อตัวดูดซับ (specific affinity) แต่การดูดซับไม่รวมถึงขบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (surface precipitation process) หรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่น (polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายเกิดจากการดูดซับหรือการตกตะกอนที่พื้นผิวหรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่นหรือขบวนการอื่นๆที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้วโดยทั่วไปจะใช้คำว่าsorption [Danald, 1995]

2.4.2กลไกของกระบวนการดูดซับผิว(Adsorption Mechanism)

เป็นการกักพวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่อยู่ในของเหลวให้อยู่บนผิวของสารอีกชินหนึ่ง โดยสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กจะถูกดูดซับ การดูดซับที่ผิวนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ ของแข็ง โดยมีได้ทั้งแบบก๊าซ -ของแข็ง และของเหลว -ของแข็ง ในการดูดซับที่ผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากตัวทำละลายและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอก



ภาพที่ 2.12แบบจำลองวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase) ที่เกิดขึ้นบนผิวตัวดูดซับเท่านั้นเมื่อดูดซับสารถูกดูดซับเป็นไอหรือก๊าซ

การถ่ายเทโมเลกุลจากสารละลายไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในสารละลายเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับ

อยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับพิจารณาจาดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นการดูดซับทางกายภาพ แต่ถ้าเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ เป็นการดูดซับทางเคมี

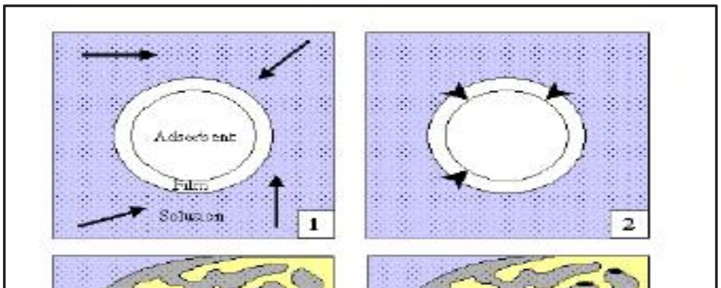
อธิบายขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์[McKay, 1983] [Sanuel, 1987]

(1) **ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (Bulk Solution Transport)**ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้ๆกับอนุภาคของตัวดูดซับ (Boundary Layer) การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ (Diffusion) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว

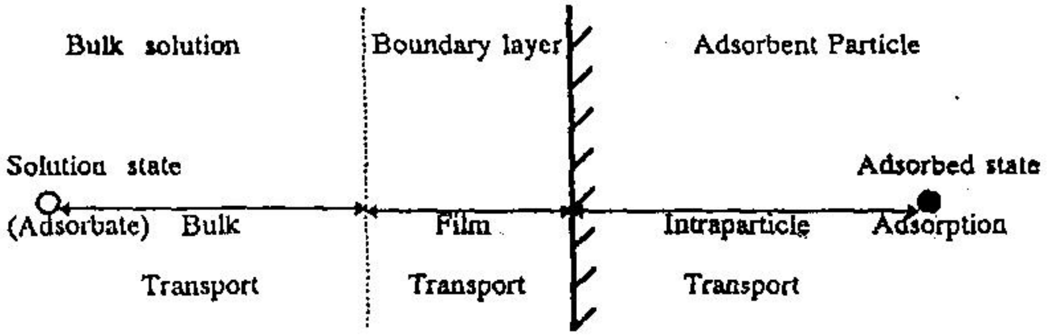
(2) ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของตัวดูดซับ (Film Diffusion)ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบางๆของสารละลายที่อยู่นิ่งที่อยู่รอบๆอนุภาคของตัวดูดซับโดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับหรือการปั่นป่วนของสารละลายโดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆจะลดลงเมื่ออัตราการไหลและความปั่นป่วนสูงขึ้น

(3) **ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในตัวดูดซับ (Pore Diffusion)** ภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆรอบอนุภาคของตัวดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้ (Intraparticle Transport) อาจจะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูพรุนในตัวดูดซับหรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ (Surface Diffusion)

(4) **ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption)** เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับ (Adsorption Bond)การสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับแบบกายภาพ (Physical Adsorption) ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยาในการกำจัดโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลายแต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี (Chemical Adsorption) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้าซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอนต่างๆที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ดังนั้นขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลาย



ภาพที่ 2.13แสดงขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์
ที่มา : https://www.alcoholpurification.com.



ภาพที่ 2.14ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับ (adsorption) ในขบวนการ Adsorption [McKay, 1983]

2.4.2 ทฤษฎีไอโซเทอม[Jankowska et al, 1991]

การวิเคราะห์สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสารเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของเหลวกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนเฟสของแข็งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะถูกเขียนเป็นกราฟไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ซึ่งอธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับระหว่างเฟสของเหลวและของแข็งโดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเข้าครอบครองทุกตำแหน่งที่เกิดการดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่งและจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับนั้นอ่อนลงแต่อาจยังคงสามารถดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อไปได้ก่อให้เกิดเป็นชั้นที่สองสามและสี่ต่อไปเรื่อยๆซึ่งในความเป็นจริงแล้ว

อาจจะมีการดูดซับชั้นที่สองก่อนที่ชั้นแรกจะเต็มและในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับต่อหลายชั้นซ้อนสูงขึ้นรูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ

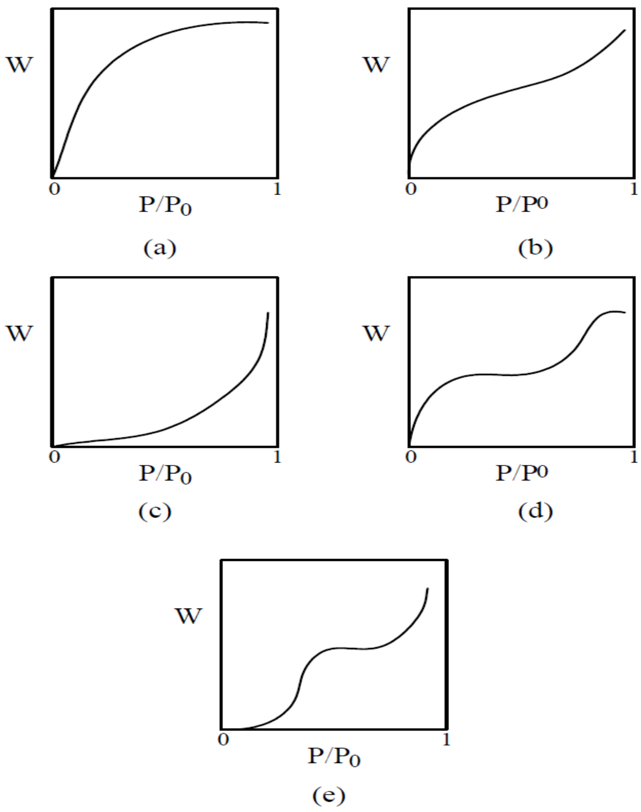
รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ

1) Type I Isotherm (ภาพที่ 2.15 a)บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบแลงเมียร์หรือแบบแอล (Langmuir or L-Shaped) เป็นการดูดซับของของแข็งที่มีลักษณะรูพรุนขนาดเล็กและการดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็กพื้นที่ผิวภายนอก (External Surface Area) จะต่ำที่ความดันย่อยต่ำก็จะสามารถดูดซับได้มากตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมแบบที่ 1 คือการดูดซับของไนโตรเจนบนถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 77 เคลวินการดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 273 เคลวินและการดูดซับบนซีโอไลต์

2) Type II Isotherm (ภาพที่ 2.15. b)บางครั้งอาจเรียกว่าไอโซเทอมที่มีรูปแบบแบบซิกมอยด์หรือแบบเอส (Sigmoid or S-Shaped) เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งอาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) จากไอโซเทอมตรงบริเวณจุดเปลี่ยนโค้งหรือจุด B (Break Through) จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) นั้นเสร็จสมบูรณ์จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไปและจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ

3) Type III Isotherm (ภาพที่ 2.15 c) การดูดซับคล้าย Type II แต่การดูดซับของชั้นแรกนั้นให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าความร้อนของการควบแน่นเป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดความร้อนของการดูดซับ (heat of adsorption) มีน้อยกว่าความร้อนของการจับตัวกันของตัวถูกดูดซับที่เป็นของเหลว (the adsorbate heat of liquefaction) ดังนั้นการดูดซับที่เพิ่มขึ้นเกิดเพราะตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากับชั้นของตัวถูกดูดซับมากกว่าเกิดปฏิกิริยากับผิวของตัวดูดซับType IV Isotherm (รูปที่ 2.5 d) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดบนตัวดูดซับที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 15-1,000 อัมสตรองการดูดซับคล้าย Type II สำหรับความหนาของชั้นโมเลกุลชั้นแรกๆแต่การดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวเนื่องจากรูพรุนแคปิลารีภายในตัวดูดซับเต็มหมดแล้วความชันที่เพิ่มขึ้นเมื่อ relative pressure เพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนได้มากขึ้นปรากฏการณ์ที่มีจุดเปลี่ยนของเส้นกราฟนี้เกิดเช่นเดียวกับใน Isotherm Type II คือเกือบเป็นmonolayer สมบูรณ์

4) Type V Isotherm (ภาพที่ 2.15 e) การดูดซับคล้าย Type III ในช่วงความเข้มข้นต่ำแต่การดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจะเข้าสู่ค่าสูงสุดหนึ่งเช่นเดียวกับ Type IV เป็นปรากฏการณ์การดูดซับที่เป็นผลจากแรงดึงดูดซับและตัวดูดซับมีค่าน้อยๆโดยขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 15-1,000 อัมสตรอง



ภาพที่ 2.15แสดงไอโซเทอมการดูดซับพื้นฐาน 5 ชนิด[Weber, W.J. Jr., 1972]
(W : Weight adsorbed ; P_0 : adsorbate equilibrium pressure ; P : adsorbate saturated equilibrium pressure ; P/P_0 relative pressure)

2.4.3 สมดุลและไอโซเทอมของการดูดซับ

การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินไปเรื่อย ๆ จะมีการคายซับเกิดขึ้นพร้อมๆกัน จนในที่สุดจำนวนสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับกับที่คายออกมาจะเท่ากัน ผลที่เกิดตามมาก็คือ อัตราการดูดซับและอัตราการคายซับจะเท่ากันหรือระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่าสมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับบนผิวของแข็งจะไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดสมดุลของการดูดซับหนึ่งๆ จะเป็นสมบัติของระบบนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวถูกละลาย สารดูดซับ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ และความเป็นกรดเป็นด่างของระบบ ปริมาณของการดูดซับที่สมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) เป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น [Sundstrom, D.W. and Klei, H.B., 1979]

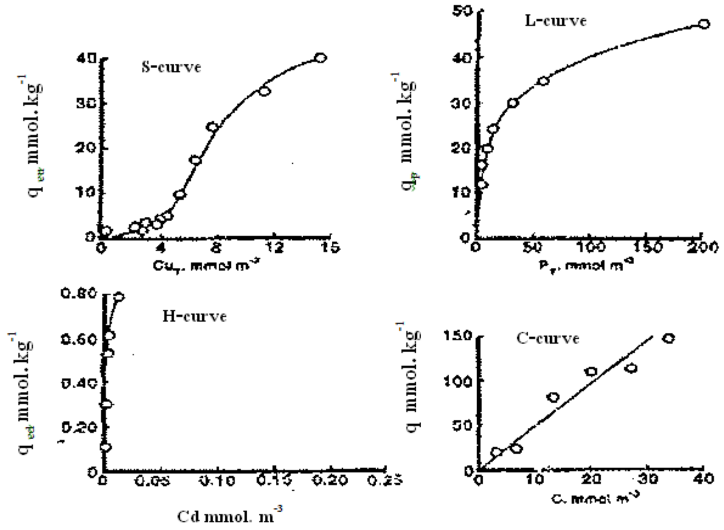
ไอโซเทอมของการดูดซับ คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (q_c) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล (C_c) ณ อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมของการดูดซับใช้บอกปริมาณของการดูดซับสารหรือไอออนบนผิวของสารดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง โดยทั่วไปการศึกษาการดูดซับในดินมักพบไอโซเทอมใน 4 ลักษณะ คือ S, L, H และ C ซึ่งสามารถจะจำแนกได้ด้วยลักษณะความโค้งของความชันของเส้นไอโซเทอมในช่วงต้น [Anderson, M.A. and Rubin, A.J., 1981]

1. S-curve Isothermความชันในช่วงเริ่มต้นจะต่ำ แล้วจะค่อยๆลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น แต่ในที่สุดก็จะลดลงและเป็นศูนย์เมื่อพื้นที่ว่างในการดูดซับของการดูดซับเต็ม ไอโซเทอมนี้ชี้ให้เห็นว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ พื้นที่ผิวของสารดูดซับจะมีแรงดึงดูด (Affinity) ต่อสารที่ถูกดูดซับต่ำแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น

2. L-curve (Langmuir) Isotherm ความชันในช่วงเริ่มต้นจะสูงมากแล้วจะค่อยๆลดลงเมื่อความเข้มข้นสูง พฤติกรรมการดูดซับเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า สารดูดซับมีแรงดึงดูดหรือความสามารถในการดูดซับสารหรือไอออนในสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำ และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ว่างในการดูดซับลดลง

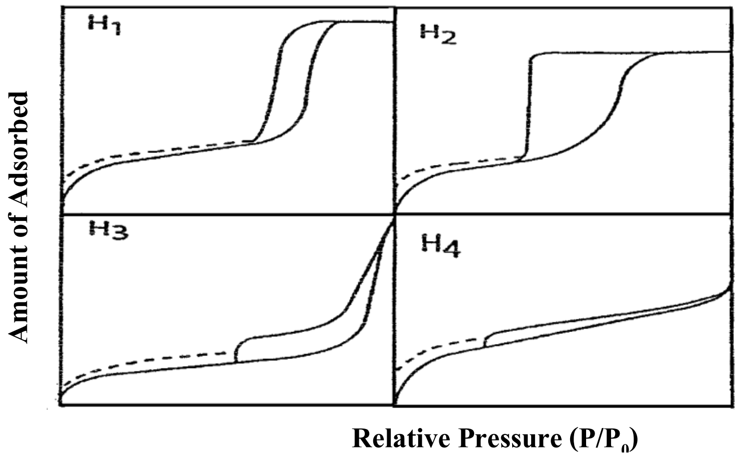
3. H-curve (High Affinity) Isotherm มีลักษณะความชันในช่วงเริ่มต้นจะสูงมาก ลักษณะดังกล่าวแสดงว่าสารดูดซับมีความสามารถในการดูดซับได้สูง ซึ่งอาจจะเกิด Inner-sphere Complexationหรือเกิดปฏิกิริยาด้วยแรงวานเดอร์วาลล์ขึ้นในกระบวนการดูดซับ

4. C-curve Isothermความชันของกราฟนี้จะไม่แปรผันความเข้มข้นของสารละลาย แสดงถึง Partitining Mechanism ซึ่งไอออนหรือโมเลกุลที่สามารถถูกดูดซับถูกทำให้แพร่กระจายหรือแยกออกระหว่างบริเวณใกล้ผิวของสารดูดซับกับสารละลาย โดยปราศจากพันธะจำเพาะใด ๆ ระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ



ภาพที่ 2.13 Adsorption Isotherm แบบต่าง ๆ [Davidson, J.H. and Mcmurry, P.H]

รูปแบบของไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายสมการด้วยกัน ซึ่งแล้วแต่ว่าจะนำเอาสมการแบบใดมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการดูดซับ แต่ที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายการดูดซับ คือสมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir's Adsorption Isotherm) และสมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิคซ์ (Freundlich's Adsorption Isotherm) สำหรับรูปแบบ hysteresis ของไอโซเทอมการดูดซับที่จำแนกโดย Tien (1994) [12] ซึ่งได้จำแนกลักษณะของ hysteresis ไว้ 4 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14ลักษณะของ hysteresis จำแนกโดย Tien 1994

Adsorption Isotherm การดูดซับ ที่ใช้อธิบายการดูดซับของสารที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ Langmuir Adsorpton Isotherm และ FreundlichAdsorpton Isotherm

1. Langmuir Adsorption Isotherm

Langmuir ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับและการคายซับจากผิวของของแข็ง เพื่ออธิบายการดูดซับเชิงปริมาณ (quantitative) ไว้ ซึ่งแบบจำลองของ Langmuir นั้นถูกพัฒนาสำหรับการอธิบายการดูดซับเชิงเคมี แต่ก็มีการประยุกต์ไว้สำหรับการดูดซับเชิงกายภาพด้วย เนื่องจากอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการดูดซับ ข้อมูลการดูดซับมักรายงานออกมาในรูปของไอโซเทอมการดูดซับตามแบบจำลองของ Langmuir ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Langmuir Adsorption Isotherm [10,12]

สมมติฐานที่สำคัญของแบบจำลอง Langmuir Adsorption Isotherm คือ

(1) ผิวของตัวดูดซับทุกจุดมีความสามารถในการดูดซับได้เท่าเทียมกัน ดังนั้นให้ถือว่าพื้นที่ผิวแต่ละจุดมีความสามารถในการเกาะติดผิวเท่ากันโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันการดูดซับเกิดขึ้นจากกลไกที่เหมือนกันและสารที่ถูกดูดซับมีโครงสร้างเหมือนกัน การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวบนผิวของแข็ง

จากสมมติฐานข้างต้น ทำให้เขียนสมการไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir ได้ดังสมการที่ .1

$$\frac{x}{m} = q = \frac{K_{ads}Q^{\circ}C_e}{1 + K_{ads}C_e} \tag{2.1}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับ

X คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

m คือ ปริมาณของสารดูดซับที่ใช้ (กรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

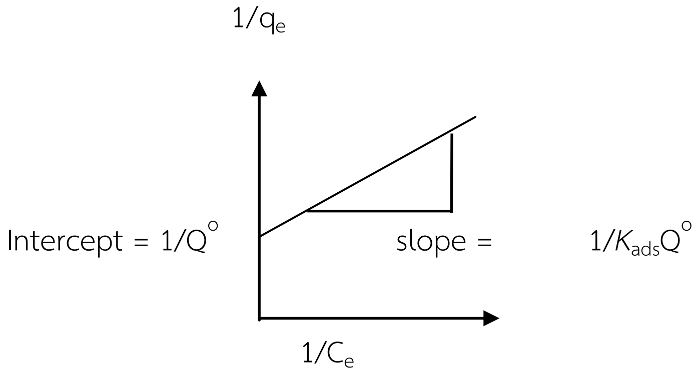
Q^{O} คือ ปริมาณสูงสุดของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K_{ads} คือ ค่าคงที่ในการกระจายตัวในการดูดซับ (Adsorption Distribution Constant)

จากสมการที่ (2.1) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{K_{ads}Q^{\circ}C_e} + \frac{1}{Q^{\circ}} \tag{2.2}$$

จากสมการที่ (2.2) เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่า $1/q_e$ และ $1/C_e$จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงภาพที่ 2.16ค่า Q^{o} และ K_{ads} สามารถคำนวณได้จากค่าความชันของกราฟ (slope) และจุดตัดแกน y (intercept) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/K_{ads}Q^{o}$ และ $1/Q^{o}$ตามลำดับ



ภาพที่ 2.16กราฟแสดง Langmuir Adsorption Isotherm

ลักษณะของกราฟ Langmuir Adsorpton Isotherm ที่ได้ สามารถบอกได้ว่าการดูดซับในการทดลองนี้ให้ผลดีหรือไม่ โดยพิจารณาค่าคงที่ของ Langmuir Adsorption Isotherm ที่คำนวณได้ โดยจะแสดงในรูปของการแยกตัว r (Dimensionless Constant Separation Factor) ซึ่งจะหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3และค่า r ที่ได้แสดงในตารางที่ 2.4

$$r = \frac{1}{(1 + K_{ads}C_0)} \qquad (2.3)$$

โดยที่ K_{ads} = ค่าคงที่ในการกระจายตัวในการดูดซับ (Adsorption Distribution Constant)

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 2.4ค่าคงที่ r ที่ได้จากกราฟ Langmuir Adsorpton Isotherm

Separation factor“r”	**การดูดซับ**
r > 1	การดูดซับไม่ดี
r = 1	การดูดซับคงที่
0 < r < 1	การดูดซับดี

2 Freundlich Adsorption Isotherm

สมการของ FreundlichAdsorpton Isotherm จะอธิบายการดูดซับบนสารดูดซับที่มีพื้นผิวของการดูดซับที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียว (Heterogeneous) ซึ่ง Freundlichได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ที่สมดุลของการดูดซับสมการของFreundlich Adsorption Isotherm แสดงได้ดังนี้

$$\frac{x}{m} = q = K_f C_e^{1/n} \qquad (2.4)$$

เมื่อ *K_f* = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ (Sorption Capacity)

1/n = ค่าคงที่ที่แสดงถึงพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยา (AdsorptionIntensity)

X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม)

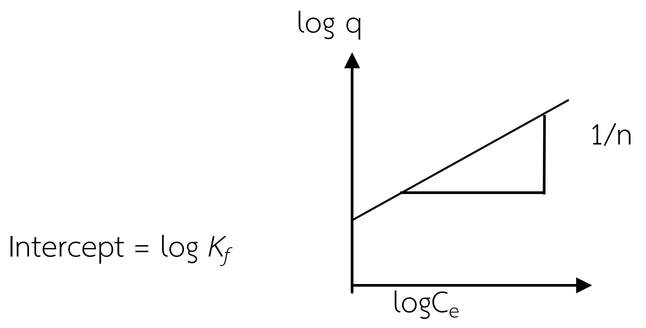
m = ปริมาณของสารดูดซับที่ถูกดูดซับ (กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากสมการที่ (2.4) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Logarithm ได้ดังนี้

$$\log q = \log K_f + (1/n) \log C_e \qquad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่า log qกับ logC_eจะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยค่าความชันของกราฟ (Slope) และจุดตัดแกน y (Intercept) มีค่าเท่ากับ 1/n และ log *K_f* ตามลำดับ



ภาพที่ 2.17กราฟแสดง Freundlich Adsorption Isotherm

2.4.4ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [Davidson, J.H. and Mcmurry, P.H.]

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง(pH) อุณหภูมิความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับขนาดของสารที่ถูกดูดซับ บนผิวของสารดูดซับความปั่นป่วน (Turbulence) โดยมีรายละเอียดดังนี้ [7,8]

1)ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับ คือ ขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับ มีอิทธิพลของอัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) นั่นคือสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2)ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_30^+) เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_30^+) มากกว่าที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่นั้น ก็ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย(pH_{sol}) และค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH_{zpc}) สามารถแสดงถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (H^+) ในสารละลายซึ่งความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายของระบบนั้นๆ ด้วย โดยที่ค่า pH_{sol} และ pH_{zpc}มีความสัมพันธ์กันคือในกรณีที่ค่า $pH_{sol} > pH_{zpc}$แสดงว่าวัสดุดูดซับนั้นจะเกิดการแตกตัวทำให้พื้นผิวของวัสดุดูดซับแสดงประจุลบมากกว่าประจุบวก มีผลทำให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลที่มีประจุบวกได้ ในทางตรงกันข้ามถ้ากรณีที่ค่า $pH_{sol} < pH_{zpc}$วัสดุดูดซับดังกล่าวจะไม่เกิดการแตกตัวและแลกเปลี่ยนไอออนบวก ทำให้วัสดุดูดซับนี้มีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลที่มีประจุลบได้

3)อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับอุณหภูมิขึ้นอยู่กับการดูดซับของวัสดุดูดซับเป็นประเภทใด แต่ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการดูดซับทางเคมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับได้มากขึ้น

4)ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อนแล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างบนนี้ไม่ได้เป็นจริงเสมอไปทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของสารดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า ความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

5)ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่นการดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์จะพบว่า ถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดฟอร์มิกกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวเทอริกได้มากขึ้น ตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลงจึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกเป็นรูพรุน

6)ความปั่นป่วน (Turbulence)

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film Diffusion) หรือการแพร่ผ่านรูพรุน(Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาตัวดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำ เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.4.5 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption Force)

ในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ (Physical Force) และแรงทางเคมี (Chemical Force) แรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงวานเดอร์วาลล์ (Van Der Waal’s Force) เช่น Partitioning แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) บริเวณผิวรอบนอกของสารประกอบ เช่น Ion Exchange ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจากการ

ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ในช่วงสั้นๆ รวมถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (Ligand Exchange) พันธะโควาเลนท์ (Covalent Bonding) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) [6]

1)แรงวานเดอร์วาลล์ (Van Der Waal's Force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระ หรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆ ได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้น การคายการดูดซับ (Desorption) จะกระทำได้ง่ายซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับได้ง่าย

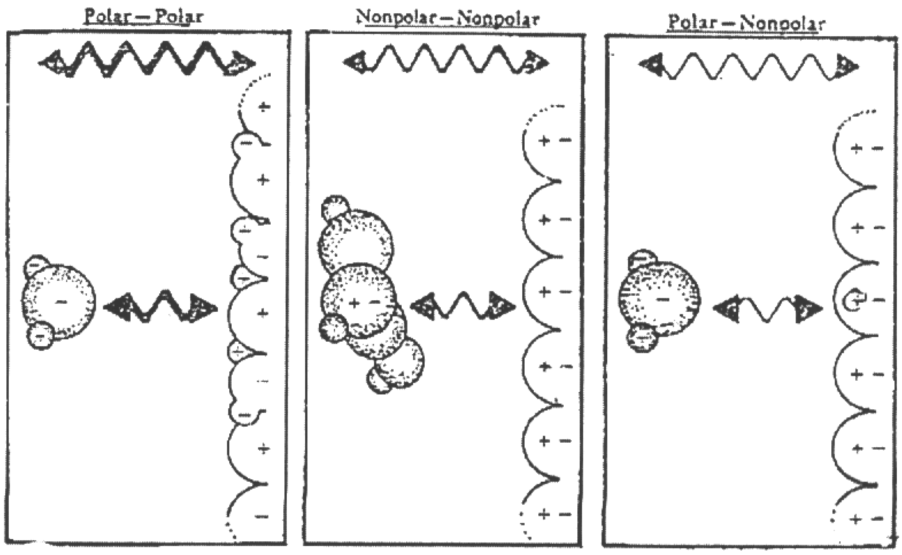
2)แรงไฟฟ้าสถิตย์(Electrostatic Force)

แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยซึ่งเกิด 3 อย่างที่สำคัญ ได้แก่ การจัดเรียงตัวขอโมเลกุล (Molecular Orientation), การแพร่ (Dispersion) และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction) ดังแสดงในภาพที่ 2.18

1. แรงดึงดูดที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว)เกิดจาก การจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ที่มีขั้ว 2 โมเลกุลคือขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่งทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

2. การกระจายตัวของอิเล็กตรอนอย่างสม่ำเสมอ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว) (non-polar molecule) เกิดจากผลของการกระจายตัว (dispersion effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามาก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อนเช่นอินทรียสารและถ่านกัมมันต์ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียสารส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่ขั้วและไม่มีขั้ว)เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาอยู่ใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 2.18การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์

3)แรงกระทำทางเคมี

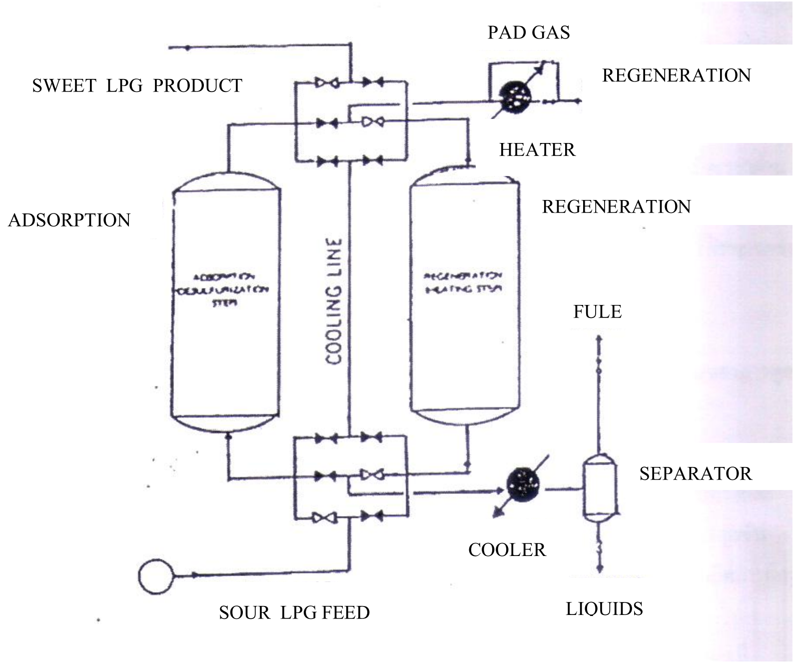
แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่างๆ เช่น คอลลอยด์ดินนั้นเนื่องมาจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชัน ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชัน (Functional Group) ที่ผิวของสารดูดซับได้ แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอน หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าแรงทางฟิสิกส์
2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี [6]

2.5 หอดูดซับ

ในยุคต้นๆของการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปรากฏการณ์การดูดซับ มักจะมีการตั้งคำถามพื้นฐานว่า สารที่ถูกดูดซับจะสะสมในสารดูดซับมากเท่าไหร่จึงจะเกิดการอิ่มตัว และในระยะเวลานานเท่าไรการดูดซับที่อิ่มตัวจึงจะเกิดขึ้น จากคำถามดังกล่าวทำให้เกิดการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้คำตอบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งาน การศึกษาวิจัยจะได้สภาวะของการเข้าสู่สมดุลการดูดซับและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มแรกของสารที่จะถูกดูดซับกับเวลาและระยะทางขณะที่ปรากฏการณ์การดูดซับดำเนินไป ต่อมาได้ศึกษาถึงภาชนะที่ใช้บรรจุตัวดูดซับซึ่งได้รับการออกแบบในลักษณะวัตถุทรงกระบอก เมื่อบรรจุตัวดูดซับและตรึงตัวดูดซับไว้กับที่ เรียกว่า การบรรจุตัวดูดซับชั้นตรึง (Fixed beds Adsorption Column) ได้พัฒนาขึ้นในภายหลังแต่เนื่องจากใช้งานเฉพาะจึงไม่เป็นที่แพร่หลาย

หอดูดซับแบบชั้นตรึง เป็นการบรรจุตัวดูดซับลงในหอดูดซับตามระยะความสูงของหอเพื่อให้เกิดการดูดซับในระยะที่ต่อเนื่องกันจากตำแหน่งที่สารดูดซับสัมผัสกับตัวดูดซับจนกระทั่งเหลือเฉพาะที่ไม่ถูกดูดซับเท่านั้นที่จะออกจากหอดูดซับไปในอีกด้านหนึ่งของหอ หอดูดซับแบบชั้นตรึงเป็นที่นิยมใช้ทั้งสภาวะการดูดซับแบบก๊าซและของเหลว ในอุตสาหกรรมหอดูดซับจะถูกประกอบเข้ากับอุปกรณ์ส่งเสริมการดูดซับ เช่น น้ำหล่อเย็น และอุปกรณ์ส่งเสริมการรีเจนเนอเรชั่นอื่นๆ เช่น ชุดทำความร้อนหรือถังก๊าซดังแสดงไว้ในภาพ 2.19

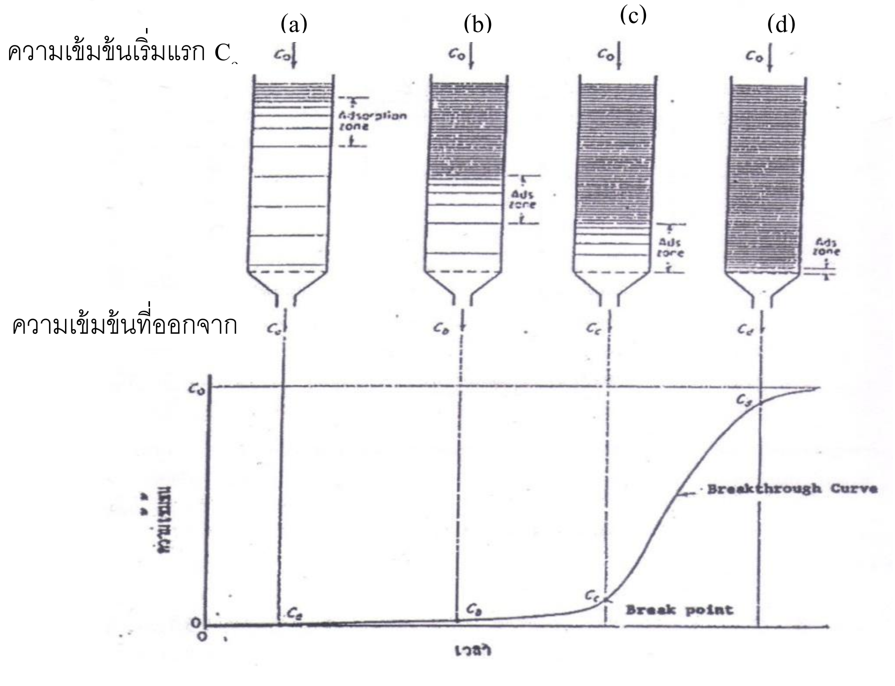


ภาพที่ 2.19หอดูดซับแบบชั้นตรึงเพื่อแยกเอาซัลเฟอร์ออกจากก๊าซแอลพีจี

2.5.1 เขตของการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer Zone)

ในทางอุตสาหกรรมจะสลับการปฏิบัติการดูดซับกับการฟื้นฟูประสิทธิภาพ (regeneration) ทีละหอเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสีที่ต้องการดูดซับเข้าสัมผัสกับตัวดูดซับแล้ว ตัวดูดซับบริเวณแรกสัมผัสเข้าสู่การอิ่มตัวของการดูดซับก่อน และจะแพร่ขยายบริเวณการดูดซับไปด้านข้างในแนวนอน และแนวดิ่งตามความสูงของหอดูดซับ ทำให้เป็นเขตของการอิ่มตัวของการดูดซับ เขตที่มีการอิ่มตัวของการดูดซับจะเป็นชั้นที่ไม่มีการดูดซับแล้ว ในขณะที่เขตต่อจากเขตที่มีการอิ่มตัวยังเกิดการดูดซับได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าอิ่มตัว เขตของการดูดซับได้ เรียกว่า เขตของการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer Zone) หรือเขต MTZ การเคลื่อนที่ของเขตของการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางการดูดซับจนกว่าจะสมดุล เขตของการถ่ายเทมวลสารสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการบรรจุตัวดูดซับหรือเวลาของผสมที่มีสารที่จะ

ถูกดูดซับผสมอยู่ผ่านหอดูดซับเทียบกับสัดส่วนความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับขณะนั้นๆ กับความเข้มข้นของสารดูดซับเริ่มต้นก่อนถูกดูดซับจากรูปที่ 2.20กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกว่า Breakthrough Curves จะพบว่าเขตของการอิ่มตัวจะอยู่เหนือเขตของการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะความสูงของหอดูดซับในกรณีที่ป้อนสารผสมทางด้านบนของหอดูดซับ จากกราฟในช่วงเริ่มป้อนสารผสมจะเกิดการดูดซับได้ดีทำให้ปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมาน้อยและจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปหรือระยะการดูดซับที่เปลี่ยนไป กราฟจะแสดงเป็นรูปตัวเอส (S) กราฟรูปตัว S จะคงที่เมื่อสารที่ถูกซับผ่านหอดูดซับและออกจากหอมาโดยไม่ผ่านการดูดซับเอาไว้เลย เพราะเขตของการดำเนินไปของเขตการถ่ายเทมวลสารอยู่กับปัจจัย 2 ประการดังต่อไปนี้ [4]



ภาพที่ 2.20กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับสัดส่วนความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับขณะเวลานั้นๆ กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเริ่มต้นก่อนถูกดูดซับ (Breakthrough Curve)

จลนพลศาสตร์ของสารที่ถูกดูดซับในการแพร่เข้าไปสัมผัสพื้นผิวในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งอัตราการแพร่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ

1) ชนิด ลักษณะรูปทรง การกระจายตัวของขนาดรูปทรงและขนาดของรูพรุนของสารดูดซับ สารดูดซับที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นการเกิดขึ้นเองและมีรูปแบบ ลักษณะรูปทรงและคุณสมบัติอื่นๆคงตัว ทำให้เกิดการดูดซับได้จำกัดชนิดของสารที่ถูกดูดซับ และปริมาตรการดูดซับ

ปัจจุบันสารดูดซับสามารถทำการสังเคราะห์ขึ้นมาให้ได้สมบัติตามต้องการ จึงทำให้เกิดการศึกษาถึงสมบัติในการดูดซับโดยศึกษาจากลักษณะรูปทรง และพื้นผิว เพื่อจะได้สังเคราะห์สารดูดซับตามต้องการ

2)ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับก่อนการดูดซับ สารดูดซับบางชนิดมีความสามารถในการดูดซับอย่างจำกัดที่ความเข้มข้นหนึ่งๆ ดังนั้นถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นมีปริมาณที่มากเกินไป อาจจะทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำสารดูดซับนั้นมาใช้ดูดซับ

3) สารปนเปื้อนที่ต่อต้านสารดูดซับ การสังเคราะห์สารดูดซับเป็นปฏิกริยาเคมี อาจเกิดสารพลอยได้ในปฏิกิริยา และสารพลอยได้ดังกล่าวอาจปะปนเป็นสารปนเปื้อน ซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากับสารที่จะถูกดูดซับได้ อันอาจจะทำให้สารดูดซับเปลี่ยนสมบัติการดูดซับไป

4) อัตราป้อนสารที่ถูกดูดซับ อัตราการป้อนสารที่ถูกดูดซับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถควบคุมได้ขณะทำการดูดซับ

สมบัติและสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ขณะเกิดการดูดซับ

1) อุณหภูมิ หากกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน ปริมาณความร้อนเนื่องจากการดูดซับจะถูกปล่อยออกมา ทำให้มีผลต่อการดูดซับโดยการดูดซับเกิดขึ้นน้อยลง

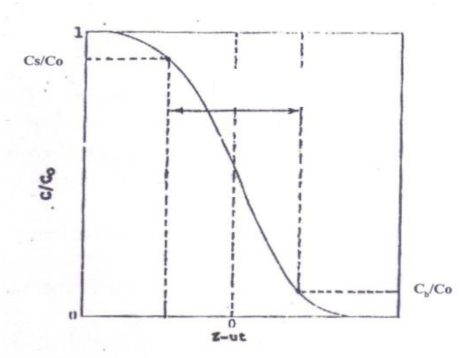
2) ความดัน การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันรวมของสารผสมมีผลให้ความดันย่อยของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น

2.5.2 กลไกพลศาสตร์ของการดูดซับภายในหอดูดซับ (Dynamic mechanism in adsorption column)

ภาวะการดูดซับในหอดูดซับที่แท้จริงเกิดขึ้นได้ด้วยปัจจัยที่ควบคุมหลายปัจจัย แต่ปัจจัยสำคัญคือ ตัวดูดซับ สารที่ถูกดูดซับ และสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยหรือต่อต้านการดูดซับ การดูดซับเกิดขึ้นได้ทันทีที่เกิดการสัมผัสของปัจจัยสำคัญข้างต้นได้อย่างเหมาะสมตั้งแต่การป้อนเข้าสู่หอดูดซับและดำเนินต่อจนออกจากหอไป [15] ซึ่งกลไกพลศาสตร์ของการดูดซับในหอดูดซับ ศึกษาจากเขตของการถ่ายเทมวลสารซึ่งเป็นเขตที่ดำเนินไปในขณะที่เขตอิ่มตัวในหอดูดซับดำเนินตามมาและปรากฏการณ์ทั้งหมดให้ข้อมูลการดำเนินไปของการดูดซับจะแสดงผลของการกระจายความเข้าขั้นตามระยะของหอดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 2.21

จากภาพที่ 2.20 จะพบว่าขณะที่เกิดการดำเนินการดูดซับไปตามระยะทางของหอดูดซับและเวลาที่ทำการดูดซับอยู่นั้น ระยะของเขตของการถ่ายเทมวลสารเป็นช่วงระยะหนึ่งของระยะหอดูดซับทั้งหมดโดยเริ่มพิจารณาจากความเข้มข้นที่ตำแหน่งนั้นเป็นค่า C_s ($C_s = 0.9C_o$) จนถึงความเข้มข้นที่ตำแหน่งค่า C_b ($C_b = 0.1C_o$) การดำเนินไปของเขตของการถ่ายเทมวลสารต่อเวลา สามารถ

หาได้จากการทดลองเก็บตัวอย่างของสารที่ผ่านออกจากหอดูดซับ หรือเก็บตัวอย่างขณะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งตามระยะของหอดูดซับ



ภาพที่ 2.20รูปของการกระจายความเข้มข้นตามระยะหอดูดซับ

2.5.3 Empty Bed Contact Time (EBCT)

พารามิเตอร์สำคัญในการออกแบบคอลัมน์คือระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินระบบ (Contact time) หรือ Empty Bed Contact Time (EBCT) และปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) และ (2.7) ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับที่ใช้กับระยะเวลาได้ [4]

EBCT = Bed Volume (cm^3) / Flow rate (cm^3/ min) (2.6)

Usage rate = W / V_b (2.7)

โดยที่ W คือ น้ำหนักตัวดูดซับใน คอลัมน์ และ V_b ปริมาตรน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์ที่ความเข้มข้นที่ตำแหน่งค่า C_b (C_b= 0.1C_0) เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Usage rate กับ EBCT แล้วจะได้ค่า EBCT ณ ตำแหน่ง Usage rate ต่ำที่สุดมาใช้ในการออกแบบคอลัมน์ที่จะนำไปใช้ต่อไป

2.6งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการผลิตถ่านกัมมันต์นิยมทำกันอย่างแพร่หลายโดยการนำวัสดุเหลือทิ้งมาเพิ่มมูลค่าเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมาได้แก่ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง ก้านทานตะวันผักตบชวา ไม้ยางพารา กะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อย กากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น ไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้ยางเหลือทิ้ง เป็นต้น โดยนำวัสดุเหล่านี้มาผ่าน กระบวนการคาร์บอไนซ์เผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และทำการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี เช่น โซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซิงค์คลอไรด์ กรด

ซัลฟิวริก กรอฟอสฟอริก เป็นต้น หรืออีกวิธีคือ กระตุ้นทางกายภาพ เช่น ใช้การกระตุ้นด้วยไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ดังนั้น งานวิจัยต่าง ๆ จึงมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลาในกระบวนการคาร์บอไนซ์ ค่าการดูดซับสารเคมี หรือแม้กระทั่งชนิดของสารที่ใช้ในการกระตุ้นถ่านให้เกิดรูพรุนเพิ่มขึ้น ให้เหมาะแก่การนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับซังข้าวโพดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการดูดซับสารอินทรีย์ต่าง ๆ แม้กระทั่งสารอนินทรีย์ หรือโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

พงศธร โคว้คชาภรณ์ (2537)ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดและศึกษาคุณสมบัติรวมทั้งการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ได้ วิธีการที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์คือวิธีการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบ ซิงค์คลอไรด์ ที่ใช้กระตุ้น คุณสมบัติของถ่านที่ทำการวิเคราะห์คือ ค่าไอโอดีน ค่าการฟอกสีเมธิลลีนบลู ความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต พื้นที่ผิวและมีการทดลองนำไปใช้ในการฟอกสีด้วย จากผลการทดลองพบว่าซังข้าวโพดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ปริมาณร้อยละของผลผลิตและคุณสมบัติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนของวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ ที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 3 ชั่วโมง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตคือ 62.82 ค่าไอโอดีนอยู่ในเกณฑ์ 800-900 มิลลิกรัม /กรัม ค่าการฟอกสีเมธิลลีนบลู 120-180 มิลลิกรัม/กรัม พื้นที่ผิว 1,000 ตารางเมตร/กรัม ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง สำหรับอุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าถ่านที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณร้อยละของผลผลิตต่ำกว่าที่ 400 องศาเซลเซียส การเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองเวลาพลังงานมากกว่าที่ 600 องศาเซลเซียส เมื่อกระตุ้นถ่านด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราส่วนวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:4 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีน 960-1,075 มิลลิกรัม/กรัม ค่าการฟอกสีเมธิลลีนบลู 230-300 มิลลิกรัม/กรัม พื้นที่ผิว 1,140-1,300 ตาราง-เมตร/กรัม ประสิทธิภาพการฟอกสีดีกว่าที่ 400 องศาเซลเซียส ปริมาตรร้อยละผลผลิต 52.41

สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง (2541) ได้ศึกษาการดูดซับไอของโทลูอีนและไซลีนบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมจากซังข้าวโพดโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี โดยการนำซังข้าวโพดมาทำการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟุริค กรดฟอสฟอริคและสารละลายซิงค์คลอไรด์ ผลที่ได้คือ การกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์จะได้ตัวดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดรองลงมาคือ กรดฟอสฟอริคและกรดซัลฟุริคตามลำดับ

ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเบนซีนโทลูอีน และออโธไซลีนโดยวิธีโครมาโตกราฟี ที่อุณหภูมิ 150-210 องศาเซลเซียสพบว่าค่าคงที่สมดุลการดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารรวมของไอเบนซีน โทลูอีนและออโธไซลีน ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับสำหรับตัวถูกดูดซับชนิดเดียวกันค่าคงที่สมดุล การดูดซับบนตัวดูดซับที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริคและสารละลายซิงค์คลอไรด์จะมีค่าสูงกว่า กรดซัลฟุริคอย่างน้อย 100 เท่า

อาสยา ปราชญาพร(2545)ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน มาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสทำการทดลองแบบคอลัมน์โดยใช้สีรีแอกทีฟรีมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) รีมาโซลบริลเลียนท์เรด 3 บีเอส (Remazol Brilliant Red 3BS) รีมาโซล บริลเลียนท์บลูอาร์(Remazol Brilliant Blue R) และสีไพเรกท์เบสท์ ไดเรกท์แบล็ค บี (Best DirectBlack B) ไซเรียสรูไบน์เคแซทบีแอล (Sirius Rubine KZBL) ไซเรียสบลูเคซีเอฟเอ็น(Sirius Blue KCFN) ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีอัตราการไหลของสารละลายสี 10 มิลลิลิตรต่อนาทีจากการทดลองพบว่าควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟได้ดีกว่าสีไดเรกท์โดยเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 90 แล้วควอเทอร์ไนซ์ครอสลิงค์เซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลืองและก้านทานตะวันมีความสามารถรองรับสีเฉลี่ย 241.39 217.42 และ266.02 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ (เฉลี่ยทุกวัสดุเท่ากับ 243.36 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ)สำหรับสีรีแอกทีฟ และ 63.37 153.73 และ 37.81 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุสำหรับสีไดเรกท์ (เฉลี่ยทุกวัสดุเท่ากับ 84.95 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุ) มีการถูกชะล้างได้หลังการกำจัดสีคิดเป็นความเข้มข้นเฉลี่ย 6.93 5.90 และ 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (17.59 16.04และ 3.83 SU) ตามลำดับโดยค่าความสามารถรองรับสีสูงที่สุดคือ 314.57 มิลลิกรัมสีต่อกรัมวัสดุในการกำจัดสีรีมาโซล บริลเลียนท์บลูอาร์

นิธิรัชต์ สงวนเดือน (2545) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ชนิดไม่ปรับสภาพ ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 5% และปรับสภาพด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 37% ความเข้มข้นของโลหะหนัก (นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี) ที่ทำการศึกษาได้แก่ 5 10 20 และ 50 มก./ล. โดยทำการทดลองแบบแบตซ์จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด

โลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากเปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักมากที่สุดรองลงมาคือก้านดอกทานตะวัน และซังข้าวโพด ตามลำดับผลของการปรับสภาพทางเคมีไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักเพิ่มมาขึ้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำการศึกษาสามารถกำจัดทองแดงได้มากกว่า สังกะสี และนิกเกิลตามลำดับ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักในน้ำเสีย 5 มก./ล. โดยเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจะลดลง

Narges and jalal(2011) ศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ได้จากซังข้าวโพดและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้ตัวแปรที่เหมาะสม เนื่องจากซังข้าวโพดเป็นวัสดุที่สามารถเริ่มต้นในการผลิตคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดเล็กได้เป็นอย่างดี สำหรับการจัดเก็บก๊าซธรรมชาติ ตัวอย่างพื้นผิวที่มีความแตกต่างกันได้คัดเลือกในการทดลองการดูดซับก๊าซมีเทน มีเทนจะถูกดูดซับตามขนาดรูพรุนบนซังข้าวโพดที่ได้ศึกษาจาก 4 แรงดันที่แตกต่างกันคือ 500, 1000, 1500 และ 2000 psi และสองอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 25 องศา-เซลเซียสและ 50 องศาเซลเซียส ในอุปกรณ์วัดปริมาตรการดูดซับ ปริมาณการดูดก๊าซมีเทนตามที่ระบุผลมีความสามารถการดูดซับก๊าซมีเทนของถ่านเพิ่มมากขึ้น และแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการดูดซับก๊าซมีเทน จะขึ้นอยู่กับแรงดันและอุณหภูมิ ก๊าซมีเทนที่มีความสามารถสูงสุดพบว่าอยู่ที่ 160 (v / v) ที่ 298 K และ 1500 psi การใช้งาน ได้แก่ การใช้ในการขนส่งของก๊าซธรรมชาติ ยานพาหนะที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ และการดูดซับก๊าซจากหลุมฝังกลบ

Bagheriและ Abediได้ศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดย KOH เป็นตัวกระตุ้นภายใต้ตัวแปรที่ดีที่สุด โดยประโยชน์จากซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นที่ดีในการผลิตคาร์บอน nanoporousสำหรับการจัดเก็บก๊าซธรรมชาติ โดยทำการทดลองการดูดซับก๊าซมีเทน โดยใช้ความดันที่แตกต่างกัน (500, 1000, 1500 และ 2000 psi)และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน(298 Kและ323 K) พบว่าได้ค่าความจุก๊าซมีเทนสูงสุด 160(v / v) ที่ 298Kและ 1500psi

นอกจากนี้ก็ยังมีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เช่น

ภาณุวัตร์ จิตพุทธิ (2543) ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ทำจากกะลามะพร้าวงานวิจัยกำจัดโลหะโครเมียม โดยศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นเริ่มต้น และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโครเมียมที่มีต่อประสิทธิภาพการ กำจัดโครเมียม ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมขึ้นอยู่กับสัดส่วน ระหว่างถ่านกัมมันต์และโครเมียมเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เริ่มต้นของสารละลายโครเมียม ที่เหมาะสมคือ 2.5 เมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้น ความสามารถของ ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะโครเมียมจะลดลง

จากนั้น พลัฏฐ์โสภณากิจโกศล (2544) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยกระตุ้น ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อน จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ถ่านกัมมันต์คือ การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 ^{0}Cเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในสภาวะ อับอากาศและการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1,050 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะเท่ากับ 975 ตารางเมตรต่อกรัม และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโครเมียม (VI) พบว่าถ่าน กัมมันต์สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้ดีที่สุด เมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าความเป็นกรด ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 กล่าวคือ ถ่านกัมมันต์ซึ่งทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 ^{0}C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับร้อยละ 69.80 ในขณะที่ ถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/40 สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เพียงร้อยละ 56.96 เท่านั้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันจากโครเมียม (VI) เป็นโครเมียม (III) ในระหว่างกระบวนการดูดซับน้อย กว่าถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/40

สราวุธ ศรีคุณ (2550) ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนด้วยกระบวนการคาร์บอไนเซชันสองแบบคือกระบวนการคาร์บอ- ไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้ความดันสูญญากาศและทำการกระตุ้นต่อด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งศึกษาผลของการบำบัดถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมีผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันภายใต้ความดันสูญญากาศมีพื้นที่ผิวจำเพาะปริมาตรรูพรุนประสิทธิภาพในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอไน - เซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนการบำบัดถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตรจะทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะปริมาตรรูพรุนประสิทธิภาพการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 แบบดีขึ้นถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียนและบำบัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตรสามารถดูดซับสีเบสิกกรีน 4 (Basic Green 4) ได้มากกว่าสีแอสิดบลู 113 (Acid Blue 113) และสีไดเร็คท์บลู 80 (Direct Blue 80) พบว่าไอโซเทอมการดูดซับสีเบสิกกรีน 4 และไอออนโลหะตะกั่ว (Pb) สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกกรีน 4 และไอออนโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเท่ากับ 312.50 และ 7.97 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับส่วนประสิทธิภาพ

การดูดซับสีย้อมเบสิกกรีน 4 และไอออนโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอไนเซชันภายใต้ความดันสุญญากาศเท่ากับ 312.50 และ 8.43 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับจลนพลศาสตร์การดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองแบบสอดคล้องกับสมการจลนพลศาสตร์อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (Pseudo Second Order)

สุพัฒน์เพ็งพันธ์ (2551) ทำการทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวได้ใช้แบคทีเรีย *E. coli* และถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยเตรียมคอลัมน์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์ไว้ภายในน้ำหนักปริมาตร 100 กรัมจากนั้นทำการทดสอบด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันโดยกำหนดปัจจัยที่ทำการทดสอบออกเป็น 3 ปัจจัยได้แก่ความเร็วน้ำที่ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ค่าความเป็นกรด -ด่าง (pH) และค่าความแรงไอออนจากนั้นทำการเลือกค่าที่เหมาะสมโดยทำการทดลองกับแต่ละปัจจัยแล้วทำการเลือกค่าที่เหมาะสมออกมาแบ่งเป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่มีความสามารถในการดูดซับแบคทีเรีย *E. coli* ได้ดีที่สุดจากการคำนวณผลโดยใช้สถิติ 2^K แฟกทอเรียลพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ*E. coli* ได้แก่ความเร็วน้ำที่ไหลผ่านถ่านกัมมันต์ที่ 45 มิลิลิตรต่อนาทีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และค่าความแรงไอออน 0.1 โมลจะทำให้การดูดซับ *E. coli* บนถ่านกัมมันต์เกิดได้ดีที่สุดในระหว่างชุดการทดลองต่างๆที่ได้ทำการทดลอง

Farzadและคณะ (2551) ได้ศึกษาการดูดซับและการคายออกของก๊าซมีเทนโดยใช้อุณหภูมิคงที่และเปลี่ยนแปลงความดัน อีกทั้งยังศึกษาผลของความชื้นต่อความจุของการดูดซับ ผลที่ได้พบว่าความชื้นมีผลต่อการลดลงของการดูดซับและการคายของก๊าซมีเทน

ภควดีสุขอนันต์ (2553) ศึกษาสมบัติเกี่ยวกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด (1 ขั้น) และเตรียมจากถ่านเปลือกมังคุด (2 ขั้น) โดยทำการเผาเปลือกมังคุดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสทำการกระตุ้นเปลือกมังคุดและถ่านด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง SEM ทำการหาพื้นที่ผิวด้วยการดูดซับสารละลายเมทิ-ลีนบลูและแก๊สไนโตรเจนผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีรูพรุนขนาด 1-2 ไมโครเมตรถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 1 ขั้นมีพื้นที่ผิวที่ได้จากการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู (S(MB) = 417 m^2/g) และแก๊สไนโตรเจน (S(N_2) = 1867 m^2/g) สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 2 ขั้น (S(MB) = 239 m^2/g และ S(N_2) = 1024 m^2/g)

สโรชาเพ็งศรี (2553)ศึกษาการกำจัดกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับสังเคราะห์ไบโอดีเซลซึ่งผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเตรียมได้โดยการนำเมล็ดลำไยมากระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วนเมล็ดลำไยต่อซิงค์คลอไรด์จะเท่ากับ 1:2 จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

ขนาดของตัวดูดซับเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของตัวดูดซับผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลีเซอรีนคือขนาดตัวดูดซับ 100-120 เมช เวลาในการดูดซับ 20 นาทีและปริมาณตัวดูดซับ 5.0% โดยน้ำหนักประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยคือ 84.71% ไอโซเทอมการดูดซับกลีเซอรีนของการศึกษานี้สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

Zhang et al. (2010)ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยโดยใช้ zinc chloride เป็นตัวกระตุ้นมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ผลของพารามิเตอร์คือ อัตราส่วน อุณหภูมิ และเวลา คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมัตน์มีการวัดและวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้การศึกษาทั้งผลผลิตและการดูดซับไอโอดีน และเมธิลีนบลูของถ่านกัมมัตน์ มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในอัตราส่วนของ zinc chloride/ขี้เลื่อย ที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 60-90 นาที เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์

ภูธรเกิดสาอางค์ และคณะ (2554) ศึกษาการดูดซับฟีนอล Carbon-Zeolite Composite ที่สังเคราะห์ได้จากชานอ้อยและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฟีนอลของ Carbon-Zeolite composite (CZ) กับถ่าน (C600) และถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย (AC800) สาหรับการดูดซับฟีนอลตัวแปรที่สาคัญได้แก่ระยะเวลาและปริมาณตัวดูดซับพบว่าที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.05 กรัม AC800 มีประสิทธิภาพและปริมาณการดูดซับฟีนอลมากกว่า CZ และ C600 รองลงมาปริมาณตัวดูดซับ 0.1 กรัมพบว่า CZ มีประสิทธิภาพการกาจัดมากกว่า AC800 และ C600 ที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.2 กรัมพบว่า CZ มีปริมาณการดูดซับฟีนอลและประสิทธิภาพการกาจัดมากกว่า AC800 และ C600 โดยตัวดูดซับ CZ ที่สังเคราะห์ได้พบว่าได้ผลประสิทธิภาพการดูดซับ (qt) มากกว่า C600

ปัญญา มณีจักร (2555) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางโดยถ่านคาร์บอไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกหูกวางที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงขณะที่ถ่านกัมมันต์เตรียมได้โดยการกระตุ้นถ่านคาร์บอไนซ์ด้วยกรดซัลฟูริกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับในถ่านสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยเครื่องบลูเนอรเอลเม็ทเทลเลอร (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกันคือพื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอไนซ์มีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับขนาดของตัวดูดซับค่าความเป็นกรด -ด่างอัตราเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับนอกจากนี้ได้ศึกษากลไกการดูดซับด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดิชของการดูดซับของสารละลายไอโอดีนจากกลไกการดูดซับไอโอดีนพบว่าค่า R^2 ของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสอดคล้องกับไอโซเทอร์มฟรุนดิช ซึ่งแสดงกลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบหลายชั้นส่วนถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์

การค้าจะมีค่า R^2 สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ แสดงว่ากลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบชั้นเดียว

นำพลสุขเจริญ **(2555)** ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามเปรี้ยวโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก,สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของสารละลายตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผากระตุ้นทำโดยการเปลี่ยนแปลงทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่าน การกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ ค่าการดูดซับ ฟีนอลและเมทิลลีนบลู เปอร์เซ็นต์เถ้า และความชื้น จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือการเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในสภาวะอับอากาศ และการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 400,500,600 และ 700°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 600°Cโดยใช้น้ำเป็นสารกระตุ้นมีค่ามากกว่าถ่านที่เผาอุณหภูมิที่ 400,500 และ 700°C ตามลำดับ เมื่อนำถ่าน กัมมันต์ที่ผ่านการเผาอุณหภูมิที่ 600°C มาทำการดูดซับฟีนอล พบว่าถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำแสดงค่าร้อยละการดูดซับฟีนอลที่ใกล้เคียงกับการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และ ด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ยังมีค่าการดูดซับฟีนอลที่น้อยกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้าประมาณ 4-5 เท่า จากการศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์มีค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูสูงกว่า การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และการกระตุ้นด้วยน้ำเมื่อเอามาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้าที่มีการดูดซับเมทิลลีนบลูที่ได้ดีมาก

ปัญญา มณีจักร (2556) ศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสำหรับใช้เป็นสารดูดซับโครเมียม (III) ไอออนโดยถ่านคาร์บอไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกหูกวางที่อุณหภูมิต่างๆ (300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ในระยะเวลาต่างๆกัน (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) จากนั้นกระตุ้นถ่านคาร์บอไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยอัตราส่วนต่างๆแล้วนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกันพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอไนซ์คือเผาที่ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือใช้ถ่านคาร์บอไนซ์ต่อ KOH อัตราส่วน 1 ต่อ 1 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สภาวะนี้ให้ค่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) สูงที่สุดจากนั้นศึกษากลไกการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิชพบว่าทั้งถ่านคาร์บอไนซ์และถ่านกัมมันต์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัม

พัทธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 เมื่อใช้แบบจำลองฟรุนดลิชแสดงว่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออนของถ่านทั้งสองชนิดเป็นหลายชั้นและจากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมี่ยม (III) ไอออนพบว่าสอดคล้องกับ Pseudo-Second Order การดูดซับโครเมียม (III) ไอออนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่า COD พบว่าถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสามารถกาจัดโครเมียม (III) ไอออนต่อปริมาณถ่านเท่ากับ 4.64 มิลลิกรัมต่อกรัมซึ่งสูงกว่ากัมมันต์การค้า (Fluka 50120) ซึ่งกาจัดได้เพียง 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม

ข้อดี ของการวิจัยครั้งนี้ คือ 1. สารตั้งต้นที่ใช้มีราคาถูก 2. เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3. ลดมลพิษที่เกิดจากการเผาทำลายซังข้าวโพดซึ่งก่อให้เกิดก๊าซ CO_2 SO_2 และ NO_x ในอากาศ 4. สามารถนำมาใช้ใหม่ได้โดยการ Regeneration คือการกระตุ้นคุณสมบัติการดูดซับเข้าไปใหม่ เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะจากการเหลือใช้

ข้อเสีย ของการวิจัยครั้งนี้ คือทำให้เกิดมลภาวะในอากาศ เนื่องจากควันที่ถูกปล่อยจากปล่องประกอบด้วย ก๊าซ CO_2และ CH_4แต่จากข้อมูลการค้นคว้าพบว่า การเผาซังข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยวจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเผาซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงหรือถ่านเสียอี ก เนื่องจากการทำถ่านมีกรรมวิธีโดยให้ความร้อนเข้าเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ในเตา ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ปล่อยสารที่ระเหยและควันไฟในปริมาณน้อยกว่าจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ มีงานวิจัยที่นำถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาดูดซับมีเทนอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นจึงสนใจที่จะผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาใช้ในดูดซับมีเทน และศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับมีเทนเพื่อช่วยในการลดปริมาณก๊าซมีเทนในอากาศ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เช่น การดูดซับก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบการดูดซับก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ หรือประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ดูดซับของเสียมีเทนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่แก๊สมีเทนที่ดูดซับได้จากถ่านกัมมันต์ยังสามารถนำไปพัฒนาหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

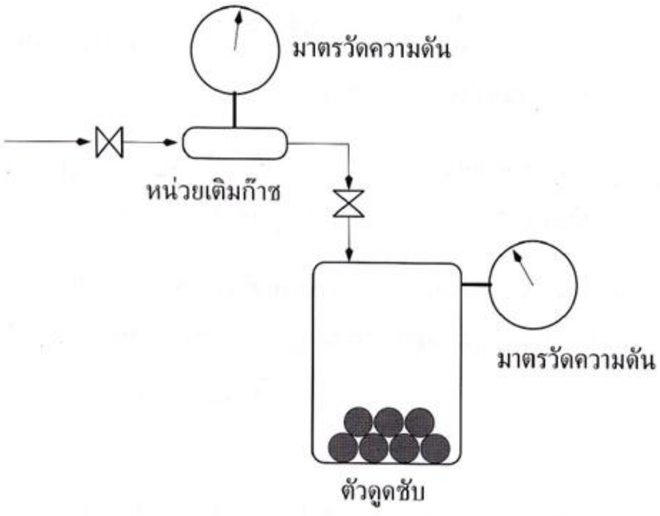
ตารางที่ 3.1แสดงสารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรดสารเคมี	บริษัทผู้จำหน่าย	ประเทศผู้ผลิต
1. กรดฟอสฟอริก	H_3Po_4	AR	CAROERBA	Italy
2.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	KOH	AR	CAROERBA	Italy
3. ซิงค์คลอไรด์	$ZnCl_2$	AR	LOBALCHEME	India
4. ไอโอดีน	I_2	AR	CAROERBA	Italy
5. โซเดียมไธโอซัลเฟต	$Na_2S_2O_3$	AR	MERCK	Germany
6.โซเดียมคาร์บอเนต	Na_2CO_3	AR	CAROERBA	Italy
7.โพแทสเซียมไอโอไดด์	KI	AR	AJAX FINECHRM	New zealand
8.โพแทสเซียมไอโอเดต	KIO_3	AR	HAZARDOUSS	New zealand
9. กรดไฮโดรคลอริก	HCL	AR	HAZARDOUSS	New zealand
10.โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	KH_2PO_4	AR	RIEDEL-DEHAEN	Germany
11. โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	Na_2HPO_4	AR	ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์	Thailand
12. เมทิลลีนบลู	$C_{16}H_{18}N_3CIS$	AR	LIFE SCIENCE REAGEN	England
13. โพแทสเซียมโบรเมต	$KBrO_3$	AR	LABORATARY CHEMICALS	New zealand
14. โพแทสเซียมโบรไมด์	KBr	AR	ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์	Thailand
15. ฟีนอล	C_5H_5OH	AR	LOBA CHEMIE	India
16. แป้งมัน			AJAX FINECHRM	New Zealand
17. ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	-	-	MAY and BAKER	-
18. ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดที่ผลิตเอง	-	-	-	Thailand

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือ และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	**รุ่น**	**บริษัทผู้ผลิต/จำหน่าย**
1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Sartorius	METTLER TOLEDO
2. ตู้อบ	-	MEMMERT
3. เตาเผาอุณหภูมิสูง	CWF-1300	CARBOLITE
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าได้	IL.60714	POLY SCIENCE
5. เครื่อง UV-VIS	UV-1700	SHIMADZU
6. เตาให้ความร้อน	1203	MEMMERT
7. เครื่องวัดพีเอชมิเตอร์	PC700	EUTECH INSTRUMENT
8. เครื่องกรองสูญญากาศ	-	JENWAR
9. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ	-	JENWAR
10. เครื่องแก้ว	-	PYREX
11. โถดูดความชื้น (desiccator)	-	-
12. เครื่องหมุน**เหวี่ยง** (centrifuge)	-	-
13 กระดาษกรองเบอร์ 42	Whatman	China
14. เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท	-	-
15. เทอร์โมคัพเปิ้ล	-	-
16. ถังแก๊สมีเทน	-	-
17. วาวล์ปรับความดันให้คงที่	-	-
18. วาวล์เปิด-ปิด	-	-
19. เครื่องวัดความดัน 2 ตัว	-	-

ภาพที่ 3.1 แสดงถังแก๊สมีเทน พร้อมกับติดตั้งวาวล์ปรับความดันให้คงที่



ภาพที่ 3.2 ระบบทดสอบการดูดซับมีเทนของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์[เดชา ฉัตรศิริเวชม, 2552]

3.2 สถานที่ทำวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการทดลองการทำวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

1.การเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยการเผา

1) การเตรียมเตา200 ลิตร กว้าง 2.40 เมตรยาว 2.40 เมตร

2) นำซังข้าวโพดใส่ลงไปในเตาเผาจนเกือบเต็มเตา จากนั้นปิดฝาแล้วเอาทรายกลบไห้มิดฝาของเตา

3) จุดไฟบริเวณหน้าเตาที่อิฐก่อนแรกสุดโดยปล่อยให้ไอความร้อนค่อยๆเข้าไปสะสมในเตาเป็นช่วงไล่ความชื้นใช้เวลา 1-2 ชั่วโมงเมื่อความชื่นของถ่านหมดควันจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองเข้มและจะเยอะขึ้นหรือเรียกว่า ควันบ้า แสดงว่าไฟในเตาติดแล้ว ไม้จะเริ่มคายความร้อน ให้หยุดใส่เชื้อเพลิงที่หน้าเตา

4) จากนั้นเมื่อไฟในเตาติดแล้วก็ปิดหน้าเตาเกือบหมด เหลือเพียงแค่รูกว้างประมาณ 2 นิ้วซังข้าวโพดจะค่อยๆกลายเป็นถ่าน หรือเรียกว่า การเกิดกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น

5) สังเกตควันปากปล่องจะมีสีน้ำเงินปนออกมา หรือสังเกตน้ำสมควันไม้ เมื่อนำส้มควันไม้มีสีดำและข้นหนืดแสดงว่าไม้ในเตากลายเป็นถ่านหมดแล้ว ให้เปิดหน้าเตาประมาณครึ่งหนึ่งของเตา ทิ้งไว้ 30 นาที หรือจนกว่าควันจางลงเป็นสีฟ้าอ่อน เพื่อจะไล่สารทาร์ออกจากเนื้อไม้

6) ทำถ่านให้เย็นหรือหยุดกระบวนการของการกลายเป็นถ่าน ให้ปิดหน้าเตา ปิดรอยรั่วให้หมด และปิดปล่องควัน ทิ้งไว้ประมาณ 8ชั่วโมง

7) เปิดหน้าเตาโดยการเริ่มปิดที่ปล่องควันก่อน แล้วค่อยเปิดที่หน้าเตา
ควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าได้

ภาพที่ 3.3 เตาเผาถ่านซังข้าวโพด

3.3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำซังข้าวโพดที่ **ผ่าน**กระบวนการคาร์บอไนซ์โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับสารกระตุ้น คือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำถ่านจากซังข้าวโพดที่ผ่านการเผามาผสมกับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)โดยให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้น เท่ากับ 1:3 (ถ่านซังข้าวโพด :สารกระตุ้น) ซึ่งจะมีการใช้ความเข้มข้นของสารกระตุ้น เวลา และ อุณหภูมิ ในการกระตุ้นดังตารางที่3.3

2) ชั่งถ่าน 15 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

3) ทำการเติม กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) และซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) 45 มิลลิลิตร กระตุ้นตามเวลา และอุณหูมิ ตามตาราง 3.3

4) นำถ่านซังข้าวโพดไป pyrolysedที่อุณหภูมิ 300°C ในตู้อบ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็น

5) ทำการล้างถ่านอย่างต่อเนื่องด้วย น้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งวัดค่าความเป็นพีเอช (pH) ของน้ำที่ใช้ล้างจนมีค่าเท่ากับ 7

6) อบถ่านที่ได้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 110℃ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นจะได้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ ซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

ตารางที่ 3.3แสดงสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ ที่อัตราส่วน 1:3 (ถ่านซังข้าวโพด:สารกระตุ้น)

สภาวะที่	ความเข้มข้นของสาร	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาที)
1		ห้อง	30
2		,,	60
3	50%(v/v) H_3PO_4	,,	120
4		60	30
5		,,	60
6		,,	120
7		ห้อง	30
8	60%(v/v) H_3PO_4	,,	60
9		,,	120
10		60	30
11		,,	60
12		,,	120
13		ห้อง	30
14		,,	60
15	70%(v/v) H_3PO_4	,,	120
16		60	30
17		,,	60
18		,,	120

ตารางที่ 3.3(ต่อ)

สภาวะ	ความเข้มข้นของสาร	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาที)
19		ห้อง	30
20		,,	60
21	0.1M KOH	,,	120
22		60	30
23		,,	60
24		,,	120
25		ห้อง	30
26		,,	60
27	0.5 M KOH	,,	120
28		60	30
29		,,	60
30		,,	120
31		ห้อง	30
32		,,	60
33		,,	120
34	1M KOH	60	30
35		,,	60
36		,,	120
37		ห้อง	30
38		,,	60
39	0.1M $ZnCl_2$	,,	120
40		60	30
41		,,	60
42		,,	120

ตารางที่ 3.3(ต่อ)

สภาวะ	ความเข้มข้นของสาร	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาที)
43		ห้อง	30
44		,,	60
45	0.5 M $ZnCl_2$	,,	120
46		60	30
47		,,	60
48		,,	120
49		ห้อง	30
50		,,	60
51	1M $ZnCl_2$	,,	120
52		60	30
53		,,	60
54		,,	120

3.3.3การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

1. วิเคราะห์หาความชื้น (Moisture)ตามมาตรฐาน AOAC,1990ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

1) อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งถ่านตัวอย่างหนักประมาณ 0.500 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 ° เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละความชื้น

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{A-B \times 100}{W}$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักถ่านก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักถ่านหลังอบ (กรัม)

W= น้ำหนักถ่าน (กรัม)

2.3.4 วิเคราะห์หาเถ้าความชื้น (Ash) ตามมาตรฐาน AOAC,1990 ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

1) เผาถ้วยคูซิเบิลในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ 750℃เป็นเวลา 30 นาที นำออกจากเตาเผาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2) ชั่งถ่านตัวอย่าง ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750℃เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละของเถ้า

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{(B-A)}{W} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักถ่านหลังอบ (กรัม)

W =น้ำหนักถ่าน (กรัม)

2.3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์

1)วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ ตามมาตรฐาน ASTM D4607-86ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

ก.การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 % โดยปริมาตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลาย HClมา 67.7mL จาก conc. HCl (ความเข้มข้นประมาณ 37 %) ใส่ในVolumetric flask67.6mL ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 200mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500mL

2.สารละลายไอโอดีน (I_2) ความเข้มข้น 0.100นอร์มอล ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่ง ไอโอดีน12.70 กรัม และโพแพสเซียมไอโอไดด์ 19.10 กรัม ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็ง เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป คนสารละลายด้วยแท่งแก้วตลอดเวลา เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมด ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ1,000 มิลลิลิตรแล้วจึงเทสารลงในขวดสีชา

3.สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_35H_2O$)ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอล ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต หนัก 24.82 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดปริมาตร 75±25 มิลลิลิตร คนให้สารละลาย(เติมโซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 0.10 กรัม เพื่อป้องการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย) ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงเทสารละลายในขวดสีชา และเก็บไว้อย่างน้อย 4 วันก่อนนำมาใช้

4.สารละลายโพแพสเซียมไอโอเดต (KIO_3)ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอลปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

อบโพแพสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 ℃เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งโพแพสเซียมไอโอเดต3.5667 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น 100มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา

5. สารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้ง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น25มิลลิลิตร คนตลอดเวลา จากนั้นเทสารลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีก 4-5 นาทีหรือจนใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บใส่ขวด (น้ำแป้งควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง)

ข.การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

1.การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่250มิลลิลิตร

2. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0 กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย

3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร จำนวน5มิลลิลิตร ลงไปในขวดรูปชมพู่เขย่าให้เข้ากัน

4.เติมน้ำแป้งลงไป2-3 หยด จากนั้นไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตโดยไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนน้ำเงินเป็นไม่มีสี (ไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

5. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไธโอซัลเฟต

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S}$$

เมื่อ N_1= ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P_1= ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

2.การหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

1.ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูป ชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั้งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแป้ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี (การไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย)บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

3.คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

$$N_2 = \frac{S \times N_1}{I}$$

เมื่อN_2= ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

N_1= ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

ค.การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน

1. อบถ่านที่อุณหภูมิ 110 –120°Cเป็นเวลา 2ชั่วโมง แล้วปล่อยทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2.ชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่าง 0.500 ±0.050 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านตัวอย่างให้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด

3. เติมสาระลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ5 โดยปริมาตร จำนวน5 มิลลิลิตรปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เปิดจุกต้มในตู้ดูดควันให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง

4.ปิเปตสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดจุกอย่างรวดเร็วแล้วเขย่าแรงๆ เป็นเวลา30 วินาที

5. กรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จากนั้นปิเปตสารละลายมา 20 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่

6.ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีชาอ่อน เติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์2-3 หยด ไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

7.ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.500 กรัม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน

สูตรการคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนได้จาก(C)

$$C = \frac{N_2 \times S}{50}$$

สูตรการคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านตัวอย่างได้จาก X/M

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

เมื่อ X/M= คำนวณปริมาตรไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านตัวอย่าง (มิลลิกรัม/กรัม)

N_1=ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต(นอร์มอล)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

A = น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้น (N_2×12693.0)(มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1 มิลลิลิตร (N_1×126.39)(มิลลิกรัม)

C = คำนวณความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)

W = น้ำหนักของถ่านที่ใช้(กรัม)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้(มิลลิลิตร)

2)การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ตามมาตรฐานJIS K 1474-1991 ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

ก.การเตรียมสารละลาย

1.เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

- อบโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งมา 9.08กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร **สารละลาย (A)**

- อบโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งมา 23.88กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร **สารละลาย (B)**

จากนั้น นำสารละลาย (A) จำนวน 400 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย (B) จำนวน 600 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันจะได้สารละลายบัฟเฟอร์pH 7

2.เตรียมสารละลายเมทิลลีนบลู ความเข้มข้น 500มิลลิกรัม /ลิตร pH 7 ปริมาตร1,000 มิลลิลิตร

ชั่งเมทิลลีนบลูหนัก 0.50กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7ให้ปริมาตรครบ 1000มิลลิลิตร

3.เตรียมสารละลายเมทิลลีนบลู ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม /ลิตร pH 7 ปริมาตร 500มิลลิลิตร

ปิเปตสารเมทิลลีนบลูความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 25ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7จนปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

ข.การทำกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายเมทิลลีนบูลให้มีความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัม /ลิตร นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกนX คือความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัม /ลิตร แกน Y คือค่าการดูดกลืนแสง จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

ค.การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลลีนบลู

1.นำถ่านตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ 110-120 ℃ เป็นเวลา 1 ชั่งโมงชั่งถ่านตัวอย่างหนัก 0.025 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่

2.ปิเปตสารละลายเมทิลลีนบลู ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดจุกลงในขวดเขย่าแรงๆ ประมาณ10 วินาที

3.นำสารละลายที่ได้มาแยกออกจากถ่านตัวอย่างด้วยเครื่อง หมุน**เหวี่ยง** (centrifuge)ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที

4.กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งสารละลายอิ่มตัวด้วยสารละลาย จึงรองรับด้วยสิ่งของขนาดเล็กนำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่องยูวีวิซิเบิลสเปคโตโฟมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นตัวเปรียบเทียบหรือแบลงค์

5.ทำการทำลองซ้ำอีก 2 ครั้งโดยเพิ่มน้ำหนักถ่านตัวอย่างครั้งละ 0.025 กรัม

6.ค่าความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดเมทิล-ลีนบลูได้จาก

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลลีนบลู} = \frac{C_a - C_b \times 100}{C_a}$$

เมื่อ C_a= ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลลีนบลูเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_b =ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลลีนบลูที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/ลิตร)

4)การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ ตามมาตรฐาน AWWA B600-86 ซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ดังนี้

ก.การเตรียมสารละลาย

1.สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.73 โมลาร์pH 6.50 ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟส 69.32 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรดด่าง ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนได้ความเป็นกรดด่างpH 6.50ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ความเป็นกรดด่างหรือพีเอชเท่ากับ 6.50 ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.73 โมลาร์ พีเอชเท่ากับ 6.50 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

ชั่งฟีนอลหนักประมาณ 0.50 กรัม เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ เพียงเล็กน้อย คนให้เข้ากัน แล้วค่อยๆเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความ

เข้มข้น 0.073 โมลาร์ คนตลอดเวลาจนได้ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ให้ครบ 500 มิลลิลิตร

4.สารละลายฟีนอลความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ปิเปตสารสารละลายฟีนอลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.073โมลาร์ ให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต($Na_2S_2O_35H_2O$) ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอล ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต หนักประมาณ 24.82กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดใหม่ๆ ปริมาตร 75±25 มิลลิลิตร คนให้ละลาย (เติมโซเดียมคาร์บอเนตประมาณ 0.10 กรัม เพื่อป้องการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย) ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร

6.**สารละลายโพแพสเซียมไอโอเดต (KIO_3)ความเข้มข้น 0.100 นอร์มอลปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร**

อบโพแพสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 กรัม ที่อุณหภูมิ 110 ℃ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งโพแพสเซียมไอโอเดต 3.5667 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร

7.**สารละลายโพแทสเซียมโบร์เมต-โบร์ไมด์ ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร**

ชั่งโพแทสเซียมโบรเมต2.784 กรัม และชั่งโพแทสเซียมโบรไมด์10.00 กรัม เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อยคนให้เข้ากันจนได้ปริมาตร 75±25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร

8.สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 12.5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ 6.25 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

9.สารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้งประมาณ 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 25 มิลลิลิตรกวนตลอดเวลา แล้วเทสารลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มต่อไปอีก 4-5 นาทีหรือจนใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บใส่ขวด (น้ำแป้งควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง)

10.สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 5.60 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ข.การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

1.ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่

2. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ หนัก 2.0กรัม ลงไป เขย่าให้ละลาย

3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร จำนวน 5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

4.เติมน้ำแป้ง 2-3 หยด ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี (ไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

5. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไธโอซัลเฟต

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

$$N_1 = \frac{P_1 \times R}{S}$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

P_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มอล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

ค.การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟีนอล

1.ปิเปตสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายโพแทสเซียมโบเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.10นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น5.0 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที

4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอโดด์ ความเข้มข้น 12.5% ปริมาตร 8 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที

5.เติมน้ำแป้ง 2-3 หยด ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี (ไทเทรตควรทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาความเข้มข้นเฉลี่ย) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

6. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล

$$Mp\ (g/l) = \frac{(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2) \times 15.685}{Vp}$$

เมื่อ Mp = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (กรัมต่อลิตร)

Vp = ปริมาตรของสารละลายฟีนอล (มิลลิลิตร)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ท(นอร์มอล)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

ง.การวิเคราะห์ค่าการดูดซับฟีนอล

1) ชั่งถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูป ชมพู่ ขนาด 5 มิลลิลิตร 4 ขวด

2) ปิเปตสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวด 3 ขวดแรก

3) ปิเปตสารละลายบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ pH เท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ 4 เพื่อใช้เป็นแบลงค์

4) นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 189 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

5) กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย แล้วจึงรองรับสิ่งกรองด้วยด้วยหลอดขนาดเล็ก

6) นำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่องยูวี -วิซิเบิลสเปคโตโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 270 nm

7) นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพกำจัดฟีนอล

8) ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.050กรัมจนกระทั่งความเข้มข้นที่สามารถดูดซับได้ มีค่ามากกว่าร้อยล่ะ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น

9) คำนวณหาค่าการดูดซับฟีนอล (phenol value)

สูตรการคำนวณหาเปอร์เซนต์ของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่ (% residual fitarte phenol)

$$\text{ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ} = \frac{100 \times \text{ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่}}{\text{ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลเริ่มต้น}}$$

- คำนวณหาร้อยละฟีนอลที่ถูกดูดซับ (%adssorbed phenol) จาก

ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ = 100 − ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือ

จ. ศึกษาการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์

เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดด้วยการศึกษาAdsorption Isotherm โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 สภาวะคือการศึกษาการดูดซับที่สภาวะสมดุลย์อันประกอบด้วยการหา equilibrium time ของการดูดซับและการหาประสิทธิภาพการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดซึ่งมีสภาวะการกระตุ้นต่างกันได้แก่

1. สภาวะกระตุ้น 0.1 M KOH ที่ อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีหรือ K1,
2. สภาวะกระตุ้น 50% H_3PO_4ที่ T ห้อง เวลา 120 นาที หรือ H1
3. สภาวะกระตุ้น 0.5 M $ZnCl_2$ที่ อุณหภูมิ 60 C° เวลา 60 นาที หรือ Z4

โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1 ศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลย์ของการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด (equilibrium time)การศึกษา Adsorption Isotherm ของการดูดซับเป็นการศึกษาการดูดซับที่สภาวะสมดุลย์คือสภาวะที่มีอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายดังนั้นก่อนทำการศึกษา AdsorptionIsotherm จึงจำเป็นต้องทราบเวลาที่น้อยที่สุดการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ซึ่งเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุลย์หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ มีเทน ที่ถูกดูดซับไว้ด้วย ถ่านกัมมันต์ ที่เวลาต่างๆ (qt) โดยเวลาที่น้อยที่สุดอัตราการดูดซับไม่เพิ่มขึ้นคือเวลาเข้าสู่สมดุลย์ของการดูดซับโดยคุณสมบัติของตัวดูดซับเช่นปริมาณและขนาดจะมีผลต่อเวลาในการดูดซับหากปริมาณตัวดูดซับเท่ากันตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าจึงใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลย์นานกว่า

วิธี การทดลอง

1. โดยการชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.7500 ±0.0001 กรัมใส่ในภาชนะขนาด 200 มิลลิลิตรปิดฝาด้วยจุกยาง
2. เก็บตัวอย่างที่เวลา 10, 20, 30, 60, 90 และ120นาทีทำการทดลอง 3 ซ้ำ
3. หาปริมาณมีเทนที่ถูกดูดซับอยู่ในถ่านกัมมันต์

สูตรการคำนวณ

ปริมาณมีเทนที่ถูกดูดซับ = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ก่อนดูดซับ –น้ำหนักถ่านกัมมันต์หลังดูดซับ

4. วิเคราะห์หาเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ (equilibrium time) ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับ (แกน x) กับปริมาณมีเทนที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ 1 กรัมที่เวลาต่างๆ (แกน y)

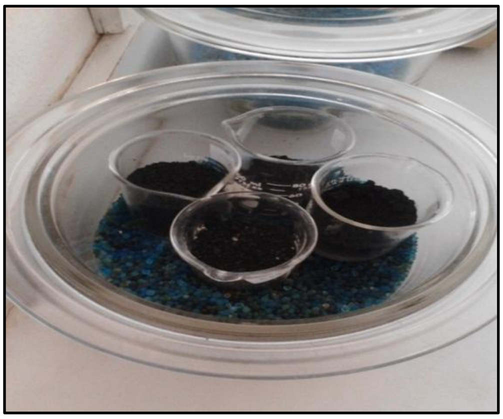
บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ จากซังข้าวโพดด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ทั้งนี้เผาโดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการเผาครั้งเดียว และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมตัวในการกระตุ้น ทั้งความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้น นอกจากนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

4.1 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

จากการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ลักษณะของซังข้าวโพดภายหลังจากกระบวนการคาร์บอไนเซชัน แสดงดังภาพที่ 4.1 (a)และเมื่อทำการลดขนาดไห้เป็นเม็ดจะมีลักษณะเป็นดังภาพที่ 4.1 (b)

(a)



(b)

ภาพที่ 4.1ถ่านซังข้าวโพด

4.1.1การวิเคราะห์หาความชื้น (Moisture) และ การวิเคราะห์หาเถ้า (Ash)ตามมาตรฐาน AOAC,1990

จากการวิเคราะห์หาความชื้น (Moisture) และ การวิเคราะห์หาเถ้า (Ash) ใช้ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาทำการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1ค่าร้อยละความชื้นและเถ้า ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก(H_3PO_4)

สภาวะ	ความเข้มข้น (%v/v)	อุณหภูมิกระตุ้น(C°)	เวลากระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น (Moisture)	ร้อยละเถ้า (Ash)
1		ห้อง	30	19.04	9.14
2		“	60	37.30	3.26
3	50%	“	120	9.65	6.06
4		60	30	18.12	9.71
5		“	60	34.90	8.41
6		“	120	8.28	6.06
7		ห้อง	30	5.35	9.85
8		“	60	32.52	30.12
9	60%	“	120	25.12	6.50
10		60	30	3.76	12.96
11		“	60	29.26	9.35
12		“	120	23.02	4.81
13		ห้อง	30	9.64	9.78
14		“	60	28.12	9.62
15	70%	“	120	31.84	7.35
16		60	30	8.61	10.76
17		“	60	31.01	15.65
18		“	120	11.44	8.02

ตารางที่ 4.2ค่าร้อยละความชื้นและเถ้า ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

สภาวะ	**ความเข้มข้น(M)**	**อุณหภูมิกระตุ้น(C°)**	**เวลากระตุ้น (นาที)**	**ร้อยละความชื้น (Moisture)**	**ร้อยละเถ้า (Ash)**
19		ห้อง	30	27.90	2.59
20		“	60	21.27	6.52
21	0.1	“	120	17.84	2.76
22		60	30	25.24	2.50
23		“	60	18.09	3.79
24		“	120	15.19	2.34
25		ห้อง	30	33.36	3.25
26		“	60	13.59	3.61
27	0.5	“	120	33.82	2.95
28		60	30	21.53	3.07
29		“	60	11.87	3.18
30		“	120	44.67	3.05
31		ห้อง	30	39.73	3.71
32		“	60	31.82	6.18
33	1.0	“	120	35.10	8.73
34		60	30	45.70	5.19
35		“	60	25.64	6.47
36		“	120	39.37	8.15

ตารางที่ 4.3ค่าร้อยละความชื้นและเถ้า ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คอไรด์($ZnCl_2$)

สภาวะ	ความเข้มข้น (M)	อุณหภูมิกระตุ้น(C°)	เวลากระตุ้น (นาที)	ร้อยละความชื้น (Moisture)	ร้อยละเถ้า (Ash)
37		ห้อง	30	47.12	1.75
38		“	60	31.28	2.43
39	0.1	“	120	43.07	2.07
40		60	30	46.02	1.97
41		“	60	33.09	3.67
42		“	120	43.61	5.05
43		ห้อง	30	45.21	3.80
44		“	60	19.10	6.47
45	0.5	“	120	30.63	4.21
46		60	30	15.46	7.54
47		“	60	5.07	5.67
48		“	120	27.77	2.01
49		ห้อง	30	36.31	4.14
50		“	60	23.75	7.28
51	1.0	“	120	26.09	4.15
52		60	30	32.13	4.19
53		“	60	11.25	8.34
54		“	120	31.50	3.19

จากตารางที่ 4.1 ,4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าในสารกระตุ้น ทั้งกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$) เมื่อนำมาหาร้อยละความชื้น (Moisture) และ ร้อยละเถ้า (Ash) จะสังเกตได้ว่าค่าร้อยละเถ้าจะมี ค่าอยู่ระหว่าง 1.75 -8.73 ส่วนค่าร้อยละความชื้นค่อนข้างที่จะแตกต่างกันชัดเจนคืออยู่ระหว่าง 5.07- 47.12 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคัดเลือกตัวอย่างที่ค่าความชื้นค่าน้อยที่สุดจำนวน 2 ตัวอย่างในสารกระตุ้นแต่ละความเข้มข้นนั้นๆโดยเลือกตัวอย่างตามตารางที่ 4.4มาทดสอบค่าการดูดซับต่อไป

ตารางที่ 4.4แสดงตัวอย่างที่คัดเลือกมาทำการทดสอบการดูดซับ

สารเคมี	ความเข้มข้น	อุณหภูมิ (C°)	เวลา(นาที)
	50%	ห้อง	120
	“	60	“
H_3PO_4	60%	ห้อง	30
	“	60	“
	70%	ห้อง	“
	“	60	“
	0.1 M	ห้อง	120
	“	60	“
KOH	0.5 M	ห้อง	60
	“	60	“
	1 M	ห้อง	“
	“	60	“
	0.1 M	ห้อง	60
	“	60	“
ZnC_{l2}	0.5 M	ห้อง	“
	“	60	“
	1 M	ห้อง	“
	“	60	“

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์

4.2.1การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-86

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน โดย ใช้ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาทำการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.5 , 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่4.5ค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก(H_3PO_4)

สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ปริมาณ I_2ที่ถูกดูดซับ(mg/g)**	**ความเข้มข้นที่สมดุลของ I_2 (N)**
50% H_3PO_4ที่Tห้อง	0.25	2,795.97	0.036
เวลา 120นาที(H1)	0.50	1,504.88	0.035
	0.75	1,030.08	0.033
50% H_3PO_4ที่T 60C°	0.25	2,690.47	0.037
เวลา 120 นาที (H2)	0.50	1,428.93	0.035
	0.75	974.97	0.034
60% H_3PO_4ที่Tห้อง	0.25	2,810.90	0.036
เวลา 30 นาที(H3)	0.50	1,411.56	0.035
	0.75	978.48	0.034
60% H_3PO_4ที่T 60C°	0.25	2,818.67	0.036
เวลา 30 นาที(H4)	0.50	1,427.61	0.035
	0.75	948.59	0.035
70% H_3PO_4ที่Tห้อง	0.25	2,741.43	0.036
เวลา30นาที(H5)	0.50	1,513.56	0.035
	0.75	958.84	0.034
70% H_3PO_4ที่T60C°	0.25	2,752.30	0.037
เวลา 30 นาที(H6)	0.50	1,385.09	0.036
	0.75	951.04	0.035

ตารางที่4.6ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)

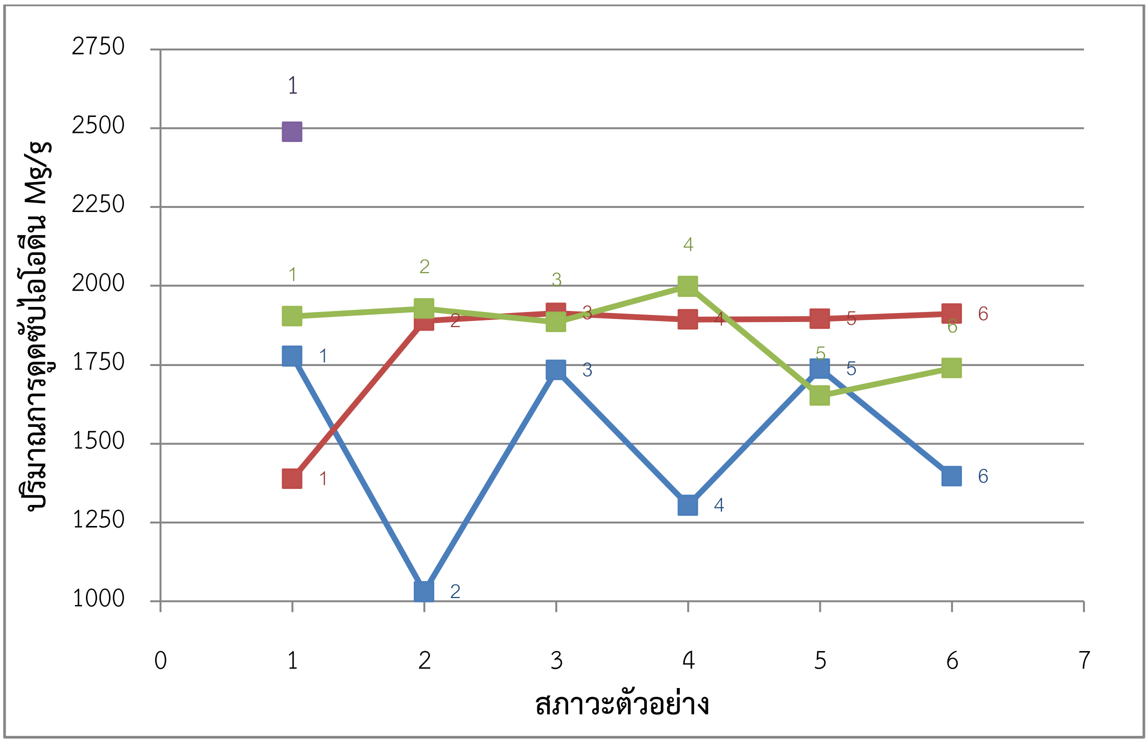
สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ปริมาณ I_2ที่ถูกดูดซับ(mg/g)**	**ความเข้มข้นที่สมดุล ของ I_2 (N)**
0.1M KOH ที่T ห้อง	0.25	2,912.08	0.037
เวลา 120 นาที(K1)	0.50	1,561.01	0.030
	0.75	1,130.36	0.027
0.1M KOH ที่T 60C°	0.25	3,000.58	0.031
เวลา 120 นาที(K2)	0.50	1,577.77	0.030
	0.75	1,092.24	0.027
0.5M KOH ที่Tห้อง	0.25	2,995.62	0.030
เวลา 60 นาที (K3)	0.50	1,608.16	0.028
	0.75	1,139.72	0.025
0.5M KOH ที่T 60C°	0.25	2,957.50	0.032
เวลา 60 นาที(K4)	0.50	1,575.66	0.030
	0.75	1,150.66	0.024
1M KOH ที่T ห้อง	0.25	3,002.49	0.032
เวลา60 นาที(K5)	0.50	1,581.75	0.029
	0.75	1,107.39	0.026
1M KOH ที่T 60C°	0.25	3,007.63	0.031
เวลา60นาที (K6)	0.50	1,590.16	0.028
	0.75	1,137.27	0.025

ตารางที่4.7ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ปริมาณ I_2ที่ถูกดูดซับ (mg/g)**	**ความเข้มข้นที่สมดุลของ I_2 (N)**
0.1M $ZnCl_2$ที่T ห้อง เวลา 160นาที(Z1)	0.25	2,997.29	0.031
	0.50	1,618.46	0.028
	0.75	1,094.84	0.026
0.1M $ZnCl_2$ที่T 60C° เวลา 60 นาที (Z2)	0.25	3,149.64	0.029
	0.50	1,568.25	0.028
	0.75	1,069.50	0.027
0.5M $ZnCl_2$ที่Tห้อง เวลา 60 นาที(Z3)	0.25	3,108.62	0.029
	0.50	1,534.13	0.031
	0.75	1,017.67	0.030
0.5M $ZnCl_2$ที่T 60C° เวลา 60 นาที(Z4)	0.25	2,751.80	0.034
	0.50	2,258.80	0.033
	0.75	985.60	0.032
1M $ZnCl_2$ที่T ห้อง เวลา 60 นาที(Z5)	0.25	2,603.38	0.037
	0.50	1,375.11	0.036
	0.75	979.35	0.032
1M $ZnCl_2$ที่T 60C° เวลา 60 นาที(Z6)	0.25	2,860.67	0.034
	0.50	1,406.05	0.035
	0.75	956.08	0.034

ตารางที่4.8ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านเกรดการค้า

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ปริมาณ I_2ที่ถูกดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นที่สมดุล ของ I_2 (N)
	0.25	3,970.06	0.015
เกรดการค้า	0.50	2,099.92	0.012
	0.75	1,399.59	0.011

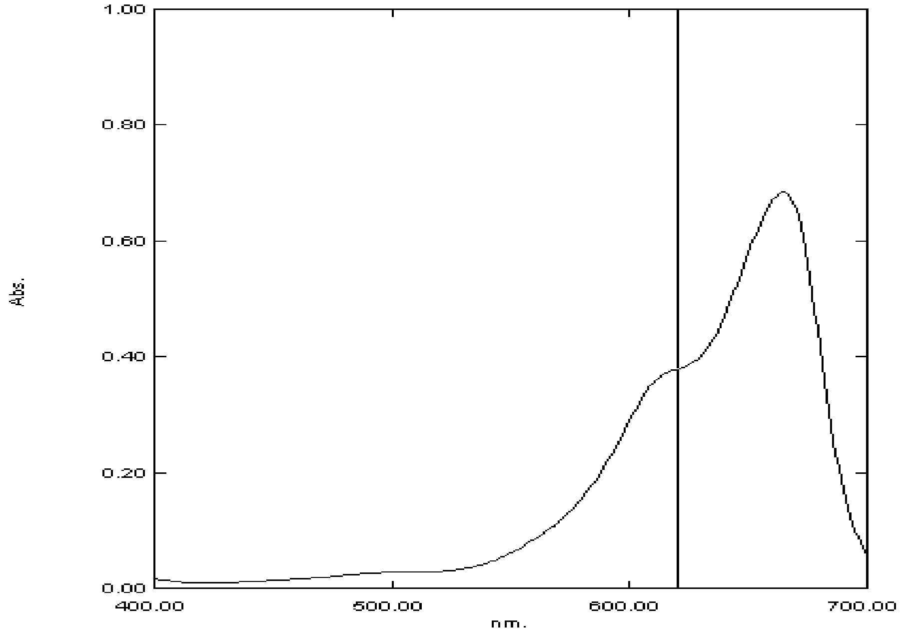


ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดและถ่านเกรดการค้า

(H: กระตุ้นด้วย H_2SO_4, K: กระตุ้นด้วย KOH, Z: กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$),

จากภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่าน กัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่างๆพบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$มีแนวโน้มสูงสุดรองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH และ H_2SO_4ตามลำดับจะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่สภาวะกระตุ้น 0.5M $ZnCl_2$ที่อุณหภูมิ 60C° เวลา 60 นาที หรือ Z4 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด แต่เมื่อเทียบการดูดซับไอโอดีนกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ายังมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้อาจมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

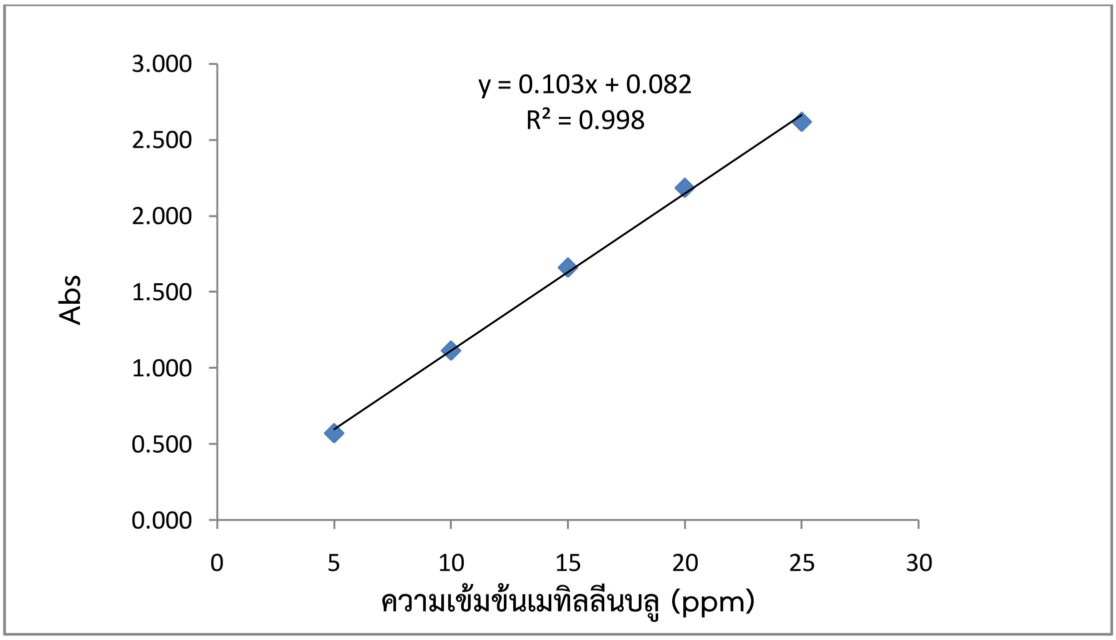
4.2.2การวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูตามมาตรฐาน JIS K 1474-1991



ภาพที่ 4.3แสดงการสแกนหาความยาวคลื่นของเมทิลลีนบลู(เป็นการสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดเมทิลลีนบลูค่าที่สแกนได้ คือ 620 nm)

ตารางที่ 4.9แสดงค่ากราฟมาตรฐานเมทิลลีนบลู

ความเข้มข้นเมทิลลีนบลู(g/l)	**ค่าการดูดกลืนแสง**
5	0.573
10	1.116
15	1.662
20	2.186
25	2.620



ภาพที่ 4.4กราฟที่แสดงค่าการดูดกลืนของเมทิลลีนบลูในแต่ล่ะความเข้มข้นโดยวัดค่าการดูดกลืนที่ 620 nm

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาทำการวิเคราะห์ที่ ความเข้มข้นของเมทิลลีนบลู25 (mg/L) ที่ความยาวคลื่น 620 nm ผลที่ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่4.10ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก(H_3PO_4)

สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ความเข้มข้นเมทิลลีนบลูที่เหลือ (mg/lit)**	**ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบูล**
50% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.025	9.001	63.99
เวลา 120 นาที(H1)	0.050	11.459	54.16
	0.075	8.487	66.05
50% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.025	13.144	47.42
เวลา 120 นาที (H2)	0.050	12.698	49.20
	0.075	12.418	50.32
60% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.025	17.084	31.66
เวลา 30 นาที(H3)	0.050	17.897	28.41
	0.075	16.406	35.76
60% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.025	18.426	26.29
เวลา 30 นาที(H4)	0.050	19.117	23.53
	0.075	18.100	27.60
70% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.025	16.377	34.49
เวลา 30 นาที(H5)	0.050	16.183	35.26
	0.075	13.817	44.73
70% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.025	19.349	22.60
เวลา 30 นาที(H6)	0.050	17.916	28.33
	0.075	16.435	34.26

ตารางที่4.11ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

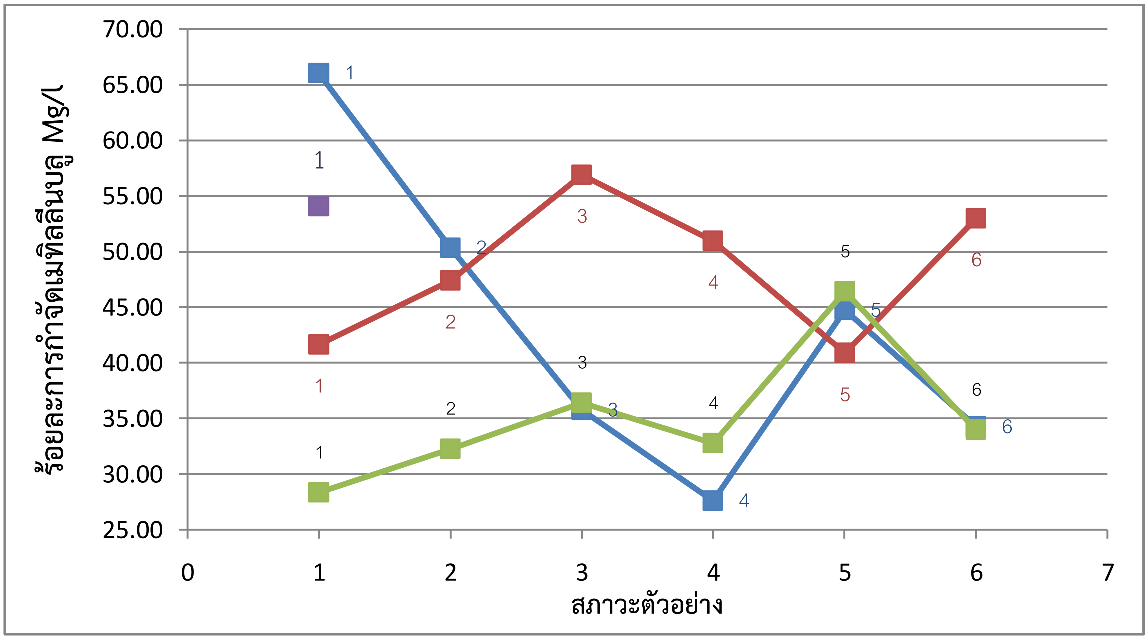
สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ความเข้มข้นเมทิลลีนบลูที่เหลือ (mg/L)**	**ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบูล**
0.1 M KOH ที่ T ห้อง เวลา 120 นาที(K1)	0.025	14.809	40.76
	0.050	17.636	29.45
	0.075	14.586	41.65
0.1M KOH ที่ T 60C° เวลา 120 นาที(K2)	0.025	17.752	28.99
	0.050	17.636	29.10
	0.075	14.586	47.40
0.5M KOH ที่ T ห้อง เวลา 60 นาที (K3)	0.025	17.248	31.00
	0.050	15.515	31.94
	0.075	10.772	56.91
0.5M KOH ที่ T 60C° เวลา 60 นาที(K4)	0.025	16.251	34.99
	0.050	17.306	30.77
	0.075	12.263	50.94
1M KOH ที่ T ห้อง เวลา 60 นาที(K5)	0.025	17.093	31.62
	0.050	19.601	21.59
	0.075	14.789	40.88
1M KOH ที่ T 60C° เวลา 60 นาที (K6)	0.025	13.328	46.68
	0.050	18.526	25.89
	0.075	11.750	53.00

ตารางที่4.12ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านซังข้าวโพดกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ความเข้มข้นเมทิลลีนบลูที่เหลือ (mg/L)**	**ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบูล**
0.1 M $ZnCl_2$ ที่ T ห้อง เวลา 160นาที(Z1)	0.025	19.310	22.76
	0.050	22.030	11.88
	0.075	17.916	28.33
0.1M $ZnCl_2$ที่ T 60C° เวลา 60 นาที (Z2)	0.025	16.929	32.28
	0.050	21.053	15.78
	0.075	17.113	31.54
0.5M $ZnCl_2$ที่ Tห้อง เวลา 60 นาที(Z3)	0.025	19.291	22.83
	0.050	20.636	17.45
	0.075	15.895	36.42
0.5M $ZnCl_2$ที่ T 60C° เวลา 60 นาที(Z4)	0.025	20.211	19.15
	0.050	22.030	11.88
	0.075	16.803	32.78
1M $ZnCl_2$ที่ T ห้อง เวลา 60 นาที(Z5)	0.025	20.162	24.19
	0.050	20.317	18.73
	0.075	13.395	46.42
1M $ZnCl_2$ที่ T 60C° เวลา 60 นาที(Z6)	0.025	20.724	17.10
	0.050	21.953	12.18
	0.075	16.513	33.94

ตารางที่4.13ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นเมทิลลีนบลูที่เหลือ (mg/lit)	ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบูล
	0.025	13.425	46.30
เกรดการค้า	0.050	12.415	50.34
	0.075	11.483	54.06

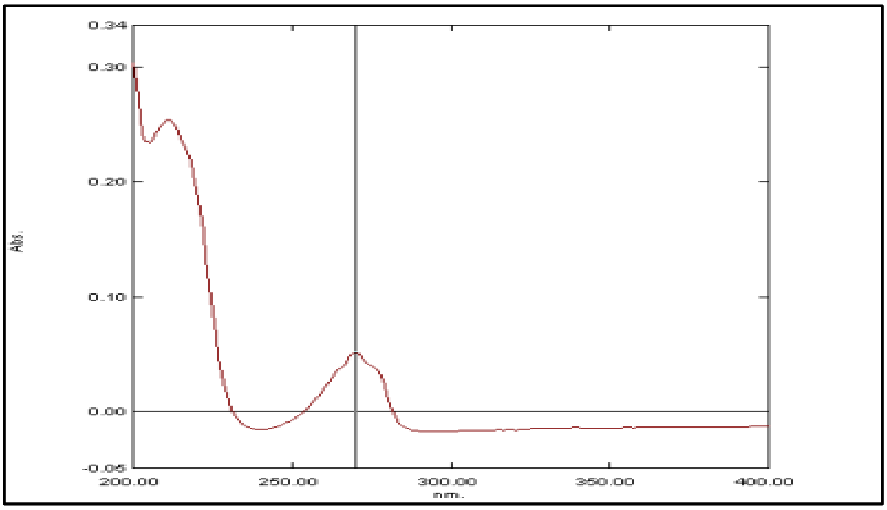


ภาพที่ 4.5แสดงร้อยละของการดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ (H: กระตุ้นด้วย H_3PO_4, K: กระตุ้นด้วย KOH, Z: กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$),

จากภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย 50% H_3PO_4ที่ T ห้อง เวลา 120 นาที(H1) มีค่าสูงสุดและเมื่อเทียบการดูดซับไอโอดีนกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ามีค่ามากกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้นั้นมีพื้นที่ผิวหรือรูพรุนที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลลีนบลูมากกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับซับฟีนอล ตามมาตรฐานAWWA B600-96

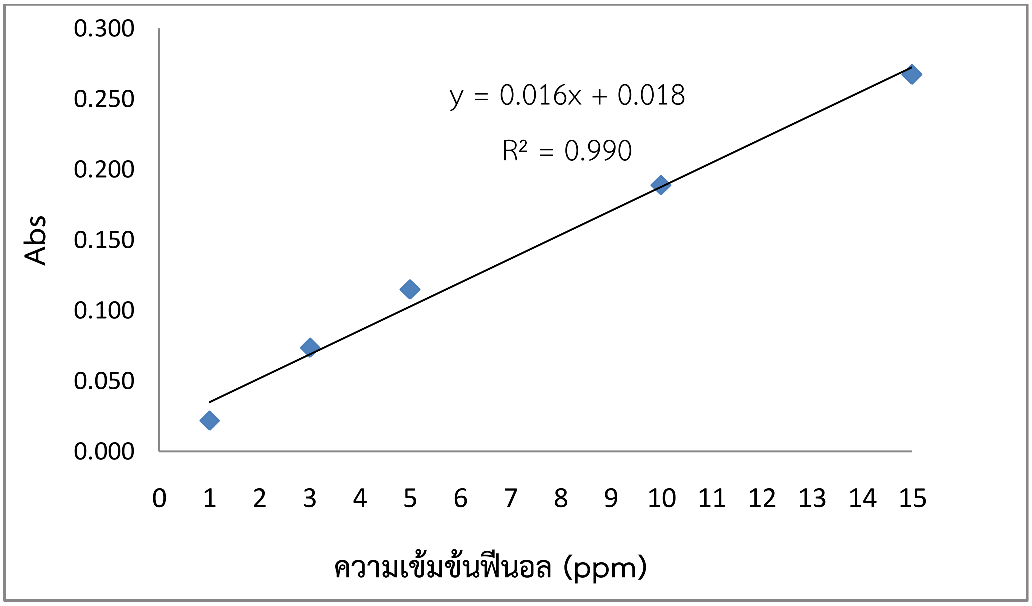
การสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมความยาวคลื่นที่ได้ คือ 253 nm ซึ่งความยาวคลื่น 253 nm นั้นไม่มีสารอื่นมารบกวน



ภาพที่ 4.6แสดงการสแกนหาความยาวคลื่นของฟีนอล(เป็นการสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดฟีนอลค่าที่สแกนได้ คือ 270 nm)

ตารางที่ 4.14ค่าการดูดกลืนของสารละลายมาตรฐานฟีนอล

ความเข้มข้นฟีนอล (ppm)	ค่าการดูดกลืน
1	0.022
3	0.073
5	0.115
10	0.189
15	0.267



ภาพที่ 4.7 เป็นกราฟที่แสดงค่าการดูดกลืนของฟีนอลแต่ละความเข้มข้นโดยวัดค่าการดูดกลืนที่ 270 nm

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน โดย ใช้ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมาทำการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 (mg/lit) ที่ความยาวคลื่น 270 nm ผลที่ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.15ค่าการดูดซับฟีนอลของของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย กรดฟอสฟอริก(H_3PO_4)

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ (mg/L)	ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ	ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ
50% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.05	9.751	97.51	2.48
เวลา 120นาที(H1)	0.10	7.740	77.40	22.60
	0.15	7.562	75.62	24.37

ตารางที่ 4.15(ต่อ)

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ (mg/L)	ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ	ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ
50% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.05	8.095	80.95	19.05
เวลา 120 นาที (H2)	0.10	7.740	77.40	22.60
	0.15	7.207	72.07	27.93
60% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.05	7.444	74.44	25.56
เวลา 30 นาที(H3)	0.10	7.207	72.07	27.93
	0.15	7.089	70.89	29.11
60% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.05	7.207	72.07	27.93
เวลา 30 นาที(H4)	0.10	7.799	77.99	22.01
	0.15	7.503	75.03	24.97
70% H_3PO_4ที่ T ห้อง	0.05	6.911	69.11	30.88
เวลา 30 นาที(H5)	0.10	6.320	63.20	36.80
	0.15	6.260	62.60	37.40
70% H_3PO_4ที่ T 60 C°	0.05	7.444	74.44	25.56
เวลา 30 นาที(H6)	0.10	6.793	67.93	32.07
	0.15	7.325	73.25	26.74

ตารางที่ 4.16ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

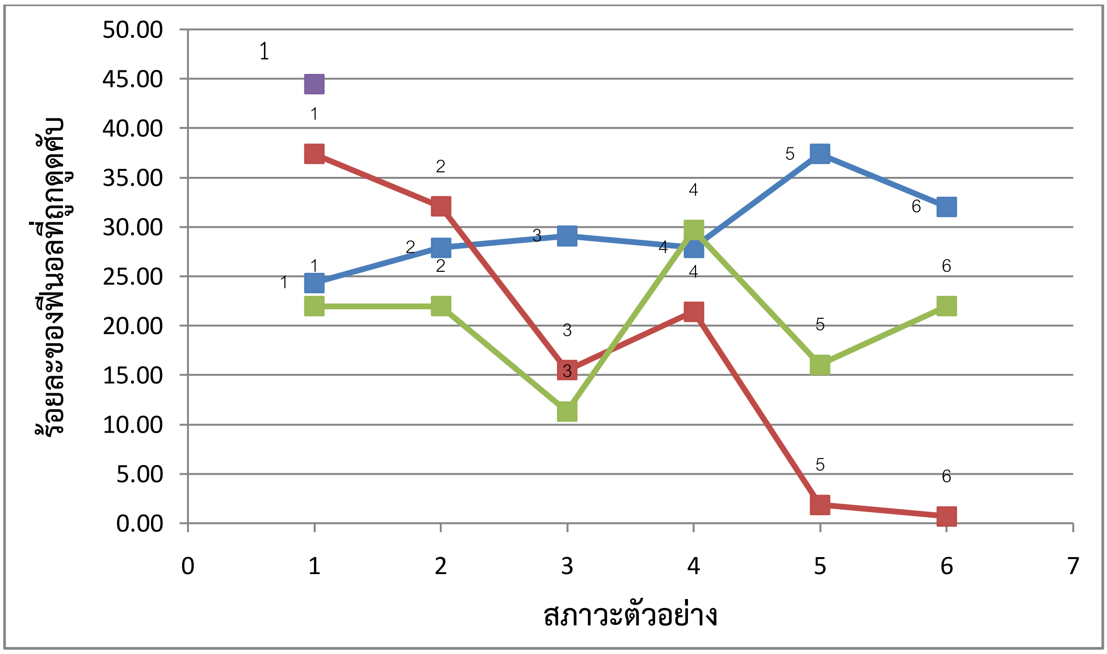
สภาวะการกระตุ้น	**น้ำหนักถ่าน (g)**	**ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ (mg/L)**	**ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ**	**ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ**
0.1 M KOH ที่ T ห้อง	0.05	7.325	73.25	26.75
เวลา 120 นาที(K1)	0.10	6.260	62.60	37.40
	0.15	6.260	62.60	37.40
0.1M KOH ที่ T 60C°	0.05	6.911	69.11	30.89
เวลา 120 นาที(K2)	0.10	6.793	67.93	32.07
	0.15	7.325	73.25	26.74
0.5M KOH ที่ T ห้อง	0.05	8.450	84.50	15.50
เวลา 60 นาที (K3)	0.10	8.509	85.09	14.91
	0.15	9.574	95.74	4.26
0.5M KOH ที่ T 60C°	0.05	7.858	78.58	21.42
เวลา 60 นาที(K4)	0.10	8.923	89.23	10.77
	0.15	9.101	91.01	8.99
1M KOH ที่ T ห้อง	0.05	9.811	98.11	1.89
เวลา 60 นาที(K5)	0.10	9.870	98.70	1.30
	0.15	9.988	99.88	0.12
1M KOH ที่ T 60C°	0.05	9.988	99.88	0.12
เวลา 60 นาที (K6)	0.10	9.988	99.88	0.12
	0.15	9.929	99.29	0.71

ตารางที่ 4.17ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ (mg/L)	ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ	ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ
0.1 M $ZnCl_2$ ที่ T ห้อง	0.05	8.509	85.09	14.91
เวลา 160นาที(Z1)	0.10	8.450	84.50	15.50
	0.15	7.799	77.99	22.01
0.1M $ZnCl_2$ที่ T 60C°	0.05	8.391	83.91	16.09
เวลา 60 นาที (Z2)	0.10	8.272	82.72	17.27
	0.15	7.740	77.40	22.60
0.5M $ZnCl_2$ที่ Tห้อง	0.05	9.101	91.01	8.99
เวลา 60 นาที(Z3)	0.10	9.101	91.01	8.99
	0.15	8.864	88.64	11.36
0.5M $ZnCl_2$ที่ T 60C°	0.05	8.272	82.72	17.27
เวลา 60 นาที(Z4)	0.10	8.272	82.72	17.27
	0.15	7.030	70.30	29.70
1M $ZnCl_2$ที่ T ห้อง	0.05	8.391	83.91	16.09
เวลา 60 นาที(Z5)	0.10	8.509	85.09	14.91
	0.15	8.509	85.09	14.91
1M $ZnCl_2$ที่ T 60C°	0.05	8.095	80.95	19.05
เวลา 60 นาที(Z6)	0.10	7.858	78.58	21.42
	0.15	7.799	77.99	22.01

ตารางที่ 4.18ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านเกรดการค้า

สภาวะการกระตุ้น	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ (mg/L)	ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ	ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่ถูกดูดซับ
เกรดการค้า	0.05	6.793	67.93	32.07
	0.10	5.964	59.64	40.36
	0.15	5.550	55.50	44.50



ภาพที่ 4.8แสดงร้อยละของการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ

(H: กระตุ้นด้วย H_3PO_4, K: กระตุ้นด้วย KOH, Z: กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$),

จากภาพที่ 4.8การวิเคราะห์การดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่างๆโดยแสดงค่าเป็นร้อยละการดูดซับฟีนอลพบว่าค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย KOH มีแนวโน้มลดลงเมื่อ ความเข้มข้นสูงขึ้น และ ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย H_3PO_4 และ $ZnCl_2$มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น สำหรับถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด ที่ค่าการดูดซับฟีนอลสูงสุด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิห้อง เวลา

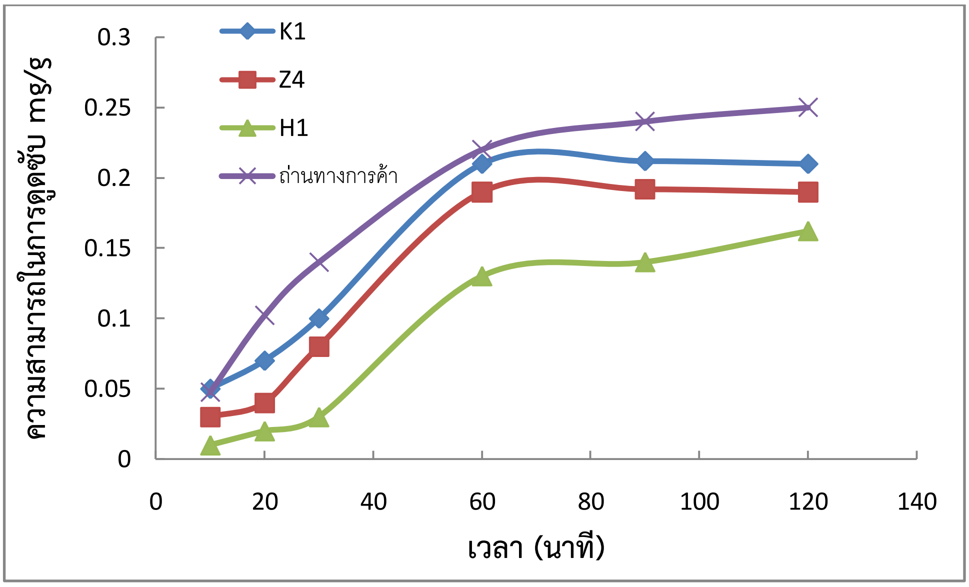
120 นาที(K1) แต่เมื่อเทียบการดูดซับฟีนอลกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ามีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้นั้นมีพื้นที่ผิวหรือรูพรุนที่น้อยกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

4.2.4 การศึกษาการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์

เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด ด้วยการหา equilibrium time ของการดูดซับมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดโดยเก็บตัวอย่าง ที่เวลา 10, 20, 30, 60, 90 และ120 นาทีทำการทดลอง 3 ซ้ำซึ่งมีสภาวะการกระตุ้นต่างกันโดยเลือกสภาวะที่ดีที่สุดจากการดูดซับไอโอดีน เมทิลลีนบลูและฟีนอลได้แก่

1. สภาวะกระตุ้น 0.1 M KOH ที่ อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีหรือ K1,
2. สภาวะกระตุ้น 50% H_3PO_4ที่ T ห้อง เวลา 120 นาที หรือ H1
3. สภาวะกระตุ้น 0.5 M $ZnCl_2$ที่ อุณหภูมิ 60 C° เวลา 60 นาที หรือ Z4

ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.9ความสามารถในการดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ

จากภาพที่ 4.9**จะเห็นว่าการดูดซับมีเทนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 60 นาที จากนั้นค่าการดูดซับจะค่อนข้างคงที่จนถึง 120 นาที ดังนั้น**การทดลองหาเวลาเข้าสู่สมดุลย์ของการดูดซับทำให้ทราบถึงเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ60นาทีและสภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุด คือ สภาวะการกระตุ้นด่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH ที่ อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีหรือ K1มีค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

ถ่านกัมมันต์(Activate carbon)เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นโดยผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และทำการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีหรือทางกายภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้มีพื้นที่สัมผัสผิวมาก จึงมีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ดังนั้นจึงทำการหาสภาวะการกระตุ้นทางเคมีที่เหมาะสมและนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการดูดซับสารต่างๆ เช่น การดูดซับไอโอดีน การดูดซับเมทิลลีนบลู การดูดซับฟีนอล และการดูดซับมีเทน

การหาปริมาณเถ้าและความชื้นในถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดที่มีสภาวะการกระตุ้นที่หลากหลาย คือสารกระตุ้น ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) พบว่าค่าร้อยละเถ้าจะมี ค่าอยู่ระหว่าง 1.75 -8.73 ส่วนค่าร้อยละความชื้นค่อนข้างที่จะแตกต่างกันชัดเจนคืออยู่ระหว่าง 5.07- 47.12

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$มีแนวโน้มสูงสุดรองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH และ H_2SO_4ตามลำดับ จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่สภาวะกระตุ้น 0.5 M $ZnCl_2$ที่อุณหภูมิ 60 C° เวลา 60 นาที หรือ Z4 ให้ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด แต่เมื่อเปรียบเทียบการ ดูดซับไอโอดีนกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ายังมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้อาจมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

การวิเคราะห์การดูดซับเมทิลลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย 50% H_3PO_4 ที่ อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที (H1) มีค่าสูงสุดและเมื่อเทียบการดูดซับไอโอดีนกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ามีค่า มากกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้ นั้นมีพื้นที่ผิวหรือรูพรุนที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลลีนบลูมากกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

การวิเคราะห์การดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีในสภาวะต่าง ๆโดยแสดงค่าเป็นร้อยละการดูดซับฟีนอล พบว่าค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย KOH มีแนวโน้มลดลงเมื่อ ความเข้มข้นสูงขึ้น และ ค่าการดูดซับฟีนอลของถ่านซังข้าวโพดที่กระตุ้น ด้วย H_3PO_4 และ $ZnCl_2$มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น สำหรับถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด ที่ค่าการ

ดูดซับฟีนอลสูงสุด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาที(K1) แต่เมื่อเทียบการ ดูดซับ ฟีนอล กับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า พบว่ามีค่า น้อยกว่า ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากถ่านกัมมันต์ที่ทำการผลิตได้นั้นมีพื้นที่ผิวหรือรูพรุนที่น้อยกว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า

การวิเคราะห์การดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีนั้นพบว่าเวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ60 นาทีและสภาวะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุดคือ สภาวะการกระตุ้นด่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิห้อง เวลา 120 นาทีหรือ K1 มีค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเผาถ่านควรเผาในที่อับอากาศหรือให้อากาศเข้าไปได้น้อยที่สุด
2. ถ่านกัมมันต์มีประโยชน์หลายด้าน ดังนั้นจึงควรมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไปเช่น การฟอกสี การกรองสิ่งสกปรก
3. สีที่ใช้ในการดูดซับ ควรเป็นสีย้อม

บรรณานุกรม

การกระตุ้น. [onling]. Available: http://siweb.dss.go.th/information/search_option2.asp?sub_RF_ID=11.[2555, ตุลาคม 23].

การผลิตถ่านกัมมันต์. [onling]. Available:http://charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/article3.php.[2555,พ.ค.22].

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546, **ของเสียอันตราย**, กรุงเทพฯ, หน้า 382-406.

ณัฐยา พูนสุวรรณ. (2545). **การเตรียมคุณสมบัติถ่านกัมมันต์จากลิกไนต์และชานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.**

นภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2545). **การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี** .นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. บัณฑิตวิทยาลัย.

นิธิรัชต์ สงวนเดือน . **การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากซังข้าวโพดเปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวัน** . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

นำพล สุขเจริญ.(2555). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากมะขามเปรี้ยว.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

พลัฏฐ์โสภณากิจโกศล. (2544). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก .** กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย.

พงศธร โคว้คชาภรณ์ . **ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด** . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์(วิศวกรรมเคมี)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บัณฑิตวิทยาลัย, 2537.

วรดาณ์ มูลศรีแก้ว . **การผลิตน้ำมันชีวภาพจากซังข้าวโพดต้นสบู่ดำและกากผลมะนาวและปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเคมี)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2551.

ภาณุวัตร์ จิตพุทธิ. **การกำจัดโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว** .วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเคมี)มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2543.

สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง. **การหาการดูดซับไอของโทลูอีนและไซลีนบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมจากซังข้าวโพดโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี** . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเคมี)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. (2547). ถ่านกัมมันต์. มอก. 900-2547.

ถ่าน. [onling]. Available :http://www.baanmaha.com/community/thread29883.html. [2555,ต.ค.20].

อาสยา ปราชญาพร. **การกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ควอเทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์แซลลูโลสที่เตรียมจากซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านทานตะวัน**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

Anderson, M.A. and Rubin, A.J., 1981, **Adsorption of Inorganic at Solid-Liquid Interfaces**, Ann Arbor Science, Michigan, pp. 1-355.

*Bagheri N., AbediJ.,***Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon chemical engineering research and design**, 8 9 (2011):pp 2038–2043.

Danald, L. S., 1995, **Environmental Soil Chemistry**, Acadamic Press, USA, pp. 100-185.

Davidson, J.H. and Mcmurry, P.H., **Adsorption** [online], Available : http://www.me.umm. edu/courses/me5115/notes/adsorption-1.htm [2006, January 24].

Eremina, A.O., Golovina, V.V., Ugal, M.Yu. and Ruckovskii A.V. (2003). **Activated Carbons From Waste Wood in Wastewater Treatment To Remove Surfactants**. Russian Journal of Applid Chemistry, Vol. 77, No 5, pp. 775-778.

Faust, S.D and Aly, O.M., 1987, **Adsorption Processes for Water Treatment**, Boston, Butterworth

Faust, D.S. and Aly, O.M., 1988, **Chemistry of Water Treatment**, Boston, Butterworth

McKay, G., Blair, H.S. and Gardner, J., 1983, "**The Adsorption of Dyes in Chitin Intraparticle Diffusion Process**," **Journal of Applied Polymer Science,** Vol. 28, pp.1767-1778.

Sanuel, D.F. and Osman, M.A., 1987, **Adsorption Processes for Water Treatment**, Butterworths Publishers, USA., pp. 14-20.

Sundstrom, D.W. and Klei, H.B., 1979, **Wastewater Treatment**, New Jersey, Prentice-Hall, pp. 241-253.

Tien, C., 1994, **Adsorption Calculations and Modeling,** Butterworth-Heinemann, Boston, pp. 29-40.

Weber, W.J. Jr., 1972, **Physicochemical Process for Water Quality Control**, Wiley Interscience, USA., pp.117-119.

Zhang, H., Yang,Y., และ Yang, L., (2010**). Preparation of activated carbon from sawdust by zinc chloride Activation.**Journal Absorption. 16:161-166.

Farzad S., Taghikhan V., Ghotbi C., Aminshahidi B., Nemati N.L **Experimental andtheoretical study of the effect of moisture on methane adsorption and desorptionbyactivated carbon at 273.3K**, Journal of Natural Gas Chemistry,16 (2007):pp 22-30.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์มอก.900-2547

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์มอก.900-2547

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำตาล น้ำมันพืช น้ำอัดลม โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต (Monosodium L-Glutamate) ใช้ดูดก๊าซในก้นกรองบุรี่ เครื่องทำให้อากาศบริสุทธิ์ในโรงงานและใช้ในการกรองน้ำ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

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

2.2.ค่าไอโอดีน (Iodine number) หมายถึงจำนวนมิลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนหลังจากถูกดูดซับเป็น 0.01โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

3. ชนิดและชั้นคุณภาพ

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

3.1.ชนิดผง(powdered activated carbon)

3.2.ชนิดเม็ด (granular activated carbon) แบ่งออกเป็นสองชั้นคุณภาพคือ

- ชั้นคุณภาพพิเศษ (premium graed)
- ชั้นคุณภาพที่ 1(first graed)

3.3. ชนิดอัดเม็ด(pelletised activated carbon)

3.4. ชนิดแท่ง(block activated carbon)

4. ขนาด

4.1. ชนิดผง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.1

4.2. ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ดให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ปริมาณที่ผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2.2

4.3. ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 ชนิดผง ต้องเป็นผงสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.2 ชนิดเม็ดและชนิดอัดเม็ด ต้องเป็นเม็ดสีดำ ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

5.1.3 ชนิดแท่ง ต้องเป็นแท่ง ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

การทดสอบให้ทำการตรวจพินิจ

5.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

5.2.1 ชนิดผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก1

ตารางที่ ผก1คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดผง(powdered activated carbon)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.75	

5.2.2 ชนิดเม็ด เป็นไปตามตารางที่ ผก2

ตารางที่ ผก2คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดเม็ด(granular activated carbon)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบตาม
		ชั้นคุณภาพพิเศษ	ชั้นคุณภาพที่ 1	
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	1000	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8		
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเซนติเมตร	0.20		AWWA B604
4	ความแข็ง (Abrasionresistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70		Ro-Tap Abrasion test

5.2.3. ชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ผก3

ตารางที่ ผก3คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดอัดเม็ด (pelletised activated carbon)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8	
3	ความหนาแน่นปรากฏกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเซนติเมตร	0.20	
4	ความแข็ง (Abrasionresistance) ร้อยละไม่น้อยกว่า	70	AWWA B604 Ro-Tap Abrasion test

5.2.4.ชนิดแท่ง ให้เป็นไปตามตารางที่ ผก4

ตารางที่ ผก4คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของชนิดแท่ง (block activated carbon)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า	600	AWWA B604
2	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	8	

6. การบรรจุ

6.1. ให้บรรจุถ่านกัมมันต์ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2. น้ำหนักสุทธิของถ่านกัมมันต์ในแต่ละภาชนะที่บรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1. ที่ภาชนะบรรจุถ่านกัมมันต์ทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ซื้อผลิตภัณฑ์ตามชื่อมาตรฐาน

(2) ชนิด และชั้นคุณภาพ

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ในการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ข

9. การทดสอบ

9.1. ข้อกำหนดทั่วไป

9.1.1. ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

9.1.2. หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น น้ำกลั่นและสารเคมีที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์เหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

9.2. การทดสอบขนาด

9.2.1. ถ่านกัมมันต์ผง

1) เครื่องมือ

- แร่ง 150 ไมโครเมตร
- กูชครูซิเบิล

2) วิธีทดสอบ

นำตัวอย่างประมาณ 25 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จากนั้นให้รีบชั่งให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม (m_0) เทตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้เข้ากัน ทำแร่งให้เปียกก่อนแล้วเทตัวอย่างช้า ๆ ผ่านแร่งในขณะที่เทให้คนตัวอย่างเป็นครั้งคราว ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมด เมื่อเทตัวอย่างทั้งหมดลงบนแร่งแล้วใช้น้ำล้างตัวอย่างอีกจนกระทั่งไม่มีตัวอย่างผ่านแร่งอีก ถ่ายตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง โดยใช้น้ำช่วยใส่ลงในบีกเกอร์แล้วกรองผ่านกูชครูซิเบิลซึ่งทราบมวลแน่นอนแล้ว นำกูชครูซิเบิลนั้นไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงจนได้มวลที่คงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วรีบชั่งน้ำหนักทันที (m_1)

3) วิธีคำนวณ

คำนวณหาปริมาณที่ผ่านแร่ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณที่ผ่านแร่ง ร้อยละโดยน้ำหนัก} = 1 \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งแรก เป็นกรัม

m_1 คือ มวลของตัวอย่าง หลังจากอบแห้งครั้งที่ 2 เป็นกรัม

9.2.2. ถ่านกัมมันต์เม็ดและถ่านกัมมันต์อัดเม็ด

1)เครื่องมือ

- แร่ง 150 ไมโครเมตร

- เครื่องเขย่าที่มีอัตราการเขย่า 285 รอบต่อนาที ± 5 รอบต่อนาที มีลักษณะการเขย่าเป็นแบบขึ้นลงและหมุนวนพร้อมกัน

2)วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม ใส่ในแร่งเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 3 นาที ถ่ายส่วนที่ค้างบนแร่งทั้งหมดลงในภาชนะที่ทราบมวลแน่นอนแล้ว ชั่งแล้วคำนวณส่วนที่ค้างบนแร่งเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

9.3 น้ำหนักสุทธิ

ชั่งตัวอย่างทั้งหมดพร้อมภาชนะบรรจุแล้วเทตัวอย่าวออกชั่งภาชนะเปล่าแล้วเฉลี่ยผลต่างของมวลที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักสุทธิต่อภาชนะบรรจุ

ภาคผนวก ข

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน (ข้อ 8)

1. รุ่นในที่นี้ หมายถึง ถ่านกัมมันต์ชนิดและชั้นคุณภาพเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2. การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ

2.1.1. ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ ผข 1

2.1.2. ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6. จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ผข1แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ

ขนาดรุ่นหน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่างหน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26 ถึง 50	4
51 ถึง 100	5
101 ถึง 300	6
301 ถึง 500	7
501 ถึง 800	8
801 ถึง 1000	9
เกิน 1001	10

2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

2.2.1. ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ ผข2

2.2.2. จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ผข. 2 จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามที่กำหนด

ตารางที่ ผข2แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบเครื่องหมายและฉลาก

ขนาดรุ่นหน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่างหน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 280	2	0
281 ถึง 500	8	1
เกิน 500	13	2

2.3. การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และคุณลักษณะที่ต้องการ

2.3.1. ให้ชักตัวอย่างจากตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายและฉลากแล้วมาภาชนะบรรจุเท่า ๆ กันให้ได้ตัวอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 1 500 กรัม ผสมตัวอย่างทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุแต่ละส่วนลงในภาชนะที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท พร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นไว้ ตัวอย่างส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการวิเคราะห์อีก 2 ส่วนที่เหลือให้ผู้เกี่ยวข้องเก็บไว้เป็นหลักฐาน

2.3.2. ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4 และข้อ 5 ทุกรายการ จึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3. เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต้องเป็นไปตามข้อ 2.1.2., ข้อ 2.2.2. และข้อ 2.3.2. ทุกข้อจึงจะถือว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ค
รูปภาพงานวิจัย

ภาพที่ ผค1 เครื่องชั่ง 4ตำแหน่ง

ภาพที่ ผค2 Hotplate & Stirrer

ภาพที่ ผค3 โถดูดความชื้น

ภาพที่ ผค4 ผ้าขาวบางและตะแกรงกรอง

ภาพที่ ผค5 เตาเผาอุณหภูมิสูง

ภาพที่ ผค6 เครื่อง UV-Vis

ภาพที่ ผค7เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าได้

ภาพที่ ผค8 ตู้อบ

ภาพที่ ผค9 การเผาถ่านจากซังข้าวโพด

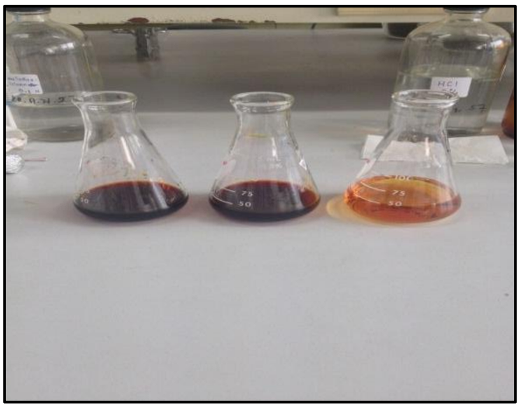
ภาพที่ ผค10 ควันบ้าจากการเผาถ่าน

ภาพที่ ผค11 เขย่าถ่านที่กระตุ้นที่อุณหภูมิต่างๆ

ภาพที่ ผค12 อบถ่านที่กระตุ้นแล้ว

ภาพที่ ผค13 ล้างถ่านที่กระตุ้นแล้ว**ภาพที่** **ผค14** การหาร้อยละของเถ้า

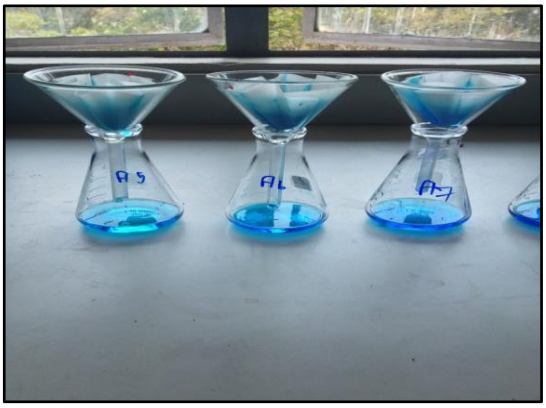
ภาพที่ ผค15 การหาร้อยละความชื้น**ภาพที่** **ผค16** กระดาษกรองเบอร์ 42



ภาพที่ผค17 การกรองไอโอดีนจากถ่าน

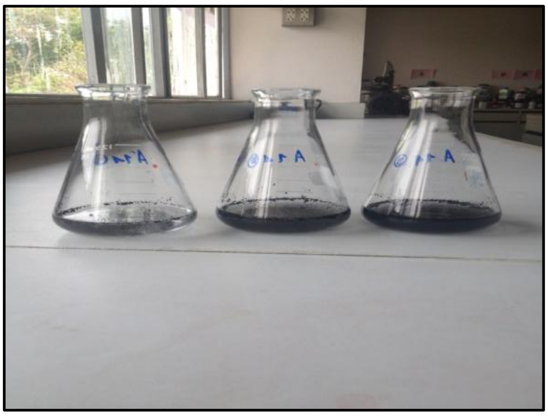
ภาพที่ผค18 ไทเทรตไอโอดีนให้สีจางลง

ภาพที่ ผค19 ไทเทรตไอโอดีนให้ถึงจุดยุติ

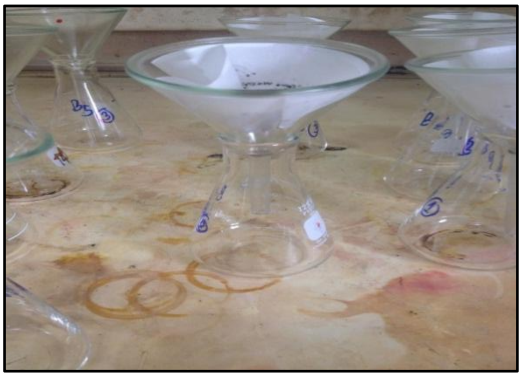


ภาพที่ ผค 20 กรองเมทิลลีนบลูจากถ่าน

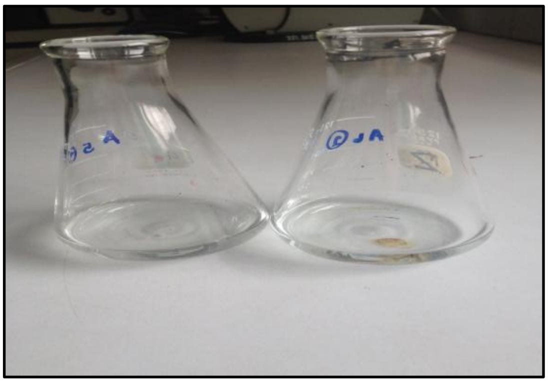
ภาพที่ ผค21 เมทิลลีนบลูที่กรองแล้ว



ภาพที่ ผค22 ใช้ถ่านดูดซับฟีนอล



ภาพที่ ผค 22 การกรองฟีนอลจากถ่าน



ภาพที่ ผค22 ฟีนอล ที่กรองแล้ว

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวรุจิรา ปิ่นแก้ว
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Ruchira Pinkaew
ที่อยู่ปัจจุบัน 471 หมู่ 2 ตำบลพุเตย อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ 67180
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาเคมี
ประวัติการศึกษา ปี 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
วท.บ. (เคมี) มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
ปี 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท
วท.ม. (เคมีวิเคราะห์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่

ผลงานวิชาการ 1. โครงงานวิจัย เรื่อง Derivative Spectrophotometry for The Simultaneous Determination of Acetyl Salicylic Acid, Caffeine and Paracetamol, ด้วยเงินอุดหนุนงานวิจัย สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก , 2550

2. ผลงานวิจัยเรื่อง Effect of Solvent Systems on Reflux Extraction of Pigments in Yellow Thai Silk Cocoon ชื่อวารสาร : วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ : 3 ฉบับที่ : 1 เลขหน้า : 226-233 ปีพ.ศ. : 2554 ได้รับทุนจาก PERCH CIC มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิไลพร ปองเพียร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wilaiporn Pongpian
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาเคมี
ที่อยู่ปัจจุบัน 69/19 ถนนกลางเมืองพัฒนา ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา ปี พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
วท.บ. (เคมี) จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์

ปี พ.ศ. 25 52 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. วิทยาศาสตรศึกษา(เคมี) จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์

ผลงานวิชาการ

1. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขามของชุมชน จังหวัดเพชรบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2549
2. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วง ในปี พ.ศ. 2550
3. นำเสนอผลงานวิจัยโดยปากเปล่า ในงานเกษตรแห่งชาติ ปี 2551 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร เรื่อง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของแอนโธไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกจากพืชพื้นบ้านที่มีสี
4. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในฟักแม้ว ในปี พ.ศ. 2551
5. ทำงานวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ แอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในพืชพื้นบ้านที่มีสีม่วงแดง เป็นงานวิจัยระดับปริญญาโท 2552
6. ทำงานวิจัย เรื่อง การศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกากงา เพื่อช่วยยับยั้งการเหม็นหืน ในปี พ.ศ. 2552
7. ทำงานวิจัย เรื่อง การใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารประกอบไอออนิก เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ สำหรับนักศึกษาที่มีข้อจำกัดในการสืบค้นเอกสารตำรา ในปี พ.ศ. 2553
8. เรื่อง การพัฒนาสูตรสบู่แฟนซีจากน้ำมันที่ใช้แล้ว พ.ศ. 2554 และได้ ตีพิมพ์ลงในราชภัฏเพชรบูรณ์สาร ปีที่ ๑๔ ฉบับที่ ๑

การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน

Production and Preparation of Activated Carbon from Waste Corncob for Adsorption Methane

รุจิรา ปิ่นแก้ว

วิไลพร ปองเพียร

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2556