

การดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) โดยใช้ถ่านกัมมันต์



นายศรราม วิเชียรพงษ์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) โดยใช้ถ่านกัมมันต์



นายศรธรรม วิเชียรพงษ์

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา พ.ศ.2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adsorption of Copper (II) Sulphate (CuSO_4) Solution

Using Activated Carbons



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) โดยใช้ถ่านกัมมันต์

โดย นายศรธรรม วิเชียรพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี


คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)


.....กรรมการ

(อ. บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)


.....กรรมการ

(ดร. วิจิตรา วงศ์พร้อมรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) โดยใช้ถ่านกัมมันต์
โดย	นายศรธรรม วิเชียรพงษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่มีขนาดและค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ต่างกันนำมาดูดซับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) วัดคุณสมบัติของงานวิจัยคือเพื่อศึกษากระบวนการดูดซับโลหะคอปเปอร์แบบกะของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยพิจารณาจากการผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร คือ ขนาด ค่าไอโอดีน และปริมาณของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่มีต่อผลต่อการกำจัดคอปเปอร์ไอออน ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ในขั้นแรกเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 ที่มี Mash size ขนาดอย่างละ 2 ช่วงคือ Mash size ที่ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80 ใช้อย่างละ 0.2 กรัม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ไอออนที่ 25 ppm นำไปตรวจหาปริมาณของคอปเปอร์ไอออนในสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าไอโอดีนที่ 1150 ที่มี Mash size ขนาด 60-80 มีปริมาณการดูดซับคอปเปอร์ไอออน เป็นระยะเวลา 120 นาที ได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ เมื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณของถ่านกัมมันต์ทางการค้าโดยใช้ปริมาณของถ่านกัมมันต์ทางการค้าเพิ่มจากขั้นแรกเป็น 2.0 กรัม ส่งผลให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนของถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

Report title	Adsorption of Copper (II) Sulphate (CuSO_4) Solution Using Activated Carbons
By	Mr. Sornram Wichianpong
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2016
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Kraiwattanawong

ABSTRACT

This research was adsorption of copper (II) sulphate (CuSO_4) solution using activated carbons commercial with the size and iodine value of activated carbons to absorb the difference in copper (II) sulphate (CuSO_4) solution. The purpose of the research was to study on the adsorption process of copper metal ions batch of activated carbon commercial and determination of adsorption using atomic absorption spectrophotometer by considering the effect of changing variables were mash size, iodine value and amount of activated carbon commercial which has an effect on the removal of copper metal ions. Under atmospheric pressure and room temperature. Firstly, The Comparison of iodine value of activated carbon commercial were 750 and 1150 that have mash size 2 each during the first period mash size is 25-60 and the second 60-80 using 0.2 g of each sample by using solution of copper (II) sulphate concentration of 25 ppm. To detect the amount of copper metal ions in solution by atomic absorption spectrophotometer. The results was iodine value at 1150 with period mash size 60-80 doses of copper ion adsorption time of 120 minute, better. Learn more on the amount of activated carbon a commercial using quantity of activated carbon commercial increased from initially as 2.0 g. As a result, the rate of adsorption of copper ions from activated carbon commercial increases.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยด้วยเงินรายได้คณะ

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือ เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์) ในห้องปฏิบัติการชั้น 5 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ในห้องปฏิบัติการชั้น 1 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ คุณพิมพ์ใจ ภูชนะกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานในการสั่งซื้อ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ หากวิจัยเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายศรราม วิเชียรพงษ์
9 พฤษภาคม 2560

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ถ่านกัมมันต์	4
2.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	9
2.3 การดูดซับ	11
2.4 คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CUSO ₄)	16
2.5 เครื่องอะตอมมิคเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชั่น สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	21
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 การเตรียมตัวดูดซับ	22
3.4 การทดลองการดูดซับไอออนของโลหะคอปเปอร์แบบกะ	22
3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณคอปเปอร์ไอออน	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	25
4.1 ผลการทดลองของการดูดซับคอปเปอร์ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ทางการค้า	25
4.2 สมบัติของปริมาณถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีผลต่อการดูดซับ	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก. กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)	35
ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบ	38
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ	43
ภาคผนวก ง. เครื่องมือวิเคราะห์	47
ภาคผนวก จ. ข้อมูลถ่านกัมมันต์ทางการค้า	49

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ	12
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเข้มข้นคอปเปอร์ไอออน ณ เวลาต่างๆ	25
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเข้มข้นคอปเปอร์ไอออน ณ เวลาต่างๆ (ก่อนและหลังเพิ่มปริมาณ ถ่านกัมมันต์)	27
ตารางที่ ก-1 ข้อมูลแสดงความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์(ppm)และค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 324.8 nm	36
ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550 และที่ขนาดของ Mesh size 25-60	39
ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550 และที่ขนาดของ Mesh size 60-80	40
ตารางที่ ข-3 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 750 และที่ขนาดของ Mesh size 25-60	40
ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 750 และที่ขนาดของ Mesh size 60-80	41
ตารางที่ ข-5 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550 และที่ขนาดของ Mesh size 25-60 (ปริมาณ 2.0 กรัม)	42
ตารางที่ ค.1 ผลการคำนวณร้อยละการดูดซับสารละลาย	45

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 carbon-oxygen complexes บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์	9
รูปที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างของถ่านกัมมันต์	10
รูปที่ 2.4 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาถ่านกัมมันต์	13
รูปที่ 2.5 แสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์	13
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง PH กับประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก	15
รูปที่ 2.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น(ground state) เป็นสถานะกระตุ้นเป็นสถานะกระตุ้น(exited state)	17
รูปที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A1, A2, B1 และ B2	26
รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน C1 และ C2	28
รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) คอปเปอร์	37
รูปที่ ง.1 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer, AAS)	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งทำให้มีของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นตามมา โลหะหนักก็เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่อยู่ในรูปของเสียซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตวัตถุดิบจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันอย่างมาก อาจสะสมอยู่ในดิน น้ำ หรืออากาศ ตัวอย่างเช่นปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและโครเมียม เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้เป็นของเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างเช่นโรงงานสีย้อมผ้า โรงงานไฟฟ้า โรงงานชุบโลหะ หรือโรงงานผลิตแบตเตอรี่ เป็นต้น โลหะหนักเหล่านี้เป็นของเสียที่เกิดอันตรายอย่างมากต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิต สิ่งไม่มีชีวิตและระบบนิเวศ เมื่อได้รับสารเคมีเหล่านี้เข้าไปอาจก่อให้เกิดโรคหรืออันตรายต่างๆจนถึงขั้นก่อให้เกิดความเสียหายหรือถึงแก่ชีวิต เช่นโรคไตจากตะกั่ว โรคมะเร็งจากโครเมียม โรคโลหิตและระบบประสาทเสียสัมผัสจากทองแดง เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ วิธีการกำจัดนั้นมีได้หลากหลายวิธีที่จะกำจัดจากของเสีย ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี ขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน การบำบัดทางชีวภาพ การใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนซึ่งล้วนแต่เป็นวิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้ดี แต่ทั้งนี้การเลือกใช้แต่ละวิธีการกำจัดต้องดูความสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพราะต้องใช้เทคโนโลยีในการกำจัดและต้องมีการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากสามารถนำวัตถุดิบหรือวัสดุที่หาได้ง่ายราคาถูกมาใช้กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียก็นับได้ว่าเป็นการช่วยจัดการกับของเสียเหล่านั้นอีกทางหนึ่ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีและราคาถูกคือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นสารอินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตมาจากกะลามะพร้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาถูกและมีคุณสมบัติที่ให้ผลดีในเรื่องโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจึงทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง ส่งผลให้มีสมบัติการดูดซับที่สูงตามไปด้วย จึงมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้เป็นสารดูดซับในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โลหะหนักที่เราสนใจวิจัยครั้งนี้คือ คอปเปอร์ซึ่งเป็นโลหะหนักที่พบมากในอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ และมีความเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการน้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ รวมทั้งเป็นประโยชน์ในการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับอีกนัยหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการดูดซับคอปเปอร์ไอออนแบบกะของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร คือ ขนาดของ Mesh size ค่าไอโอดีน และ ปริมาณของ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่มีผลต่อการกำจัดคอปเปอร์ไอออน

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการดูดซับคอปเปอร์ไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับออกจากสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 1.3.2 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงขนาดและค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ไอออนอยู่ 25 ppm โดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 โดยแต่ละค่าไอโอดีนจะใช้ขนาดของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มี Mesh size ขนาด 2 ช่วงคือ Mesh size ที่ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80 ใช้ อย่างละ 0.2 กรัม เท่ากันทั้ง 2 ช่วงของ Mesh size ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง
- 1.3.3 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.2 และ 2 กรัม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 โดยแต่ละค่าไอโอดีน จะใช้ขนาดของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มี Mash size ขนาด 2 ช่วงคือ Mash size ที่ ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80 ภายใต้ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ไอออน 25 ppm อย่างละเท่ากัน ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการดูดซับและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
- 1.4.2 ออกแบบการทดลอง จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีรวมถึงเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม
- 1.4.3 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่จำเป็นต้องการใช้ในการทดลอง
- 1.4.4 ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้และวิเคราะห์ผลครบตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด
- 1.4.5 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงานการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าตามผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่กำหนด
- 1.5.2 ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออน และสามารถนำสถานะที่เหมาะสมนี้ไปประยุกต์กับการใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้
- 1.5.3 ได้เกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและฝึกความรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน ตลอดจนได้พัฒนาความคิดในด้านการแก้ไขปัญหาอย่างมีเหตุผล
- 1.5.4 ได้เรียนรู้การทำงานและวางแผนงาน

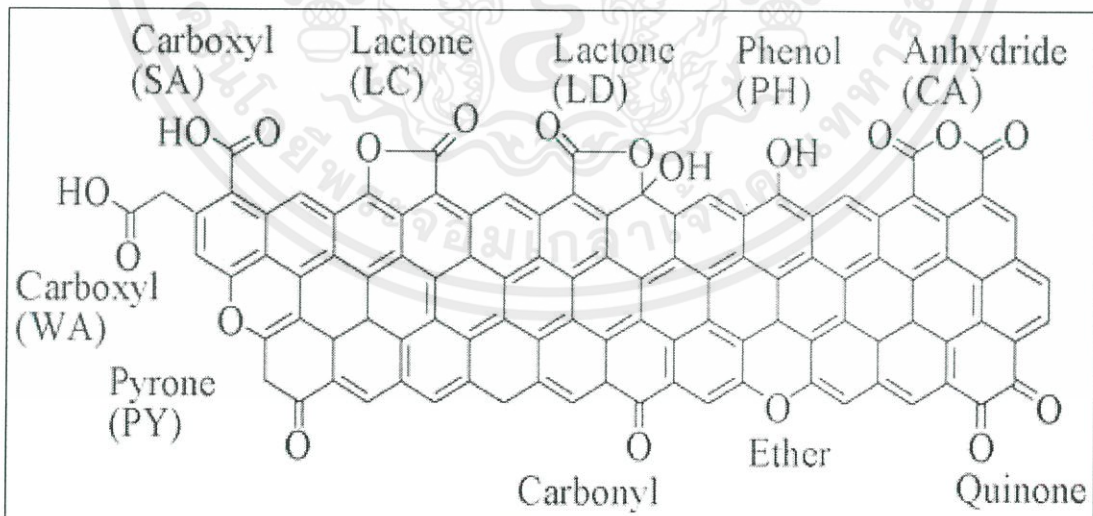


ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์ [1]

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ตัวดูดซับที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ถ่านหิน ไม้ กะลามะพร้าว และ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัตถุดิบราคาถูกที่มีปริมาณคาร์บอนที่สูง ปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าต่ำ มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (activation) จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งชนิดเม็ดและผงสีดำที่ลักษณะโครงสร้างมีความพรุนและพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) สูง หากดูพื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง และ โครงสร้างของผิวเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีขั้ว (polar) เพียงเล็กน้อยเนื่องจากมี carbon-oxygen complexes เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตหรือเกิดจากการออกซิเดชันของอากาศในระหว่างขั้นตอนการกาดัน ดังนั้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จึงมีความชอบน้ำ (hydrophilicity) และมีความเป็นกรด (acidity) carbon-oxygen complexes บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ จะประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังนี้

- คือ
- 1) หมู่คาร์บอกซิลิกที่แรง (strong carboxylic groups)
 - 2) หมู่คาร์บอกซิลิกที่อ่อน (weak carboxylic groups) ซึ่งจะอยู่ในรูปของหมู่แล็กโตไน (lactone) รวมกับหมู่คาร์บอนิล (carbonyl)
 - 3) หมู่ฟีนอลิก (phenolic groups)
 - 4) หมู่คาร์บอนิล (carbonyl groups)



รูปที่ 2.1 carbon-oxygen complexes บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ [1]

ตามปกติแล้วถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึก มีการเปลี่ยนแปลงและรูปร่างตามอุณหภูมิที่เผา รูปร่างอะตอมคาร์บอนจะเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบที่นำมาใช้ โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีผลอย่างสำคัญยิ่งต่ออัตราส่วนของพื้นผิวต่อขนาด โดยรูพรุนขนาดใหญ่จะไม่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์มากนัก ดังนั้นในการกระตุ้นคาร์บอนจึงเป็นการทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพื่อให้มีพื้นที่สัมผัสมากขึ้นสำหรับทำงานในการดูดซับ ซึ่งแบ่งขนาดของรูพรุนเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- 1.) Micropores คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย
- 2.) Transitional pores or Mesopores คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักใช้กับปฏิกิริยาที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)
- 3.) Macropores คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกและยา

อัตราการดูดซับจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของคาร์บอน แต่ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัส ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ต้องมีขนาดต่างกันเพียงนิดหน่อย และไม่เล็กจนเกินไป เพื่อที่จะป้องกันการเกิดความดันลดภายในการดูดซับมากเกินไป และการหลุดลอยของถ่านกัมมันต์ไปตามอากาศรวมทั้งการกั้นถ่านกัมมันต์ที่ขนาดเล็กเกินไปติดไปกับสารละลายที่เราจะตรวจสอบในเครื่อง ซึ่งอาจทำให้ยากต่อการกรองออกและทำให้เกิดผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับที่คลาดเคลื่อน

2.1.1 การผลิตถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไร และต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติอย่างไร กรรมวิธีโดยทั่วไปประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบ หมายถึง การอบแห้ง การบด การทำให้เป็นเม็ด การเผาที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือสารออกซิไดส์ต่างๆ ซึ่งโดยปกติแล้วการผลิตถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ [2]

2.1.1.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ของวัตถุดิบ ให้เป็นสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักที่เรียกว่า “ถ่าน” ด้วยความร้อนในบรรยากาศที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน ณ อุณหภูมิของการผลิตถ่านที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบแต่ละ ชนิด อุณหภูมิของการผลิตถ่านมีผลต่อผลผลิตและคุณลักษณะของถ่านที่ผลิตได้ การผลิตถ่านจากวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะแข็งมากตามธรรมชาติ เช่น พวงเชลลูโลสที่มาจากพืช พวกถ่านหิน และพวกวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ จำเป็นต้องเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อระเหยสารประกอบ อินทรีย์ระเหยง่าย สลายพันธะสารประกอบอินทรีย์ในวัตถุดิบที่ยกตัวอย่างไปข้างต้นและลดความแข็งของวัตถุดิบ

2.1.1.2 กระบวนการคาร์บอนไนซ์ [3]

เป็นกระบวนการไพโรไลซิส หรือการสลายตัวของชีวมวล ด้วยความร้อนในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนทำให้คาร์บอนบริสุทธิ์โดยกำจัดธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน ได้แก่ กลุ่มออกไซด์ (Oxide Group) และ ไฮโดรเจน (Hydrogen Group) ที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ออกโดยการใช้อุณหภูมิสูง โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อการคาร์บอนไนซ์ คือ

- 1.) อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด อันเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณของถ่านกัมมันต์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้จะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น
- 2.) ตัวกลางปฏิกิริยา การที่แก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยา-การเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้จะน้อยกว่าในสภาวะที่ใช้ตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า
- 3.) อัตราการให้ความร้อน อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติ ปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย
- 4.) ตัวกลางปฏิกิริยา การที่แก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา โดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยา-การเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้จะน้อยกว่าในสภาวะที่ใช้ตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

2.1.1.3 ขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

เป็นขั้นตอนเพิ่มพื้นที่ผิวโดยทำให้ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเปลี่ยนอะตอมคาร์บอนบางส่วน ของถ่านที่ผลิตได้ ให้เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วนเพื่อให้เกิดรูพรุนในถ่านกัมมันต์ และสร้างหมู่สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่มีธาตุดอกซิเจน และหมู่เปอร์ออกไซด์ เป็นต้น โดยกระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จะมีขั้นตอนดังนี้

1.) กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี

เป็นการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยทำปฏิกิริยากับสารเคมี อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือต้องล้างสารเคมีที่ตกค้างออก จึงจะสามารถนำไปใช้งานต่อได้

2.) กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพ

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สหรือไอน้ำ แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆที่นิยมใช้ เช่น ไอน้ำอิมิตัวยิ่งยวด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และอากาศ เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อนปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้ แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส ปัจจุบันที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี กระบวนการกระตุ้น คาร์บอน จะทำปฏิกิริยากับแก๊ส ออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กๆจำนวนมาก เกิดช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) การกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูที่ถูกปิดและสร้างรูใหม่ขึ้นมาด้วย ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพ “การกระตุ้นด้วยไอน้ำ” ปฏิกิริยานี้ใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 760 - 950 องศาเซลเซียส ดังสมการ



2.1.2 วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ [4]

การผลิตถ่านกัมมันต์มีวัตถุดิบที่ใช้ผลิตที่ขึ้นกับกระบวนการผลิต อาจเป็นอินทรีย์วัตถุหรือถ่านก็ได้อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถแบ่งตามเป็นชนิดต่างๆได้ตามดังต่อไปนี้

- พวกเซลล์ลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้เลื่อย ชานอ้อย เปลือกทุเรียน ชังข้าวโพด เป็นต้น
- พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท บิทูมินัส เป็นต้น

- พวกวัตถุติบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก เปลือกหอย เป็นต้น

2.1.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์ [5]

ชนิดของถ่านกัมมันต์จะแบ่งออกตามความเหมาะสมสำหรับการใช้งานได้ดังนี้

2.1.3.1 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น

- การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมี เช่น ซิงค์คลอไรด์, กรดฟอสฟอริก, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ฯลฯ การกระตุ้นทางเคมีจะได้ผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง การสูญเสียคาร์บอนระหว่างกระบวนการผลิตถ่านน้อย อุณหภูมิไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส

- การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซหรือไอน้ำ ขนาดของรูพรุนจะมีขนาดเล็ก

2.1.3.2 แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์ [6]

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) รูพรุนขนาด 1.5 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดก๊าซและไอระเหย
- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) รูพรุนประมาณ 1.5-100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction)
- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) รูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

2.1.3.3 แบ่งตามลักษณะรูปร่าง [7]

- ประเภทผง (Powder activated carbon หรือ PAC) ขนาดเล็กกว่า 0.18 มิลลิเมตร ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลวและการดูดกลิ่น
- ประเภทเกล็ด (Granular activated carbon หรือ GAC) ขนาด 0.2-5.0 มิลลิเมตร ใช้ทำหน้ากักป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ
- ประเภทเม็ด (Pelleted activated carbon) ขนาด 0.8-5.0 มิลลิเมตร ใช้ในการกรองและการดูดซับไอพิษ
- ประเภทเส้นใย (Cloth and fibers activated carbon) ใช้ในการดักจับโมเลกุลของแก๊สและไอระเหย

2.1.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ [8]

2.1.4.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย มีดังต่อไปนี้

- กำจัดสิ่งเจือปนออกจากแก๊ส เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน
- ใช้แยกแก๊สโซลีนออกจากแก๊สธรรมชาติ

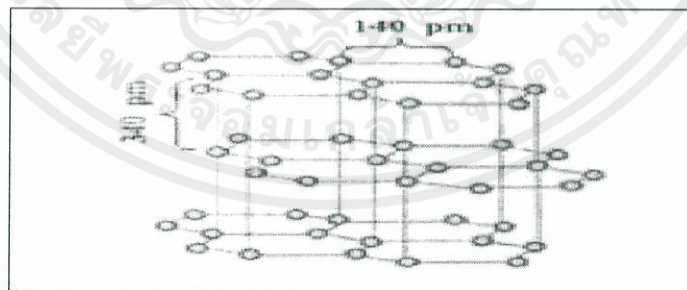
- ใช้แยกเบนซีน (benzene) ออกจากแก๊สอุตสาหกรรม
- ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้ว เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้น ที่อุณหภูมิห้องและคายออกที่ความดันของไอต่างๆ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การหมักอุตสาหกรรมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น
- แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น
- กำจัดกลิ่นในอากาศ ในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง
- ใช้ดูดกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์
- ใช้กำจัดกลิ่นจากอากาศ ทำให้เหม็นน้อยลง

2.1.4.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับของเหลว (ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์) มีดังต่อไปนี้

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม
- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน สำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบูและเปอร์ออกไซด์ ออกจากน้ำมันและไขมันด้วย
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการ เช่น เอสเทอร์ ทำให้ได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติดีขึ้น

2.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ [9]

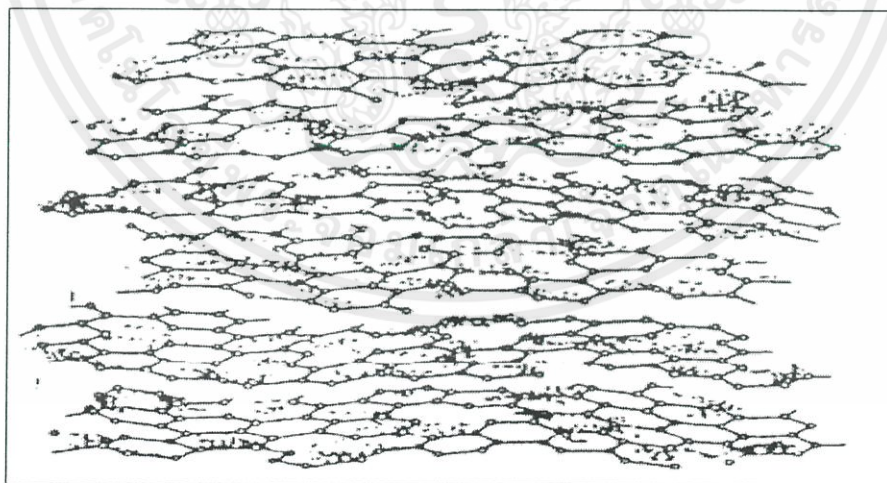
ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างที่เป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ แต่แตกต่างกันที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย แกรไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม อิเล็กตรอนของคาร์บอน 3 ตัวจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนอีก 1 ตัวที่เหลือจะเคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังที่ปรากฏในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์

ผนังขนาดเล็กของถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนที่คล้ายกับแกรไฟต์ประมาณ 5-15 ชั้นมีความสูงรวมกันประมาณ 200-500 นาโนเมตร ผลึกมีขนาดเล็กและโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ คาร์บอนในแต่ละชั้นมีลักษณะภายในแตกต่างจากแกรไฟต์ เนื่องจากมีคาร์บอนบางอะตอมหลุดออกไปจากโครงร่างทำให้เกิดเป็นช่องว่างหรือถูกแทนที่ด้วยอะตอมชนิดอื่น โดยเฉพาะอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนพบว่าสร้างพันธะอยู่กับคาร์บอนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก ปรากฏการณ์เหล่านี้ทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นผลึกขนาดเล็กในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีค่าประมาณ 36 นาโนเมตร ซึ่งห่างมากกว่าชั้นของผลึกแกรไฟต์ บริเวณขอบของแต่ละชั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นกลุ่มฟังก์ชันต่างๆมาก ทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีบนตัวถ่านกัมมันต์มากขึ้น

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว (unsaturated valencies) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ขอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบทางเคมี (chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 – 500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนีย และซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจนทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนผิวของถ่านกัมมันต์แต่ที่สำคัญ คือ ผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจนหรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ และชนิดของสารตั้งต้นและวิธีการกระตุ้นจะแตกต่างกัน ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน โดยมีออกซิเจนเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของกลุ่มฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ มีผลต่อการดูดซับเป็นอย่างมาก ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในถ่านกัมมันต์ ซึ่งเกิดจากก๊าซช่วยกระตุ้นพื้นผิวคาร์บอนให้เกิดเป็นกลุ่มออกไซด์บนผิว



รูปที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

2.3 การดูดซับ [10]

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นที่ผิวรอยต่อผิว (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสของสารสองวัสดุภาค เช่น การดูดซับที่ผิวสัมผัสระหว่างแก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่พื้นที่ผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ซึ่งมักเป็นของแข็ง ส่วนสารที่ถูกดูดซับที่อยู่ในวัสดุภาคของไหลเลยเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate)

2.3.1 ประเภทการดูดซับ [11]

เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำยึดติดบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ในรูพรุนของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยที่เกาะอยู่บนผิวนอก ในการยึดเกาะของโมเลกุลจะมีแรงอยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.3.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ ให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในทันทีที่โมเลกุลเดินทางมาถึงผิวหน้า แต่ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง อัตราการดูดซับจะช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยความเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนผิวทั้งหมดของตัวดูดซับทำให้ปริมาณการดูดซับสูงมากต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ การดูดซับอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ การลดความดันและเพิ่มอุณหภูมิของระบบทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และทำให้ตัวดูดซับเคลื่อนที่ออก ปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า desorption เป็นการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับได้ง่าย

2.3.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเดิม โดยมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมเกิดมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ที่มีพันธะแข็งแรงขึ้น เกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง การดูดซับตัวถูกดูดซับจะได้ปริมาณน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีบนผิวนั้นเกิดได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้น และการดูดซับไม่สามารถเกิด desorption ได้เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดเป็นแบบผันกลับไม่ได้

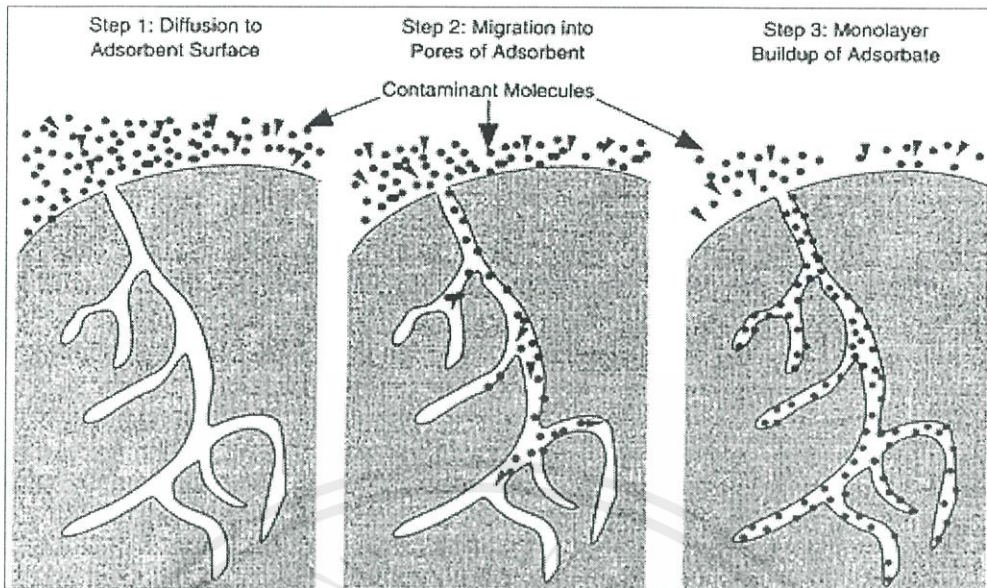
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับแบบกายภาพ	การดูดซับแบบเคมี
1. การดูดซับเกิดจากแรงแวนเดอร์วาล	1. การดูดซับเกิดจากการเกิดพันธะเคมีหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ
2. ปฏิริยาผันกลับได้	2. ปฏิริยาผันกลับไม่ได้
3. เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ	3. เกิดขึ้นได้ดี และรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง
4. เกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวของตัวดูดซับและบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับ	4. เกิดขึ้นเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น
5. พลังงานการดูดซับมีค่าประมาณ 5.00 – 40.0 กิโลจูล/โมล	5. พลังงานการดูดซับมีค่ามากกว่า 80.0 กิโลจูล/โมล

2.3.2 กระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ [12]

กระบวนการดูดซับด้วยอัตราการดูดซับผิวที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับผิวจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลายโดยสารดูดซับที่มีรูพรุนสามารถแบ่งขั้นตอนการดูดซับได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

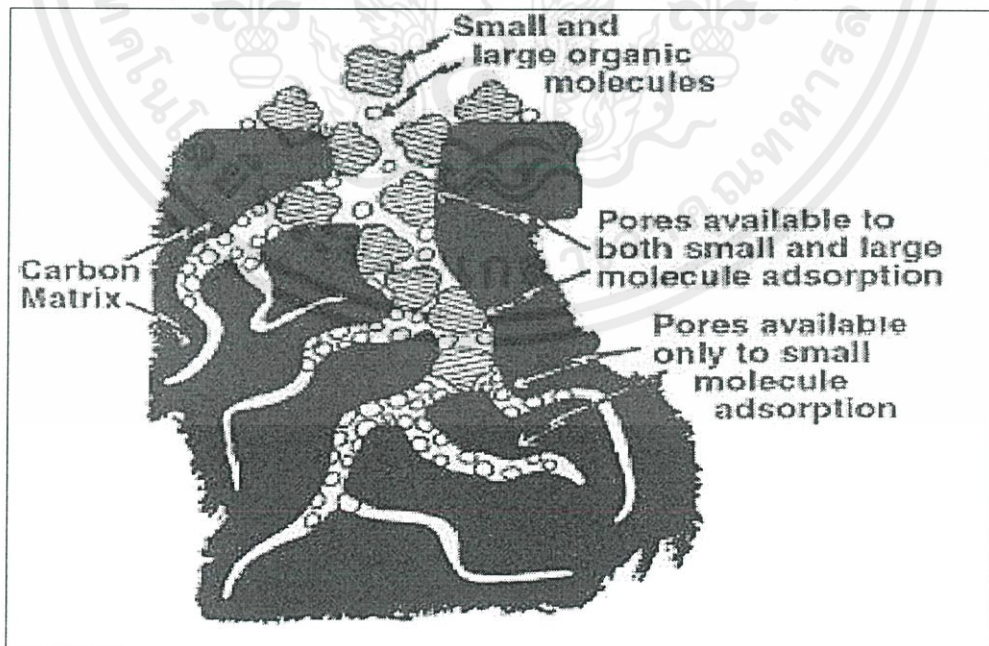
ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยเข้าไปหาถ่านกัมมันต์ โดยการเคลื่อนที่จะมีลักษณะคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายของสารแขวนลอยในน้ำเข้ามาติดที่ถ่านกัมมันต์ สารแขวนลอยจะเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี ดังรูป 2.3 โดยวิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian diffusion) ส่วนวิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ โดยสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (interception) ในขณะที่ ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก



รูปที่ 2.4 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาถ่านกัมมันต์ [13]

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน Film diffusion เมื่อโมเลกุลของสารแขวนลอยเข้ามาถึงถ่านกัมมันต์ ซึ่งโดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์นี้จะมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ โมเลกุลของสารแขวนลอยต้องการแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำให้ได้จึงจะเข้าไปในถ่านกัมมันต์ได้

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอน Pre diffusion เนื่องจากสาเหตุที่ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ใน โพรง หรือช่องว่างภายใน ดังรูปที่ 2.4 โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของ ถ่านกัมมันต์ให้ได้ จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนนี้โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องเกาะติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่หลุดออกไปจึงจะถือว่าเกิดการดูดซับที่ผิวอย่างสมบูรณ์

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่าน [12]

อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.3.3.1 ความสามารถในการละลายและขนาดของสารถูกดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลที่อยู่ในสารละลายมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของถ่านกัมมันต์

2.3.3.2 ลักษณะของสารถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำ ของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับในตัวทำละลายลดลงเนื่องจากในการดูดซับ สารถูกดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายซึ่งในที่นี้คือน้ำ โดยสารถูกดูดซับที่ละลายน้ำ ได้ดีหรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง ทำให้ยากต่อการดูดซับ ดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะมีความสามารถในการถูกดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับเช่นกัน ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวทำละลาย

2.3.3.3 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ขนาดของสารดูดซับจะแปรผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวจะแปรผันตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ ซึ่งหมายความว่า สารที่มีพื้นที่ผิวสูงจะมีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลได้มากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย

2.3.3.4 อุณหภูมิของสารละลาย[13]

การดูดซับโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Reaction) ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังสมการ

$A + S \rightleftharpoons A + S + \text{Heat}$ เมื่อ A = สารถูกดูดซับ S = พื้นที่ผิว

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา นอกจากนี้ อุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยเปลี่ยนความสามารถในการ

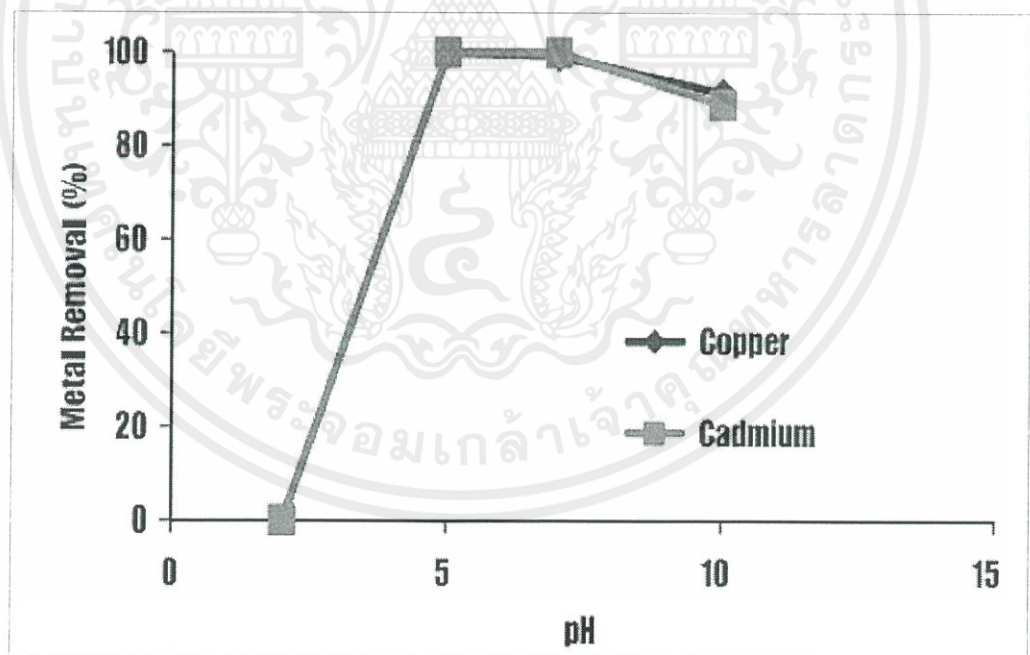
ละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

2.3.3.5 ตัวทำละลาย

อิทธิพลของตัวทำละลายมีผลต่อการดูดซับ อาจเกิดจากแรงกระหارةระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลายในสารละลายนั้น แรงกระทำ ระหว่างตัวทำละลายกับตัวดูดซับ ซึ่งเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายและตัวดูดซับ แรงกระทำ ระหว่างตัวทำละลายกับผิว ของตัวดูดซับ เป็นต้น

2.3.3.6 pH ของสารละลาย

เนื่องจาก pH ของสารละลายมีอิทธิพลต่อการแตกตัวกลายเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้น pH ของสารละลายจึงมีผลต่อการดูดซับด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น กรดอินทรีย์จะถูกดูดซับได้ดีที่ค่า pH ต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากกรดอินทรีย์จะแตกตัวได้น้อยที่ค่า pH ต่ำ กล่าวสำหรับค่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นหาได้จากการทดลองเท่านั้น ตัวอย่างเช่นการทดลองของ Regmi et al. (2012: 64) ได้ทดสอบการกำจัดไอออนทองแดงและแคดเมียมด้วยถ่านชีวภาพ โดยวิธีการดูดซับ พบว่า ที่ pH 5.00 มีการกำจัดไอออนทองแดงและแคดเมียมในสารละลายได้มากที่สุด



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก [14]

2.4 คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO₄)

2.4.1 ลักษณะของคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต [15]

จุนสี หรือ คอปเปอร์(II) ซัลเฟต (Copper (II) sulphate) เป็นสารประกอบของทองแดง กำมะถันและออกซิเจนที่มีสูตรทางเคมี CuSO₄ เกือบจุนสีพบได้หลายรูปแบบตามจำนวนโมเลกุลน้ำที่ประกอบอยู่ในผลึก จุนสีสะตหรือจุนสีที่ปราศจากน้ำ (anhydrous) เป็นผงสีเทาขาว ขณะที่จุนสีที่พบได้บ่อยมีน้ำ 5 โมเลกุล (pentahydrate) มีสีฟ้าสด

ใช้เป็นสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบ (analytical reagent) โดยเป็นส่วนผสมของสารละลาย Fehling's และ Benedict's สำหรับทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) ซึ่งน้ำตาลจะปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์(II) ซัลเฟต ได้ผลิตภัณฑ์เป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงของคอปเปอร์(II)ออกไซด์ นอกจากนี้ CuSO₄ ยังเป็นส่วนผสมของสารละลายไบยูเรต (biuret solution) ที่ใช้ในการทดสอบโปรตีน

ในด้านการศึกษาที่พบได้บ่อยๆ คือ ใช้ CuSO₄ ในการทดลองเรื่องการตกผลึก และการชุบทองแดงด้วยไฟฟ้า และใช้สาธิตปฏิกิริยาคายความร้อนโดยใช้แผ่นแมกนีเซียม (Magnesium ribbon) จุ่มลงในสารละลายของ CuSO₄

2.4.2 อันตรายและการวิธีการพยาบาลเบื้องต้นของคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต [16]

เป็นอันตรายเมื่อกลืนกิน ระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง เป็นพิษอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อาจก่อให้เกิดผลเสียระยะยาวต่อสภาวะแวดล้อมในน้ำ

เมื่อสูดดมสาร ถ้าสูดดมเข้าไป ให้ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าไม่หายใจให้การช่วยหายใจ ถ้าหายใจลำบากให้ออกซิเจน

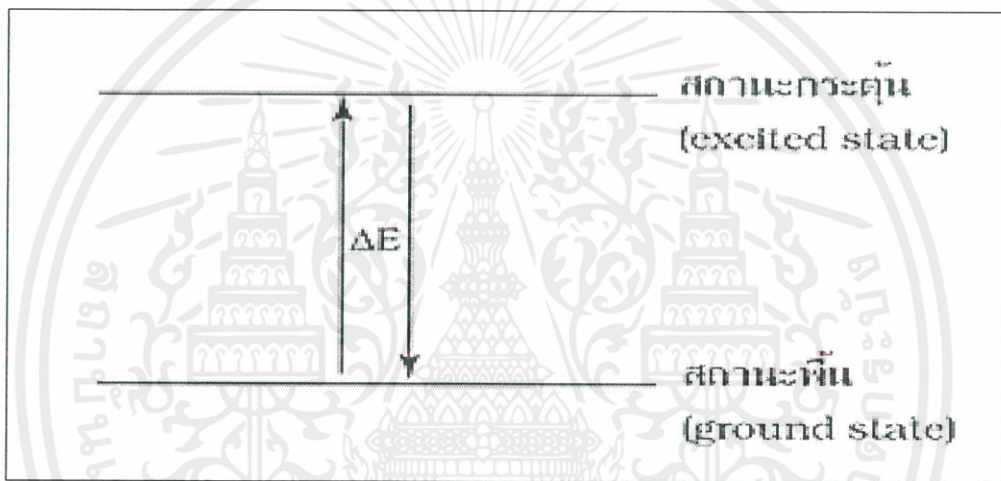
เมื่อสัมผัสสารในกรณีที่ถูกผิวหนัง ให้ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที ถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนสาร แล้วไปพบแพทย์

เมื่อสารเข้าตาในกรณีที่เข้าตา ให้ล้างด้วยน้ำปริมาณมาก เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที ต้องแน่ใจได้ ว่าล้างอย่าเพียงพอ โดยใช้นิ้วมือแยกเปลือกตาออกจากกันระหว่างล้าง และไปพบแพทย์

เมื่อกลืนกินให้ใช้น้ำบ้วนปากในกรณีที่ผู้ป่วยยังมีสติ และพาไปพบแพทย์

2.5 เครื่องอะตอมมิกเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) [17]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ(metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ(free atom) ของธาตุดูดกลืน (absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงาน ได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดีกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) รูปที่ 2.6 เป็นรูปตัวอย่างที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น(ground state) เป็นสถานะกระตุ้น(excited state)



รูปที่ 2.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น(ground state) เป็นสถานะกระตุ้น (excited state)

2.5.1 หลักการใช้งาน

2.5.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source)

แหล่งกำเนิดแสงของ AAS ปกติเป็นหลอดแบบ hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL) โดยแหล่งกำเนิดแสงของ AAS ของเครื่องที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มีปัจจุบัน เป็นชนิด hollow cathode lamp (HCL) ซึ่งในหลอด(lamp) จะบรรจุ buffer ของแก๊สเฉื่อย(inert gas) เช่น แก๊สอาร์กอน(Ar) หรือ นีออน(Ne) และมีการเคลือบเกลือของธาตุโลหะที่จะวิเคราะห์ไว้ที่ขั้ว cathode ของ lamp โดยจะมีการให้ศักย์ไฟฟ้า(apply voltage) ให้แก่ขั้ว cathode เกิดการ ionization ของ inert gas ไปชนกับเกลือของธาตุโลหะที่เคลือบไว้ ทำให้ธาตุโลหะหลุดออกจากขั้ว cathode แล้วไปชนกับ inert gas ทำให้ธาตุโลหะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) แต่ไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะกับธาตุแต่ละธาตุซึ่ง hollow cathode lamp มีทั้งแบบ single lame (ปล่อยพลังงานช่วงความยาวคลื่นสำหรับวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่ง) และ แบบ multiple lamp (ที่ขั้ว cathode จะเคลือบเกลือของธาตุโลหะหลายชนิด มีการปล่อยพลังงานในหลายช่วงตามระดับพลังงานของธาตุที่เคลือบไว้ จะอาศัย monochromator ในการเลือกแสงที่ระดับความยาวคลื่นที่ต้องการใช้)

2.5.1.2 ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (atomizer หรือ atomization process)

การทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานความร้อนเข้าไป ซึ่งพลังงานดังกล่าวอาจอยู่ในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของเครื่อง AAS ที่ให้พลังงานความร้อนเพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า atomizer และกระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า Atomization process ซึ่ง Atomization process ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Flam Atomization, Electrothermal atomization หรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization , Hydride Generation Technique และ Cold Vapor Technique

2.5.1.3 Electrothermal atomization หรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization

ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

- 1.) Drying stage เป็นการค่อยๆ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป โดยปกติใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100°C)

- 2.) Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น (อาจถึง 1,500 °C) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโมเลกุลของสารเหล่านั้นจะแตกตัวออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียร อยู่ในรูปของโลหะออกไซด์
- 3.) Atomization stage เป็นขั้นตอนที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูง (อาจถึง 3,000 °C) เพื่อให้สลายเกิดเป็นอะตอมอิสระ

2.5.1.4 Monochromator

ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ (wavelength selector)

2.5.1.5 Detector ของ AAS

เป็นชนิด Photo Multiplier Tube (PMT)

2.5.1.6 เครื่องประมวลผลและอ่านผล



2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sirilamduan, Umpuch and Kaewsarn (2011: 725) [18] ได้ศึกษาการกำจัดไอออนทองแดง (Cu^{2+}) ในสารละลายจากวัสดุชีวมวล ได้แก่ ใบสละพันธุ์อินโดนีเซีย (*Zalacca Edulis Peel*) โดยทำการทดลองแบบกะ (Batch Experiment) และศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีของ *Zalacca Edulis Peel* จากการกระตุ้นด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) กับสภาวะความร้อนที่แตกต่างกัน และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ผลการศึกษา พบว่าการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ CaCl_2 จะช่วยเพิ่มความสามารถของ *Zalacca Dulis Peel* ในการดูดติดผิวไอออนทองแดง ส่วนสมมูลการดูดติดผิวก่อนและหลังการกระตุ้นด้วย CaCl_2 พบว่า สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดริช โดยมีการดูดติดผิวไอออนทองแดงสูงสุดเท่ากับ 27.0 มิลลิกรัม/กรัม ที่สภาวะความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5.00

Hossain, Ngo, Guo and Nguyen (2012: 87) [19] ได้ทำการศึกษาระบวนการดูดซับ (Adsorption) และกระบวนการคายสารถูกดูดซับ (Desorption) ของไอออนทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำเสีย โดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ ผลการทดลอง พบว่า สารดูดซับที่เตรียมจากเปลือกกล้วยมี พื้นที่ผิวในการดูดซับไอออนทองแดงสูง มีตำแหน่งที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และหมู่ฟังก์ชันนัลต่าง ๆ โดยประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนทองแดงมีค่าสูงสุดที่ pH เท่ากับ 6.50 ปริมาณที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 0.500 กรัม/สารละลาย 100 มิลลิลิตร และเวลาที่สัมผัส 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) โดยใช้ 0.100 N H_2SO_4 ในการศึกษากระบวนการดูดซับ และกระบวนการคายสารถูกดูดซับ พบว่า มีการคายไอออนทองแดงสูงถึงร้อยละ 94.0 สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์ โดยเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo First -Order)

Kolodynska, Wnetrzak, Leahy, Hayes, Kwapinski and Hubicki (2012: 295) [20] ได้ทำการศึกษาจลนศาสตร์และการดูดซับไอออนโลหะหนักแต่ละชนิด ได้แก่ Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} และ Pb^{2+} โดยใช้ถ่านชีวภาพ ผลการทดลอง พบว่า อิทธิพลที่มีผลต่อการกำจัดไอออนโลหะหนักแต่ละชนิด ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) และเวลาที่สัมผัสระหว่างถ่านชีวภาพกับไอออนโลหะ โดยประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะมีค่าสูงสุดในช่วง pH ระหว่าง 5.00 – 6.00 ศึกษาสมมูลการดูดซับจากโมเดลไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดริช พบว่าจลนศาสตร์ของการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo Second – Order Reaction)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ตู้อบ
3. เทอร์โมมิเตอร์และเครื่องวัดความดัน
4. หลอดทดลอง
5. ขวดฉีดน้ำกลั่น
6. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. กระดาษฟอยล์
8. ซ้อนตักสาร
9. บิวเรตขนาด
10. ปีเปตขนาด
11. หลอดหยดสาร
12. กรวยแก้วกรอง
13. แท่งแก้วคนสาร
14. ขวดปรับปริมาตร
15. อุปกรณ์บดสาร
16. กระดาษกรอง
17. ตะแกรงร่อนคัดขนาดมาตรฐาน ASTM ใช้ชั้นที่มี Mash size ขนาด 25-60 และ 60-80
18. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
19. ปีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
20. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
21. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4)
2. ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150
3. น้ำ RO
4. น้ำกลั่น

3.3 การเตรียมตัวดูดซับ

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ ในการนำถ่านกัมมันต์ทางการค้าไปใช้เป็นตัวดูดซับ มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

1. นำถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 มาบดกับอุปกรณ์การบดด้วยมือ โดยบดทีละค่าไอโอดีนและแยกเก็บไว้ในขวดพลาสติกเก็บสารที่มีฝาปิด
2. นำถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งมีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 ที่ผ่านการบดแล้ว มาคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนคัดขนาดมาตรฐาน ASTM โดยจะทำการศึกษาถ่านกัมมันต์ทางการค้า ในตะแกรงร่อนชั้นที่มี Mash size ขนาด 2 ช่วง คือ Mash size ที่ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80
3. เก็บถ่านกัมมันต์ทางการค้า ทั้ง 3 ค่าไอโอดีนที่มี Mash size ขนาดอย่างละ 2 ช่วง และถูกคัดขนาดแล้ว ไว้ในแต่ละบีกเกอร์ซึ่งมีขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นจำนวน 6 บีกเกอร์
4. ล้างถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ถูกเก็บไว้ในแต่ละบีกเกอร์ ด้วยน้ำประปา เพื่อกรองฝุ่นและชะล้างสิ่งสกปรกออก
5. จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นและน้ำ RO อีกครั้ง เพื่อกำจัดไอออนที่ติดมาจากถ่านกัมมันต์ทางการค้าและทำให้พีเอสเป็นกลาง (ทำขั้นตอนที่ 4 – 5 เหมือนกันทั้ง 6 บีกเกอร์)
6. นำทั้ง 6 บีกเกอร์ที่ถ่านผ่านการชะล้างแล้ว เอาไปบดด้วยอุณหภูมิตั้ง 120 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิที่น้ำสามารถระเหยออกจากถ่านกัมมันต์ได้ (ก่อนเข้าตู้อบให้ปิดปากทั้งหกบีกเกอร์ด้วยกระดาษพอยล์และเจาะรูเล็กๆ เพื่อกันฝุ่นเข้า ใช้เวลาอบ 24 ชั่วโมง เท่ากันทุกบีกเกอร์)
7. เมื่ออบเสร็จแล้ว นำทั้ง 4 บีกเกอร์มาปิดปากด้วยกระดาษพอยล์ที่ไม่เจาะรูอีกรอบเพื่อกันฝุ่นเข้าไป แล้วนำไปเก็บ

3.4 การทดลองการดูดซับไอออนของโลหะคอปเปอร์แบบกะ

3.4.1 วิธีการทดลองโดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีนและขนาด Mesh size ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า ในการดูดซับไอออนของโลหะคอปเปอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายโลหะคอปเปอร์ ปิเปตจากสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ความเข้มข้น 25 ppm ใส่ในขวดรูปชมพู่ 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. นำสารละลายโลหะคอปเปอร์มีความเข้มข้น 25 ppm ใส่บีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวน (ควรเปิดเครื่องกวนให้มีความเร็วพอสมควร)
3. ใส่ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 โดยแต่ละค่าไอโอดีนจะใช้ขนาดของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มี Mash size ขนาด 2 ช่วงคือ Mash size ที่

ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80 ใช้อย่างละ 0.2 กรัม เท่ากัน ทั้ง 2 ช่วงของ Mash size ลงบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร จำนวน 4 บีกเกอร์ ที่มีความเข้มข้นของ ไอออนโลหะคอปเปอร์ 25 ppm เท่ากัน ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง พร้อมจับเวลา

4. เก็บสารตัวอย่างของแต่ละขนาดและค่าไอโอดีน (ทำการทดลองที่ละช่วงขนาดของ Mash size ทั้ง 2 ขนาด และในแต่ละไอโอดีนทั้ง 2 ค่าที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการดูดซับ) ที่ช่วงเวลาต่างๆ นำมากรองด้วยกระดาษกรอง โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

- 1.) เวลาช่วง 0 - 10 นาที จะเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 2 นาที ใส่ลงในขวดขนาด 30 มิลลิลิตร ใช้ทั้งหมด 5 ขวด
- 2.) เวลาช่วง 10 - 20 นาที จะเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 5 นาที ใส่ลงในขวดขนาด 30 มิลลิลิตร ใช้ทั้งหมด 2 ขวด
- 3.) เวลาช่วง 20 - 120 นาที จะเก็บสารตัวอย่างทุกๆ 10 นาที ใส่ลงในขวดขนาด 30 มิลลิลิตร ใช้ทั้งหมด 10 ขวด

5. นำสารตัวอย่างที่เก็บมาไปตรวจสอบค่าการดูดซับด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.4.2 วิธีการทดลองโดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับโลหะคอปเปอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายโลหะคอปเปอร์ ปิเปตสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ความเข้มข้น 25 ppm ใส่ในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. ใส่ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีค่าไอโอดีน 750 และ 1150 โดยแต่ละค่าไอโอดีนจะใช้ขนาดของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มี Mash size ขนาด 2 ช่วงคือ Mash size ที่ช่วงแรก 25-60 และช่วงสอง 60-80
3. นำปริมาณถ่านแต่ละ Mash size ทั้ง 2 ค่า ไอโอดีน อย่างละ 0.2 และ 2 กรัม ลงบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร จำนวน 4 บีกเกอร์ ที่มีความเข้มข้นของไอออนโลหะคอปเปอร์ 25 ppm เท่ากัน ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง พร้อมจับเวลา
4. เก็บสารตัวอย่างทั้ง 4 บีกเกอร์ ของแต่ละการทดลองที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน โดยเก็บสารที่เวลาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.4.1 ขั้นตอนที่ 4
นำสารตัวอย่างที่เก็บมาไปตรวจสอบค่าการดูดซับด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณคอปเปอร์ไอออน

1. นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวัดหาปริมาณของคอปเปอร์ไอออนในสารละลายด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ให้มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 5 ค่า เพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน
3. นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับของถ่านกัมมันต์กับเวลาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองของการดูดซับคอปเปอร์ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากการทดลองการดูดซับคอปเปอร์ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคอปเปอร์คือ 25 ppm สารละลายปริมาตร 1 ลิตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนต่างกัน คือ 750 และ 1150 และแต่ละค่าไอโอดีนมีขนาด Mesh size ที่ 25-60 และ 60-80 โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.2 กรัม ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเข้มข้นคอปเปอร์ไอออน ณ เวลาต่างๆ

เวลา (min)	ค่าไอโอดีน 750		ค่าไอโอดีน 1150	
	Mesh size 25-60	Mesh size 60-80	Mesh size 25-60	Mesh size 60-80
0	23.146	23.076	22.936	22.912
2	22.42	22.163	22.046	19.704
4	20.828	21.366	21.858	19.399
6	20.758	21.039	19.306	18.462
8	20.289	20.289	18.954	17.994
10	18.392	16.987	18.135	16.120
15	18.158	16.776	15.675	15.675
20	17.690	16.659	15.184	15.441
30	17.526	16.378	14.481	12.092
40	17.245	17.408	14.270	11.881
50	16.94	17.174	13.989	11.624
60	16.776	16.331	13.474	11.319
70	16.565	16.074	13.216	9.048
80	16.237	15.301	12.959	8.579
90	16.074	14.458	11.132	6.752
100	15.652	13.895	10.664	4.996
110	15.137	13.474	8.0640	4.832
120	14.856	12.256	7.877	4.574

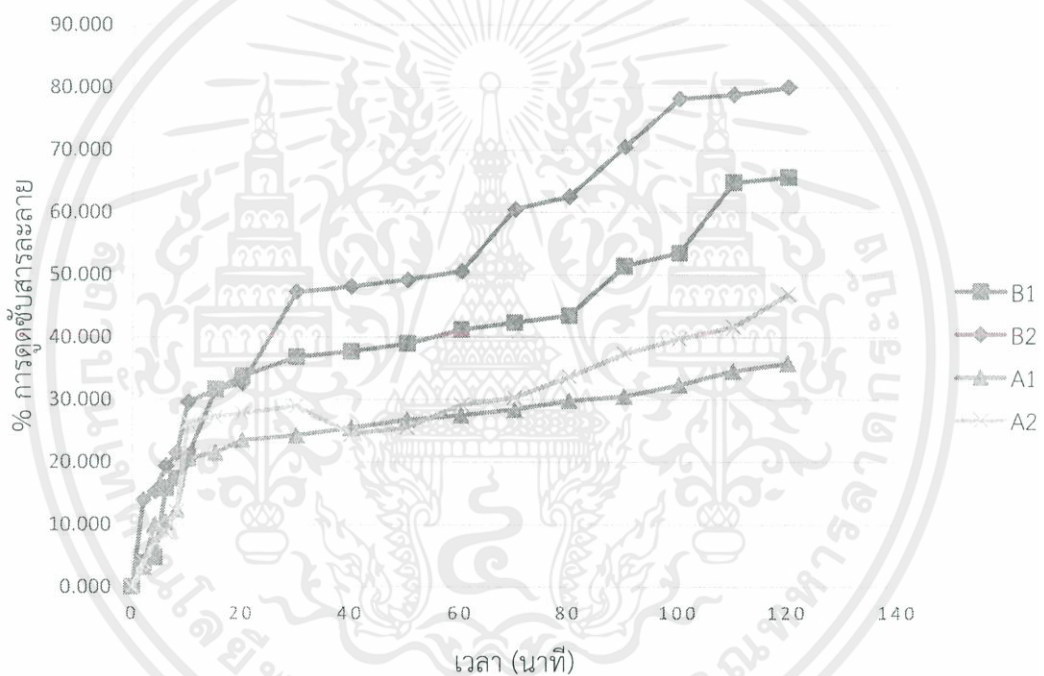
4.1.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน ความเข้มข้น 25 ppm ที่เวลาต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังนี้ โดย

A1 , A2 ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 750 ที่ Mesh size 25-60 และที่ Mesh size 60-80 ตามลำดับ

B1 , B2 ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 25-60 และที่ Mesh size 60-80 ตามลำดับ

- การดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, A5, A7 และ A8 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A1, A2, B1 และ B2

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A1, A2, B1 และ B2 สังเกตเห็นได้ว่าร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน B1 และ B2 ที่เวลา 60 นาที มีการดูดซับไปได้ถึงร้อยละ 40-50 ในขณะที่ A1 และ A2 ดูดซับไปได้เพียงร้อยละ 25 แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนสูงจะมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A1 และ A2 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าที่ค่าไอโอดีน 750 ที่ Mesh size 25-60 และค่าไอโอดีน 750 ที่ Mesh size 60-80 ไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออน และอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน B1 และ B2 ที่ต่างกัน โดยที่ B1 มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนต่ำกว่า B2 แสดงให้เห็นว่าที่ค่าไอโอดีน 1150

เดียวกัน แต่ Mesh size ที่ขนาดต่างกันมีผลต่ออัตราเร็วในการการดูดซับคอปเปอร์ไอออน โดยที่ Mesh size 60-80 มีผลต่ออัตราเร็วในการการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากกว่า Mesh size 25-60

จากผลการศึกษาการค่าไอโอดีนและ Mesh size โดยนำมาทดสอบดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนนั้นพบว่า การที่ถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนและ Mesh size ที่สูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ คือทำให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ถ่านกัมมันต์มีอัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้นนี้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจะช่วยลดปริมาณถึงกักเก็บของเสียจากกระบวนการและลดระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดของเสีย

4.2 สมบัติของปริมาณถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีผลต่อการดูดซับ

เพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์เป็น 2 กรัม จากเดิม 0.2 กรัม โดยทำการทดลองจากถ่านกัมมันต์ที่มีอัตราการดูดซับสูงสุดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 60-80 มาทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน ความเข้มข้น 25 ppm ที่เวลาต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเข้มข้นคอปเปอร์ไอออน ณ เวลาต่างๆ (ก่อนและหลังเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์)

เวลา (min)	ค่าไอโอดีน 1150	
	Mesh size 60-80 (ก่อน)	Mesh size 60-80 (หลัง)
0	22.912	21.015
2	19.704	16.120
4	19.399	15.886
6	18.462	15.184
8	17.994	13.778
10	16.120	12.420
15	15.675	11.647
20	15.441	11.179
30	12.092	8.626
40	11.881	8.158
50	11.624	7.642
60	11.319	7.174
70	9.048	6.448
80	8.579	6.425
90	6.752	5.792

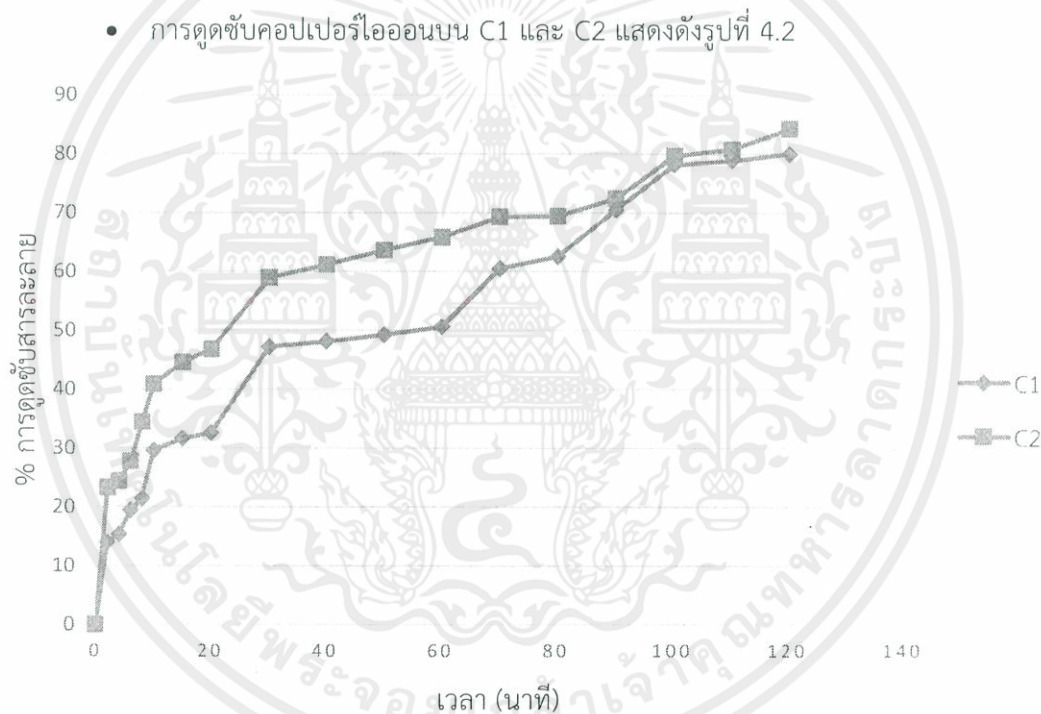
100	4.996	4.270
110	4.832	4.036
120	4.574	3.310

4.2.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ทางการค้ามาทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน ความเข้มข้น 25 ppm ที่เวลาต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังนี้

C1 ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 60-80 ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.2 กรัม

C2 ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 60-80 ปริมาณถ่านกัมมันต์ 2 กรัม



รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน C1 และ C2

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน C1 และ C2 สังเกตเห็นได้ว่า ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน C2 เวลาที่ 20 นาที มีการดูดซับไปได้ถึงร้อยละ 47 ในขณะที่ C1 ดูดซับไปได้เพียงร้อยละ 32 แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนและ Mesh size เท่ากัน แต่ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน C1 และ C2 เวลาที่ 90-120 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์เกิดการอิ่มตัว ส่งผลให้และมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากผลการศึกษาสมบัติของปริมาณถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่มีผลต่อการดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ค่าไอโอดีนและ Mesh size เท่ากัน โดยนำมาทดสอบดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนนั้นพบว่า การที่ถ่านกัมมันต์มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวของการดูดซับสูงและมีความสามารถในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากกว่าปริมาณของถ่านกัมมันต์ต่ำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ คือทำให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า เพื่อใช้สำหรับดูดซับคอปเปอร์ไอออน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size ขนาด 25-60 และ 60-80 มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 750 ที่ Mesh size ขนาด 25-60 และ 60-80 และถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนและ Mesh size สูงขึ้น (ค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 60-80) มีอัตราการเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนที่มากกว่าชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังศึกษาคุณสมบัติของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีน 1150 ที่ Mesh size 60-80 โดยเพิ่มปริมาณเป็นสิบเท่าจากปริมาณเดิม พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ สรุปได้ว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนและ Mesh size สูงขึ้น จะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการดูดซับ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความเข้มข้น เป็นต้น เพื่อดูว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการดูดซับหรือไม่ มากน้อยเพียงใด
- 5.2.2 โดยปกติ โรงงานปล่อยน้ำเสียออกมา มักจะไม่มีโลหะหนักเพียงชนิดเดียว จึงควรที่จะศึกษาการดูดซับเมื่อในสารละลายมีโลหะหนักมากกว่าหนึ่งชนิด
- 5.2.3 เพื่อให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือควรมีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เหมาะสมและหลากหลาย เช่น BET FTIR และ SEM เป็นต้น
- 5.2.4 ควรศึกษาการจลนพลศาสตร์ของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Slejkoi, F.L. 1985. Adsorption Technology. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [2] เต ฆา ฉัตรศิริชา อมร กระบวนการดูดซับ พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 1 – 78
- [3] ศศิธร ศรีศิริโรจน์ และ สายทิพย์ ตองติธรรมัน. (2556). การดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำ. ปรินูญานิพนธ์ปรินูญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
- [4] ปรียาพา พาณิชัย และ พุทธธิดา ภูโอบ. (2556). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากปาล์ม. ปรินูญานิพนธ์ปรินูญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [5] ภาวินี วุฒิกุล. (2544). ผลของการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย.
William D. Callister, Jr. and David G. Rethwisch. (2014). Materials Science and Engineering: An Introduction, 8th edition. John Wiley & Sons, Inc., New York
- [6] อภิสิษฐ์ สงสะเสน. (ม.ป.ป.). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่. [Online]. Available: <http://pirun.ku.ac.th/~fsciass/PDF/special%20lecture/preparation-activated-C-form-bamboo.pdf>. (24/11/2559)
- [7] ยุวดี เดชทวีทย์, และ สายใจ นารถสมบูรณ์. (2541). ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์โซเดียมคลอไรด์และสารผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. ปรินูญานิพนธ์ปรินูญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] บัญชา ขวาลไชย; รุปน ชื่นบาล; ศิราภรณ์ ชื่นบาล และประจวบ ฉายบุ. 2550. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะและแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 1 (กรกฎาคม – ธันวาคม): 297 – 308.
- [9] กมลชนก ปานสง่า, ธนิษฐา ประสิทธิ์วุฒิศักดิ์, และ ธนัชพันธ์ บุกรรณ์. (2545). การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและกากคาร์บอน. ปรินูญานิพนธ์ปรินูญาวิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- [10] Samuel, DF. , and Osman, MA. (1983). Chemistry of water treatment. Boston: Butterworth Publisher.
- [11] กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process), [Online]. Available: <http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> (27/11/2559)
- [12] ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. (2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู้. ปรินญาวิทยาสาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] การควบคุมมลพิษร่วมกับสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. [Online]. Available: www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell (23/11/2559)
- [14] Regmi et al. (2012: 64) ทดสอบการกำจัดไอออนทองแดงและแคดเมียมด้วยถ่านชีวภาพ
- [15] กันทิลา ขำวิจิตราภรณ์ และมธุรส ไกรเลิศศิลป์, การกำจัดโลหะหนักแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกระต๊ากที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์. ปรินญาวิทยานพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.
- [16] ค อ ป เ ป อ ร์ (II) ซึ ล เ ฟ ต (Copper (II) sulphate) [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B5>. (27/11/59)
- [17] เครื่องอะตอมมิกเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer).[Online]. Available: http://science.skru.ac.th/ShowToolCame.php?id_skru=SKRU0987654321/. (27/11/59)
- [18] Sirilamduan, C.; Umpuch, C. and Kaewsarn. P. 2011. Removal of Copper from Aqueous Solutions by Adsorption Using Modify Zalacca Edulis Peel Modify. Songklanakarin Journal of Science and Technology : 725 – 732.
- [19] Hossain, M.A.; Ngo, H.N.; Guo, W.S. and Nguyen, T.V. 2012. Biosorption of Cu (II) from Water by Banana Peel Based Biosorbent: Experiments and Models of Adsorption and Desorption. Journal of Water Sustainability : 87 – 104.

- [20] Kolodynska, D.; Wnetrzak, R.; Leahy, J.J.; Hayes, M.H.B.; Kwapinski, W. and Hubicki, Z.2012. Kinetic and Adsorptive Characterization of Biochar in Metal Ions Removal. Chemical Engineering Journal : 295 – 305.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก.

กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

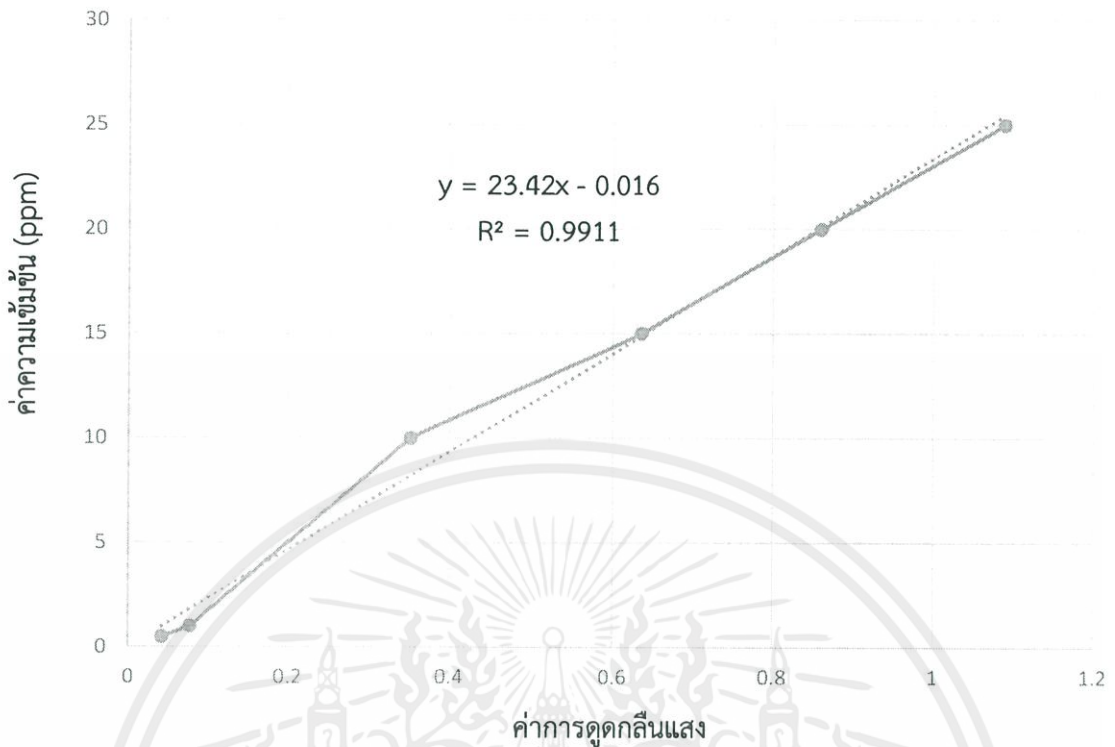
กราฟมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณคอปเปอร์ในสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ 0.5 1 10 15 20 และ 25 ppm โดยการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ เข้มข้น 100 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร ด้วยเครื่องเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลแสดงความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์(ppm)และค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 324.8 nm

ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.5	0.043
1	0.079
10	0.351
15	0.636
20	0.859

นำค่าที่ได้จากตารางที่ ก-1 มาพลอตลงบนกราฟ linear ซึ่งพลอตระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ที่ความยาวคลื่น 324.8 nm ดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) คอปเปอร์

จากกราฟจะได้สมการเส้นตรง $y = 23.42x - 0.016$, $R^2 = 0.9911$ ซึ่งใช้เป็นสมการคำนวณหา
ค่าความเข้มข้นจากการดูดซับคอปเปอร์ในสารละลายสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต โดยใช้ถ่านกัมมันต์



ภาคผนวก ข.

ข้อมูลดิบ

ข.1 ผลการดูดซับ

-ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 0.2000 กรัม

-ความเข้มข้นของสารละลาย 25 ppm

ข.1.1 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550

-ที่ขนาดของ Mesh size 25-60

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1998 กรัม

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550 และที่ขนาดของ Mesh size 25-60

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	22.936
2	22.046
4	21.858
6	19.306
8	18.954
10	18.135
15	15.675
20	15.184
30	14.481
40	14.270
50	13.989
60	13.474
70	13.216
80	12.959
90	11.132
100	10.664
110	8.064
120	7.877

-ที่ขนาดของ Mesh size 60-80

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1999 กรัม

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550 และที่ขนาดของ Mesh size 60-80

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	22.912
2	19.704
4	19.399
6	18.462
8	17.994
10	16.120
15	15.675
20	15.441
30	12.092
40	11.881
50	11.624
60	11.319
70	9.048
80	8.579
90	6.752
100	4.996
110	4.832
120	4.574

ข.1.2 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 750

-ที่ขนาดของ Mesh size 25-60

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1999 กรัม

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 750 และที่ขนาดของ Mesh size 25-60

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	23.146

2	22.420
4	20.828
6	20.758
8	20.289
10	18.392
15	18.158
20	17.690
30	17.526
40	17.245
50	16.94
60	16.776
70	16.565
80	16.237
90	16.074
100	15.652
110	15.137
120	14.856

-ที่ขนาดของ Mesh size 60-80

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1996 กรัม

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 750 และที่ขนาดของ Mesh size 60-80

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	23.076
2	22.163
4	21.366
6	21.039
8	20.289
10	16.987
15	16.776
20	16.659
30	16.378
40	17.408
50	17.174

60	16.331
70	16.074
80	15.301
90	14.458
100	13.895
110	13.474
120	12.256

ข.2.1 ถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1550

-ที่ขนาดของ Mesh size 60-80

-ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 2.0000 กรัม

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าไอโอดีน 1150 และที่ขนาดของ Mesh size 60-80 (ปริมาณ 2.0000 กรัม)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	21.015
2	16.120
4	15.886
6	15.184
8	13.778
10	12.420
15	11.647
20	11.179
30	8.626
40	8.158
50	7.642
60	7.174
70	6.448
80	6.424
90	5.792
100	4.504
110	4.036
120	3.310



ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณ

ค.1 คำนวณหาความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน

-ชั่งน้ำหนักของคอปเปอร์ซัลเฟต 0.1000 กรัม

โดย มวลโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) = 249.68 กรัม

มวลโมเลกุลของคอปเปอร์ = 63.68 กรัม

➤ คอปเปอร์ซัลเฟต 0.1000 กรัม ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร

➤ $1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ กรัม}}{10^6 \text{ กรัม}}$

คำนวณหาให้ความเข้มข้นอยู่ในหน่วย ppm

$$\text{จะได้ว่า } \frac{0.1 \text{ กรัม}}{10^3 \text{ กรัม}} \times \frac{1000 \text{ กรัม}}{1000 \text{ กรัม}} = \frac{100 \text{ กรัม}}{10^6 \text{ กรัม}} = 100 \text{ ppm}$$

คำนวณหาความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน

ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 249.68 กรัม มีคอปเปอร์อยู่ 63.68 กรัม

ถ้าในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 100 ppm จะมีคอปเปอร์อยู่

$$\frac{63.68 \text{ กรัม}}{249.68 \text{ กรัม}} \times 100 \text{ ppm} = 25.5046 \text{ ppm}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน 25.5046 ppm

ค.2 คำนวณหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์

- ค่าความเข้มข้นที่ 0 นาที เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้น
- ค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆ เป็นค่าความเข้มข้นที่เหลือในแต่ละช่วงเวลา

ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้

$$= \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือในแต่ละช่วงเวลา}$$

ค.3 คำนวณหาค่าร้อยละการดูดซับสารละลายของถ่านกัมมันต์

- ค่าความเข้มข้นที่ 0 นาที เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้น
- ความเข้มข้นของสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับ

ร้อยละการดูดซับสารละลายของถ่านกัมมันต์

$$= \left(\frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

ค.4 ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 ผลการคำนวณร้อยละการดูดซับสารละลาย

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ (ppm)	ร้อยละการดูดซับสารละลาย
0	22.936	0	0
2	22.046	0.890	3.882
4	21.858	1.078	4.699
6	19.306	3.631	15.829
8	18.954	3.982	17.360
10	18.135	4.802	20.934
15	15.675	7.261	31.656
20	15.184	7.752	33.800
30	14.481	8.455	36.864
40	14.27	8.666	37.783
50	13.989	8.947	39.008
60	13.474	9.462	41.254
70	13.216	9.720	42.377
80	12.959	9.977	43.501
90	11.132	11.804	51.465

100	10.664	12.272	53.507
110	8.0639	14.872	64.842
120	7.8765	15.059	65.659

ค.4.1 ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้

$$\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} = 22.936 \text{ ppm}$$

$$\text{ความเข้มข้นที่ 2 นาที} = 22.046 \text{ ppm}$$

$$\text{ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้} = 22.936 - 22.046$$

$$= 0.890 \text{ ppm}$$

$$\text{ร้อยละการดูดซับสารละลาย} = \frac{0.890 \text{ ppm}}{22.936 \text{ ppm}} \times 100$$

$$= 3.882$$

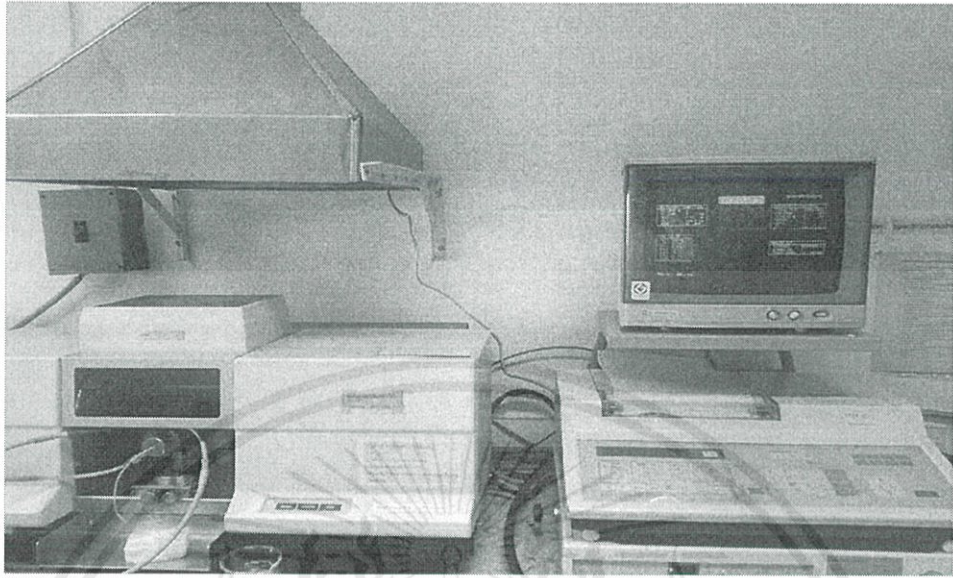




ภาคผนวก ง.

เครื่องมือการวิเคราะห์

ง.1 เครื่องมือการวิเคราะห์



รูปที่ ง.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
(Atomic Adsorption Spectrophotometer, AAS)





จ.1 ข้อมูลของถ่านกัมมันต์

- Ord No. 04478
- Grade. YA0 12/40 และ AK0 12/40
- Bag No. 34
- Net Wt. 2 kgs
- จากบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด

