

ดว.ร. ๒๖
๗๖๗
๒๕๔๙

๒๕๔๔/๑

ปริภาค



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การดูดซับไอออนโลหะสังกะสีโดยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่เตรียมจากแกลบ

Adsorption of Zinc (II) from aqueous solution onto activated carbon

prepared from Rice Husk

ด.ว.ร. ๒๕๕๒

โดย

นายกิติโรจน์ หวันตาหลา

นางศิริวรรณ ศรีสรณ์ตรี

ตุลาคม ๒๕๔๙

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การดูดซับไอออนโลหะสังกะสีโดยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่เตรียมจากแกลบ

Adsorption of Zinc (II) from aqueous solution onto activated carbon

prepared from Rice Husk

ผู้วิจัย

นายกิติโรจน์ หวันตาหลา

นางศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์

สังกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สนับสนุนโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับไอออน สังกะสี (II) โดยใช้แกลบเผาปรับสภาพเป็นตัวดูดซับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับไอออนโลหะแต่ละชนิด โดยศึกษาความสามารถในการดูดซับเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเผา ขนาดของแกลบปรับสภาพ ค่าพีเอชของสารละลาย และอุณหภูมิของสารละลาย พบว่าแกลบเผาปรับสภาพสามารถดูดซับสังกะสี (II) คือ 700 องศาเซลเซียส ขนาดที่ดีที่สุดคือ เล็กกว่า 170 เมช สังกะสี (II) ค่าพีเอช ที่เหมาะสมคือพีเอช 6 สำหรับ แคดเมียม (II) และสังกะสี (II) อุณหภูมิของสารละลายสังกะสี (II) ที่เหมาะสมคือ 53 องศาเซลเซียส การดูดซับของโลหะ สังกะสี (II) ครั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ 10.406 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ: การดูดซับ / แกลบ / โลหะหนัก

ABSTRACT

A study of the adsorption of zinc (II) ions by modified rice husk, an adsorbent, was carried out. The extent of adsorption was studied as function of burning temperature, adsorbent size, pH value of solution and solution temperature. The adsorption of zinc (II) ions showed the optimum adsorption at pH 6, solution temperature 53 °C by rice husk burned 700 °C size smaller than 170 mesh. The adsorption was confirmed to the Langmuir isotherm and Freundlich isotherm, the maximum capacity of adsorption (q_m) of zinc (II) ions is 10.406 mg/g.

Key Words: Adsorption / Rice Husk / Heavy Metal



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ทุนวิจัยจากในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎี	4
2.1.1 โลหะหนัก	4
2.1.2 ทฤษฎีการดูดซับ	5
2.1.2.1 ความสามารถในการดูดซับ	5
2.1.2.2 ประจุบนพื้นผิวของสารดูดซับ	5
2.1.2.3 ประเภทของสารดูดซับ	6
2.1.2.4 แบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่	6
2.1.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	8
2.1.2.6 ตัวแปรที่สำคัญทางเทอร์โมไดนามิกส์	9
2.1.3 แกลบ	10
2.1.3.1 คุณสมบัติของแกลบ	11
2.1.3.2 ประโยชน์ของแกลบ	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	21
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.4 เครื่องมือวิเคราะห์	21
3.5 ตัวแปรที่จะศึกษา	22
3.6 วิธีการทดลอง	22
3.6.1 การเตรียมวัสดุชุดซ้ำ	22
3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง	22
3.7 ระยะเวลาและสถานที่ในการทดลอง	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	34
5.1 สรุปผลการทดลอง	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	37
ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	5
2.2 องค์ประกอบของแกลบข้าว	11
2.3 คุณสมบัติทางเคมีของแกลบ	12
2.4 คุณสมบัติขององค์ประกอบของแกลบ	13
2.5 เวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ	14
2.6 ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ	14
2.7 เปอร์เซนต์แฉีกาบมะพร้าวที่ได้	15
2.8 คุณสมบัติของแฉีกาบมะพร้าวที่ได้จากการเผา	16
2.9 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	18
2.10 ผลของการดูดซับของคาร์บอนกาบมะพร้าวที่เข้าสู่สมดุล	18
2.11 ค่าพีเอชของโลหะหนักชนิดต่างๆ	19
4.1 ค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับไอออนโลหะสังกะสี (II)	30
4.2 ค่า K_L , K_F , q_m , n และ R^2 ของการดูดซับโลหะสังกะสี (II)	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 การบรรจุเกลบก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	22
4.1 เกลบเผาที่อุณหภูมิ 300 (ก) 400 (ข) 500 (ค) 600 (ง) และ 700 (จ) องศาเซลเซียส	25
4.2 ผลของเปอร์เซ็นต์ของเกลบเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	26
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นกับเวลา ของ สังกะสี (II)	27
4.4 ผลของอุณหภูมิเผา	27
4.5 ผลของขนาดของเกลบปรับสภาพที่มีต่อการดูดซับโลหะ สังกะสี (II)	28
4.6 ผลของพีเอชของสารละลายที่มีต่อการดูดซับโลหะ สังกะสี (II)	29
4.7 ผลของอุณหภูมิของสารละลายที่มีต่อการดูดซับโลหะ สังกะสี (II)	30
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln K_d$ กับ $1/T$ ของโลหะสังกะสี (II)	31
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e ของการดูดซับโลหะสังกะสี (II) ตามทฤษฎีของ แลงเมียร์	32
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log } q_e$ กับ $\text{Log } C_e$ ของการดูดซับโลหะสังกะสี (II) ตามทฤษฎีของฟรุนคลิช	32
ภาคผนวก	
ก1 เครื่องคัดแยกขนาด	38
ก2 ตู้อบไฟฟ้า	38
ก3 เครื่องเขย่า	39
ก4 เตาเผาไฟฟ้า	39
ก5 เครื่องอะตอมมิก แอคซอร์ฟชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)	40
ก6 เครื่องวัดค่าพีเอช	40
ก7 เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ	41

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_c	ความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล	มิลลิกรัมต่อลิตร
K	ค่าคงที่ของการดูดซับที่สมดุล	ลิตรต่อมิลลิกรัม
K_a	ค่าคงที่การดูดซับ	ลิตรต่อมิลลิกรัม
K_d	ค่าคงที่ของการคาย (Desorption)	ลิตรต่อมิลลิกรัม
K_L	ค่าคงที่ที่จุดสมดุล	ลิตรต่อมิลลิกรัม
K_F	โลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว	มิลลิกรัมต่อกรัม
n	ค่าคงที่ที่บอกระดับจำนวนชั้นของการดูดซับ	-
q_c	ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักแกลบที่สมดุล	มิลลิกรัมต่อกรัม
q_m	ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อน้ำหนักแกลบ	มิลลิกรัมต่อกรัม
R^2	ค่าดัชนีสหสัมพันธ์ (Correlation index)	-
r_{ax}	อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด	-
r_{dx}	อัตราการคาย (Desorption) ต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด	-
θ	สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วย โมเลกุลที่ถูกดูดซับ	-
ΔG	พลังงานเสรีกิปส์	จูลต่อโมล
ΔH	เอนทาลปี	จูลต่อโมล
ΔS	เอนโทรปี	จูลต่อ โมลเคลวิน
T	อุณหภูมิ	เคลวิน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ เป็นปัญหาสำคัญที่ควรให้ความสนใจ เนื่องจากโลหะหนักหลายชนิด เช่น ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว มีความเป็นพิษ หากปนเปื้อนออกสู่แหล่งน้ำ ย่อมก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ และก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมามากมาย เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากโลหะหนัก จึงต้องมีการนำน้ำเสียมาบำบัดโลหะหนักออกก่อนจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ปัจจุบันได้มีการใช้กระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์เคมีในการกำจัดโลหะหนัก ซึ่งวิธีเหล่านี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณค่อนข้างสูง แต่ในกรณีที่น้ำเสียนั้นมีโลหะปนเปื้อนน้อยกว่า 50 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณไม่มากนักก็จะอาศัยหลักการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยส่วนใหญ่จะใช้พวกถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีราคาแพง เพื่อลดต้นทุนในส่วนนี้จึงมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรขึ้นมาทดแทน เนื่องจากประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น เปลือกข้าวหรือแกลบจากการสีข้าว ซึ่งมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ตามธรรมชาติ เพราะมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะได้ (ฉัฐมณฑน์ และคณะ, 2546)

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยใช้แกลบปรับสภาพที่เตรียมจากแกลบเผาแบบควบคุมปริมาณออกซิเจน เพราะเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ไม่ใช้สารเคมี จึงไม่เหลือสารเคมีตกค้างที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแกลบปรับสภาพด้วยการเผา

1.2.2 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดของ อุณหภูมิเผา, เวลาเข้าสู่สมดุล, ขนาดเมฆ, pH และ อุณหภูมิของสารละลาย ที่เหมาะสมต่อ การดูดซับไอออนโลหะสังกะสี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรคือแกลบ
- 1.3.2 ศึกษาอุณหภูมิเผาที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะหนัก สังกะสี ในน้ำเสียสังเคราะห์
- 1.3.3 ศึกษาหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลที่ใช้ในการดูดซับไอออนโลหะหนักสังกะสี
- 1.3.4 ศึกษาหาขนาด, อุณหภูมิของสารละลาย และ pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอออนโลหะหนักสังกะสี
- 1.3.5 ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักสังกะสี ตามทฤษฎีของ แลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (Langmuir Isotherm) และ ฟรอนด์ลิชไอโซเทอร์ม (Freundlich Isotherm)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี
- 1.4.2 ทราบแนวทางในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีโลหะหนักสังกะสี (II) เจือปนอยู่โดยใช้แกลบปรับสภาพ
- 1.4.3 สามารถหาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะหนักของแกลบปรับสภาพได้

1.5 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อที่ปฏิบัติ	2548		2549					
	ต.ก - ธ.ก		ม.ก - มี.ค.		เม.ย - มิ.ย		ก.ค - ต.ค	
1. เตรียม วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง								
2. ทำการทดลอง								
2.1 ทำการหาเวลาเข้าสู่สมดุลที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ แกลบปรับสภาพ								
2.2 ทำการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับโลหะหนัก								
2.3 ทำการหาขนาดของแกลบปรับสภาพที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับโลหะหนัก								
2.4 ทำการหาค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับโลหะหนัก								
2.5 ทำการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับโลหะหนัก								
2.6 ศึกษาแบบจำลองการดูดซับ								
3. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง								
4. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์								

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 โลหะหนัก (Heavy Metal)

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป และมีเลขอะตอม 23 ถึง 92 อยู่ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณลักษณะทางกายภาพคือ นำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี เป็นมันวาว สะท้อนแสง เหนียว นำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า โลหะหนักถือว่าเป็นโลหะปริมาณน้อย (Trace Metals) ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มทรานซิชัน (Transition Elements) นอกจากนี้ ยังมีธาตุอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มของธาตุรีเพรสเซนต์ (Representative elements) คือ ตะกั่ว สังกะสี พลวง และซีลีเนียม โลหะหนักสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ และดินตะกอน เนื่องจากมีความคงตัว ไม่สลายตัวโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้บางส่วนสามารถสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป

การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำมีสาเหตุเกิดจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การผุพังของหิน และจากกิจกรรมของมนุษย์เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนเกษตรกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปัจจัยร่วมทั้งสอง เช่น ในฤดูมรสุมน้ำฝนที่ไหลผ่านชุมชนโดยเฉพาะบริเวณที่มีการคมนาคมหนาแน่น จะมีปริมาณโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนในบริเวณนั้นมาก แต่ทั้งนี้โลหะหนักที่พบในแหล่งน้ำส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์

โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบเชิงอินทรีย์ เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic Compound) ซึ่งเป็นพิษ และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิด เป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายมนุษย์ อาจมีผลทำให้พิการ หรือเสียชีวิตได้ โลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมที่สำคัญได้แก่

สังกะสี (Zn) เป็นธาตุในหมู่ IIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 65.37 จุดหลอมเหลว 9.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 906 องศาเซลเซียส และ ความหนาแน่น 7.14 กรัมต่อมิลลิลิตร สังกะสีที่พบในสภาวะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานชุบโลหะ ผลิต ช่อม และประกอบแบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย กระดาษพิมพ์เขียว เป็นต้น สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพราะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิด หากขาดธาตุนี้จะมีผลทำให้สัตว์ชะงักการเจริญเติบโต ขนหรือผมร่วง อวัยวะและระบบการสืบพันธุ์ผิดปกติ แต่ถ้าร่างกายได้รับธาตุนี้มากเกินไปจะทำให้เกิดการผิดปกติเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารและระบบประสาท

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

โลหะหนัก (Heavy Metal)	ค่ามาตรฐาน
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

แหล่งที่มา : ฉัตรไชย (2539)

2.1.2 ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยที่อะตอมหรือโมเลกุลที่ยึดติดอยู่กับผิวหน้าของเฟสหนึ่ง เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ไปเกาะติดกับผิวหน้าของอีกเฟสหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) การเกาะติดของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1.2.1 ความสามารถในการดูดซับ (Adsorbability) เนื่องจากลักษณะของการดูดซับจะมีพื้นที่ผิวเป็นรูพรุน (Capillary Tube) จึงเกิดสถานะที่ ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะติดอยู่ได้

2.1.2.2 ประจุบนพื้นผิวของสารดูดซับ (Surface Charge) ทำให้สามารถที่จะดูดซับกับวัตถุอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ซึ่งสภาพดังกล่าวนี้คล้ายปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน

การดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การดูดซับทางเคมี และการดูดซับทางกายภาพ

1. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกี่ยวข้องกับพันธะเคมี โดยมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ

โดยมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับนั้น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบทางเคมีชนิดใหม่ขึ้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับนั้น

2. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอย่างอ่อนๆ ที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ โดยการดูดซับนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวัดหาพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยา ขนาดของรูพรุน และการกระจายขนาดของรูพรุน

2.1.2.3 ประเภทของสารดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. สารประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวต่างๆ ออกไซด์ของโลหะต่างๆ ซึ่งถ้าเป็นสารประกอบธรรมชาติจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 ถึง 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารประเภทนี้มีข้อเสียคือ สามารถดูดซับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้ไม่กี่ชนิด

2. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นโดยผ่านกระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพ เพื่อให้เกิดรูพรุนในโครงสร้าง มีพื้นที่ผิวประมาณ 600 ถึง 1000 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถ่านกัมมันต์

3. สารประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น ไอออนเอ็กซ์เชนเจอร์เรซิน (Ion Exchanger Resin) มีพื้นที่ผิวประมาณ 300 ถึง 5000 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นสารที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ง่าย

2.1.2.4 แบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Models for Adsorption Isotherm)

การดูดซับเกิดจากตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกจากสารละลาย และก่อให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้าของของแข็ง ในเวลานั้นจะเป็นสภาวะสมดุลพลศาสตร์ ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง ที่สภาวะสมดุลของตัวดูดซับ จะมีค่าเป็นร้อยละโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงได้ด้วยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้น หรือปริมาณ หรือปริมาตร ของตัวถูกละลายไว้เทียบกับความดันย่อย หรือความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อุณหภูมิคงที่เรียกว่า กราฟการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Adsorption Isotherms) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมกันมากที่สุด ซึ่งกราฟนี้อธิบายถึง การกระจายตัวของตัวถูกละลายระหว่างเฟสของของเหลวและของแข็ง อัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะจับพังกั้นกับความเข้มข้นของตัวทำละลาย คุณสมบัติของตัวถูกละลาย หรือความเข้มข้นและสมบัติของตัวถูกละลาย เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ของจำนวนตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของของแข็ง กับความเข้มข้น

ของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล การแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของการดูดซับเมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเปลี่ยนไปที่อุณหภูมิคงที่นี้ โดยทั่วไปจำนวนของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น แต่อาจจะไม่แปรผันกับเส้นตรง

การดูดซับที่เกิดขึ้นนี้สามารถใช้แบบจำลองการดูดซับมาอธิบายสมดุลที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิคงที่ ซึ่งมี 2 แบบที่สำคัญ คือ

แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์

แลงเมียร์ เป็นสมการการดูดซับที่นิยมนำมาใช้อธิบายการดูดซับ เนื่องจากสามารถอธิบายการดูดซับได้ดี โดยสมมุติฐานของทฤษฎีนี้มีแนวความคิดจากแบบจำลองการดูดซับแบบ Monolayer ดังนี้

1. ที่ทุกๆตำแหน่งผิวสัมผัสสามารถดูดซับ โมเลกุลได้
2. โมเลกุลแต่ละ โมเลกุลไม่มีผลกระทบต่อกัน รวมถึงตำแหน่งของโมเลกุล ไม่มีผลต่อการดูดซับ
3. พลังงานและกลไกการดูดซับของทุกๆ โมเลกุลบนผิวตัวดูดซับเกิดขึ้นเหมือนกัน
4. การดูดซับของโมเลกุลแต่ละพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเกิดแบบ Monolayer ซึ่งมีสมการแสดงดังนี้

เมื่อพิจารณาจากค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

(θ) เขียนได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\theta = \frac{q_e}{q_m} \quad (2.1)$$

โดย q_e คือ โลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m คือ โลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

θ คือ สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

อัตราการดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด (r_{ax}) ตามสมการที่ (2.2)

$$r_{ax} = k_a C_e (1 - \theta) \quad (2.2)$$

โดย k_a คือ ค่าคงที่ของการดูดซับ

C_e คือ ค่าความเข้มข้นที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

อัตราการคาย (Desorption) ต่อหน่วยพื้นที่ผิวทั้งหมด (r_{dx}) ตามสมการที่ 2.3

$$r_{dx} = k_d \theta \quad (2.3)$$

โดย k_d คือ ค่าคงที่ของการคาย

ที่สมดุลอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายดังนั้นสมการที่ (2.2) เท่ากับสมการที่ (2.3)

$$k_a C_e (1 - \theta) = k_d \theta \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{k_a C_e}{(k_d + k_a C_e)} \quad (2.5)$$

แทนค่า θ จากสมการที่ (2.1) ลงในสมการที่ (2.5) จะได้ สมการที่ (2.6)

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.6)$$

โดย K_L คือ ค่าคงที่ของการดูดซับต่อค่าคงที่ของการคายตั้งสมการที่ (2.7)

$$K_L = \frac{k_a}{k_d} \quad (2.7)$$

สมการที่ (2.6) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง ตามสมการที่ (2.8)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad (2.8)$$

โดย K_L คือ ค่าคงที่ที่จุดสมดุล (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

แบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิชสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2.9)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.9)$$

สมการ (2.9) จัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง ตามสมการที่ (2.10)

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.10)$$

โดย K_F คือ โลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่อิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

n คือ ค่าคงที่ที่บอกลถึงจำนวนชั้นของการดูดซับ

2.1.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.1.2.5.1 ชนิดและขนาดของการดูดซับ สารดูดซับแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นสารดูดซับชนิดเดียวกันแต่กรรมวิธีในการผลิตที่แตกต่างกันแล้ว ก็อาจทำให้ความสามารถในการดูดซับแตกต่างกันด้วย

2.1.2.5.2 ชนิดและขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่มีขนาดใหญ่จะถูกดูดซับได้มากกว่าตัวถูกดูดซับที่มีขนาดเล็ก เพราะตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนประจุมากกว่าตัวถูกดูดซับที่มีขนาดเล็ก

2.1.2.5.3 ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ โดยทั่วไปเมื่อมีการเพิ่มความดันหรือความเข้มข้นของสาร จะมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย

2.1.2.5.4 สภาวะของการดูดซับ สภาวะของการดูดซับมีหลายปัจจัย เช่น ค่าความเป็นกรดค่ามีผลต่อการแตกตัวของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ

2.1.2.5.5 พื้นที่ผิวของแข็ง ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ จะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวของแข็ง ถ้าของแข็งมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จำนวนของสารที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นของแข็งที่จะดูดซับได้ดี จึงควรมีขนาดเล็กหรือมีรูพรุนที่ผิว

2.1.2.6 ตัวแปรที่สำคัญทางเทอร์โมไดนามิกส์

กระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆทั้งทางเคมีและทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร หรือการเกิดปฏิกิริยาเคมี ล้วนแต่มีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ โดยอาจเป็นกระบวนการดูดพลังงาน หรือคายพลังงาน ข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ใช้ทำนายทิศทางการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งมีความสำคัญต่อนักวิทยาศาสตร์ในด้านการทดลอง การวิจัย รวมถึงอุตสาหกรรม เพราะจะช่วยให้สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาได้ ค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่สำคัญมีดังนี้

2.1.2.6.1 เอนทัลปี (Enthalpy)

เอนทัลปี (H) เป็นความร้อนภายในระบบเมื่อมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ที่ความดันคงที่คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยา (Enthalpy of Reaction ; ΔH) หรือบางครั้งเรียกว่าความร้อนของปฏิกิริยา

ความหมายเครื่องหมายบวกของเอนทัลปีคือ ถ้าค่า ΔH มีค่าเป็นลบจะเป็นกระบวนการคายความร้อน และถ้าค่า ΔH เป็นบวกจะเป็นการดูดความร้อน

2.1.2.6.2 เอนโทรปี (Entropy)

กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือทางกายภาพ จะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มความไม่เป็นระเบียบหรือลดความเป็นระเบียบ ความไม่เป็นระเบียบจะมีมากขึ้นเพียงใดสามารถระบุได้โดยค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่เรียกว่า เอนโทรปี (S) ถ้าความไม่เป็นระเบียบมาก S จะมีค่ามาก

ความหมายเครื่องหมายบวกของเอนโทรปีคือ ถ้าค่า ΔS มีค่าเป็นลบแสดงว่าระบบมีความไม่เป็นระเบียบลดลง และถ้าค่า ΔS เป็นบวกแสดงว่าระบบมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ของค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีที่ใช้อธิบายในกระบวนการดูดซับ ดังสมการที่ (2.11)

$$\ln K_d = \Delta S / R - \Delta H / RT \quad (2.11)$$

โดย K_d คือ มิลลิกรัมของโลหะที่ถูกดูดซับต่อตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อความเข้มข้นของโลหะที่ถูกดูดซับต่อตัวดูดซับ 1 กรัม ดังสมการที่ (2.12)

$$K_d = q_e / C_e \quad (2.12)$$

โดย q_e คือ มิลลิกรัมของโลหะที่ถูกดูดซับต่อตัวดูดซับ 1 กรัม

C_e คือ ความเข้มข้นของโลหะที่ถูกดูดซับต่อตัวดูดซับ 1 กรัม

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ

2.1.2.6.3 พลังงานเสรีกิ๊บส์ (Gibbs Free Energy)

พลังงานเสรีกิ๊บส์ (G) เป็นค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.13)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.13)$$

ความหมายเครื่องหมายบวกลบของค่า ΔG คือ ถ้าค่า ΔG มีค่าเป็นลบแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ด้วยตนเอง และถ้าค่า ΔG เป็นบวกแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตนเอง และถ้าค่า ΔG เท่ากับ 0 แสดงว่าระบบอยู่ในสมดุล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสุทธิ

2.1.3 แกลบ (Rice Husk)

แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มผลทั้งหมด หรือข้าวกล้อง (caryopsis) มีลักษณะเป็นเปลือกแข็ง ผิวหยาบ แยกเป็นสองฝาประกบกันห่อหุ้มข้าวกล้องตามแนวยาว เรียกว่าเปลือกฝาใหญ่ (lemma) และเปลือกฝาเล็ก (palea) ขอบเปลือกทั้ง 2 ฝา มีลักษณะเป็นตะขอเกี่ยวกัน ทำให้สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ การเกี่ยวกันของฝาแกลบทั้งสองแตกต่างกันตามพันธุ์ หากแกลบและผลหรือเมล็ดข้าวกล้องที่อยู่ภายในอัดตัวกันแน่น จะมีผลช่วยให้การเข้าทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บลำบากขึ้น ผิวนอกของเปลือกอาจมีขนแข็ง (pubescent paddy) ขนแข็งนี้เมื่อหักหลุดจากเปลือกจะก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง ดังนั้น ในการปรับปรุงพันธุ์จึงมีความพยายามพัฒนาพันธุ์ข้าวที่เมล็ดมีผิวแกลบเรียบ (glabrous paddy) ส่วนของแกลบมีประมาณ 17 ถึง 24 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักข้าวเปลือก สีเปลือกส่วนใหญ่มี 2 สี คือ สีฟางและสีน้ำตาล และมีสีต่างๆปนอยู่บ้าง เช่น สีดำ แดง เขียวแกมเทา โดยแกลบข้าวมีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแกลบข้าว

องค์ประกอบ	ปริมาณ
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์) (N x 6.25)	1.9 - 3.0
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	0.3 - 0.8
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	34.5 - 45.9
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	26.5 - 29.8
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	13.2 - 21.0
ซิลิกา (เปอร์เซ็นต์)	18.8 - 22.3
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.6 - 1.3
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.3 - 0.7
ลิกนิน (เปอร์เซ็นต์)	9.0 - 20.0
เซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)	28.0 - 36.0
เพนโตซาน (เปอร์เซ็นต์)	21.0 - 22.0
เฮมิเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)	12.0
ส่วนที่สามารถย่อยได้ (เปอร์เซ็นต์)	9.3 - 9.5

แหล่งที่มา : งามชื่น (2546)

ปริมาณแกลบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะมีแกลบประมาณ 22.5 ถึง 25.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และถ้าเผาแกลบจำนวน 4 กิโลกรัม จนเป็นเถ้าจะได้แกลบประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ประมาณ 23 ล้านตัน และได้แกลบประมาณ 4.7 ล้านตันต่อปี แสดงให้เห็นว่าในแต่ละปีมีปริมาณแกลบเป็นจำนวนมาก โดยที่แกลบส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีต่างๆ หรือมีจะนั้นก็เผาทิ้งไป ดังนั้นในแต่ละปีจะมีแกลบเป็นจำนวนมากที่ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ (ภูมิพัฒน์, 2547)

2.1.3.1 คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบประกอบด้วยซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ประมาณ 70 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนประมาณ 5 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และยังมี แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) โพแทสเซียมไดออกไซด์ (K_2O) และซัลเฟอร์ (S) อีกด้วย โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรงทำหน้าที่การกรองได้ดี ถ่านที่ปนอยู่ด้วยจะช่วยให้การฟอกสีและดูดกลิ่น ซิลิกาในแกลบต่างจากทรายตรงที่เปราะและแตกหักง่ายเพราะเป็นก้อนพรุน

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำเกลือ

ส่วนประกอบ ของถ้ำเกลือ	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	ปี 2540	ปี 2543
ซิลิกาออกไซด์ (SiO ₂)	88.280	61.76
คาร์บอน(C)	6.004	5.230
เหล็กออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.049	0.040
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	2.540	1.420
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.270	0.990
โซเดียมออกไซด์ (NaO ₂)	0.134	0.380
โพแทสเซียมไดออกไซด์ (K ₂ O)	3.300	15.550
แมงกานีสออกไซด์ (MnO ₂)	0.225	0.920
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	0.005	0.120
คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)	0.010	0.002

แหล่งที่มา : ภูมิพัฒน์ (2547)

2.1.3.2 ประโยชน์ของถ้ำเกลือ

สมัยโบราณคนรู้จักนำเอาถ้ำเกลือมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ทำเป็นผงขัด ภาชนะต่างๆ ใช้แก้ดินเปรี้ยว ใช้ดูดซับสิ่งสกปรก เช่น น้ำมันเครื่อง ทำฉนวนป้องกันความร้อน และใช้ถมที่เป็นต้น ต่อมาได้มีการพัฒนาจนสามารถนำมาทำเป็นผงกรองน้ำ ผลิตภัณฑ์ ซิลิเกต ฟิลเตอร์ ใช้เป็นตัวดูดซับเมทัลลี ใช้ในอุตสาหกรรมการทำสบู่ ตลอดจนใช้ทำถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติขององค์ประกอบของถ้ำเกลือ

คุณสมบัติ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	8.10 - 11.50
ถ้ำ	16.40 - 18.30
คาร์บอน	19.20 - 20.70
สารระเหย	61.10 - 64.40
กำมะถัน	0.10 - 0.20
เซลลูโลส	42.10 - 46.60
ลิกนิน	22.10 - 22.80
เพนโทแซน	13.90 - 18.30
แป้ง	7.60 - 7.90
เส้นใย	39.10 - 41.10
โปรตีน	1.80 - 1.90
ไขมัน	0.28 - 0.31
พลังงานความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3790 - 4000
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	105 - 107

แหล่งที่มา : ภูมิทัศน์ (2547)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐมณฑน์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาความสามารถของเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพเพื่อดูดซับไอออนโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะต่างๆ โดยหาที่เวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับโลหะหนักโดยเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ และนำไปเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักของเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวปรับสภาพ เส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ และเส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 เวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ

เส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ	เวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับโลหะไอออน (นาที)		
	ทองแดง	สังกะสี	ตะกั่ว
เส้นใยกามมะพร้าวปรับสภาพ	30	60	60
เส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ	30	60	60
เส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ	60	60	60

ตารางที่ 2.6 ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ

เส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ	ปริมาณสูงสุดในการดูดซับไอออนโลหะ (มิลลิกรัมของโลหะต่อกรัมของเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ)		
	ทองแดง	สังกะสี	ตะกั่ว
เส้นใยกามมะพร้าวปรับสภาพ	3.8805	4.7170	7.1225
เส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ	4.1929	2.8209	5.8514
เส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ	2.8506	2.6539	4.6019

จากผลการทดลองตามตารางที่ 2.5 และ 2.6 สรุปได้ว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ด้วยเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับ และเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งจะพบว่าปริมาณการดูดซับโลหะมีค่าค่อนข้างคงที่ คือ หลังจากผ่านระยะเวลาดังกล่าวตัวดูดซับหรือเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพไม่สามารถทำการดูดซับไปได้มากกว่านี้ และเส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ มีปริมาณในการดูดซับไอออนโลหะทองแดงได้ดีที่สุด รองลงมาคือเส้นใยกามมะพร้าวปรับสภาพ และเส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ เส้นใยกามมะพร้าวปรับสภาพ มีปริมาณในการดูดซับไอออนโลหะสังกะสีได้ดีที่สุด รองลงมาคือเส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ และเส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ และเส้นใยกามมะพร้าวปรับสภาพ มีปริมาณในการดูดซับไอออนโลหะตะกั่วได้ดีที่สุด รองลงมาคือเส้นใยผักตบชวาปรับสภาพ และเส้นใยชานอ้อยปรับสภาพ และความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักของเส้นใยธรรมชาติปรับสภาพสอดคล้องกับทฤษฎีของแลงเมียร์

ภูมิพัฒน์ (2547) ได้ศึกษาการดูดซับไอออนโพแทสเซียม และสังกะสี โดยใช้เกลบปรับสภาพโดยศึกษาความสามารถในการดูดซับเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเผา ขนาดของเกลบปรับสภาพ พีเอชของสารละลาย และอุณหภูมิของสารละลาย พบว่าเกลบปรับสภาพสามารถดูดซับไอออนสังกะสีได้ดีที่สุดเมื่อเผาที่อุณหภูมิเท่า 400 องศาเซลเซียส และมีขนาดเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร ในสารละลายค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 และมีอุณหภูมิเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ส่วนเกลบปรับสภาพไม่สามารถดูดซับไอออนโพแทสเซียมได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการปล่อยไอออนโพแทสเซียมออกสู่สารละลายเท่ากับ 1.15 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโดยใช้เกลบที่ปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วยกรดอะซิติก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมคลอไรด์ พบว่าเกลบมีความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดอะซิติก และมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นเมื่อปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ สำหรับการดูดซับครั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ มีปริมาณการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 11.56 มิลลิกรัมต่อกรัม

Namasivayam and Kadirvelu (1997) ได้ศึกษากำมันที่เตรียมจากกาบมะพร้าวด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี โดยนำกากมะพร้าวจากโรงงาน มาตากแดดให้แห้งแล้วนำกากมะพร้าว 300 กรัม บรรจุใส่ภาชนะเหล็กแล้วปิดฝาให้แน่น นำไปไว้ในภาชนะเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า อุดช่องว่างระหว่างภาชนะเล็กและภาชนะใหญ่ด้วยทรายจนแน่นเป็นชั้นๆ แล้วจึงปิดฝาภาชนะ เตรียมเผาในเตาเผาซึ่งจำกัดอากาศให้สามารถเข้าไปข้างในได้น้อยที่สุด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเผาต่างๆ และได้เอากาบมะพร้าวออกมาตั้งแสดงในตารางที่ 2.7 และพบว่าคุณสมบัติของเอากาบมะพร้าวที่ได้จากการเผาเป็นดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 เปอร์เซนต์เอากาบมะพร้าวที่ได้

อุณหภูมิเผา (เซลเซียส)	เอากาบมะพร้าวที่ได้ (เปอร์เซนต์)
400	60.0
500	58.0
600	56.5
700	56.2
800	55.2

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของเถ้ากาบมะพร้าวที่ได้จากการเผา

ตัวแปร	อุณหภูมิเผา (เซลเซียส)				
	400	500	600	700	800
พีเอช	7.79	8.47	8.63	8.92	9.41
พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	346.00	352.00	392.00	496.00	507.00
กำลังในการฟอกสี (มิลลิกรัมต่อกรัม)	10.80	13.50	15.60	21.00	22.50
จำนวนไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	267.00	331.00	357.00	400.00	414.00

จากตารางที่ 2.8 จะสรุปได้ว่า การเผาเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่ผิวก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และการเผาเถ้ากาบมะพร้าวที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้เถ้ากาบมะพร้าวออกมาประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ จากเถ้ากาบมะพร้าวที่เริ่มเผา

Feng และคณะ (2004) ได้ทำการดูดซับตะกั่วและปรอทโดยใช้เถ้าแกลบ โดยนำเถ้าแกลบที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และทดสอบการดูดซับโลหะโดยคัดแยกเถ้าแกลบที่ขนาดต่างๆกันตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 43 ช่วง 43 ถึง 74 ช่วง 74 ถึง 175 และขนาดมากกว่า 175 ไมโครเมตร พบว่าเถ้าแกลบที่มีขนาดเล็กกว่า 43 ไมโครเมตร มีความสามารถในการดูดซับโลหะได้ดีกว่าเถ้าแกลบที่มีขนาดใหญ่ เวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับโลหะคือ 10 นาที ปริมาณการดูดซับที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วง ค่าความเป็นกรดต่าง 5.60 ถึง 5.80 และการทดลองนี้เป็นไปตามทฤษฎีของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช

Gupta (2003) ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสีย โดยใช้เถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยนำเถ้าล่อยของชานอ้อยที่เป็นกากของเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาล มาปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ได้เป็นผง แล้วนำมาศึกษาการดูดซับโดยร่อนผงเถ้าชานอ้อยเป็น 3 ขนาด คือ 100 ถึง 150 ช่วง 150 ถึง 200 และ 200 ถึง 250 ไมโครเมตร เปอร์เซ็นต์การดูดซับของแคดเมียมพบว่าดูดซับได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ 90.0 เปอร์เซ็นต์ และ 80.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับโลหะแคดเมียมและนิกเกิล พบว่าเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 และ 80 นาที ตามลำดับ ศึกษาการปรับเปลี่ยนค่าพีเอชที่ 2 ถึง 9 พบว่าค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมกับการดูดซับโลหะแคดเมียมและนิกเกิล คือ 6 และ 6.5

ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการดูดซับให้มากขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับดียิ่งขึ้น และอุณหภูมิของการดูดซับของโลหะทั้งสองดีที่สุดคือ 50 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมินี้แคดเมียมและนิกเกิลสามารถดูดซับได้ 2.00 และ 1.70 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และตามทฤษฎีของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช จะพบว่าทฤษฎีของแลงเมียร์สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีกว่าทฤษฎีของฟรุนดลิช จากการทดลองทั้งหมดจะสรุปได้ว่า ขนาดของเก้าชานอ้อยมีผลต่อการดูดซับโดยเมื่อขนาดเล็กลงจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับได้มากขึ้น เวลาในการเข้าสู่สมดุลของโลหะแคดเมียมและนิกเกิลจะแตกต่างกันถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณของตัวดูดซับเท่ากันก็ตาม ค่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับโดยที่แคดเมียมและนิกเกิลจะดูดซับได้ที่ ความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน เพิ่มอุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดซับดียิ่งขึ้น และทฤษฎีของแลงเมียร์สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีกว่าทฤษฎีของฟรุนดลิช

Kadirvelu และ Namasivayam (2003) ได้ศึกษาการดูดซับแคดเมียมจากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกาบมะพร้าวซึ่งการเตรียมและคุณสมบัติต่างๆ ทำเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Namasivayam และ Kadirvelu (1997) ซึ่งได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณคาร์บอนตามแบบจำลองการดูดซับและ อิทธิพลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับและการตกตะกอน โดยการทดสอบการกำจัดแคดเมียมออกจากสารละลาย พบว่าถ้ากาบมะพร้าวมีการดูดซับที่เข้าสู่สมดุลที่ช่วง ความเป็นกรดต่างที่ 5 ถึง 10 และดูดซับได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์และ 85 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นดังกล่าว นำมาทดสอบการตกตะกอนของแคดเมียมพบว่าในช่วงความเป็นกรดต่างที่ 2 ถึง 8 แคดเมียมจะไม่ตกตะกอน ที่ความเป็นกรดต่างมากกว่า 8 ถึง 10 นั้นจะเห็นได้ชัดว่าแคดเมียมเริ่มมีการตกตะกอนได้มาก และได้ศึกษาสมการการดูดซับ เพื่อหาค่าการดูดซับที่เข้าสู่สมดุลโดยอาศัยทฤษฎีของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช พบว่าค่าการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุลเมื่อดูดซับได้สูงสุดที่ 93.4 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 เป็นค่าเริ่มต้น และขนาดของเก้าชานมะพร้าวสำหรับการดูดซับประมาณ 250 ถึง 500 ไมโครเมตร สรุปได้ว่าเก้าชานมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะ และช่วงความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมกับการดูดซับควรมีค่าเป็นกรดอ่อนๆจนถึงค่าพีเอชที่เป็นด่างอ่อนๆ เพราะเป็นช่วงที่โลหะไม่ตกตะกอนจึงเหมาะแก่การดูดซับ

Kadirvelu และคณะ (2001) ได้ศึกษาการดูดซับของนิกเกิลจากสารละลายบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกาบมะพร้าว โดยนำคาร์บอนจากกาบมะพร้าวที่ต้องทำการปรับปรุงมาผสมกับกรดซัลฟิวริกและแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{NH}_4\text{S}_2\text{O}_8$) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาจุ่มใน 1 เปอร์เซ็นต์โซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อ

กำจัดกรดที่เหลือจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

ตัวแปร	ค่า
พีเอช	8.63
พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	592.00
กำลังในการฟอกสี (มิลลิกรัมต่อกรัม)	296.00
จำนวนไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	572.00

นำคาร์บอนที่ได้จากกาบมะพร้าวมาทดสอบการดูดซับโลหะนิกเกิลจากสารละลายโดยอาศัยทฤษฎีของแลงเมียร์ เพื่อศึกษาการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ที่เข้าสู่สมดุล ได้ผลดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ผลของการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ที่เข้าสู่สมดุล

ความเข้มข้นของนิกเกิล (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลาที่เข้าสู่สมดุล (นาที)	ปริมาณการดูดซับที่เข้าสู่สมดุล (q) (มิลลิกรัมต่อกรัม)
10.00	40.00	20.63
20.00	40.00	39.50
30.00	40.00	45.00
40.00	40.00	64.38

เมื่อศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่าง ที่มีต่อการดูดซับและการตกตะกอน โลหะนิกเกิล พบว่าการดูดซับนิกเกิลเข้าสู่สมดุลที่ค่าพีเอช 5 ถึง 7 โดยที่ค่าพีเอช 2 ถึง 7 นิกเกิลจะไม่ตกตะกอนและจะเริ่มตกตะกอนมากที่ค่าพีเอชมากกว่า 7 ขึ้นไปจนถึงค่าพีเอช 10 ก็จะเริ่มตกตะกอนคงที่จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ค่าความเป็นกรดต่าง ที่เหมาะสมแก่การดูดซับโลหะนิกเกิลคือค่าพีเอชที่ 5 ถึง 7 และที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงๆ จะทำให้ตกตะกอนจนไม่สามารถบอกได้ว่าคาร์บอนกัมมันต์นั้นดูดซับโลหะไปได้เท่าไร ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมจะทำให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Kadirvelu และคณะ (2001) ได้ทำการกำจัดไอออนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมโดยอาศัยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากของเสียทางการเกษตรที่เป็นของแข็ง โดยการทดลองแบบกะ (Batch) ผลดังแสดงในตารางที่ 2.11

โลหะหนักแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรดค่าที่ เหมาะสมกับการดูดซับแตกต่างกัน และที่ค่าความเป็นกรดค่าเดียวกันความสามารถในการเกาะจับตัวดูดซับก็แตกต่างกันด้วย จากผลการทดลองจะพบว่าในช่วงค่าพีเอช 2 ถึง 3 จะเป็นช่วงที่มีการดูดซับลดลงเนื่องมาจาก ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะไปจับกับตัวดูดซับแล้วผลักโลหะไอออน (M^{2+}) ออก

ตารางที่ 2.11 ค่าพีเอชของโลหะหนักชนิดต่างๆ

โลหะหนัก	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	ค่าพีเอชที่ดีที่สุด
คอปเปอร์(II)	73.0	5.0
ปรอท (II)	100.0	3.5
ตะกั่ว (II)	100.0	4.0
แคดเมียม (II)	100.0	4.0
นิกเกิล (II)	92.0	3.5

Shukla และ Pai (2005) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนัก ทองแดง นิกเกิลและ สังกะสี โดยใช้เส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพ ซึ่งนำเส้นใยปอกระเจาจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำความสะอาดและตัดเป็นท่อนประมาณ 1 เซนติเมตร ก่อนนำไปปรับสภาพ จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบการดูดซับโลหะที่ค่าความเป็นกรดค่าต่างๆระหว่าง เส้นใยปอกระเจาที่ไม่ปรับสภาพ, เส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพด้วยการย้อมสี C.I. Reactive Orange 13 และเส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพด้วยการออกซิไดซ์ ซึ่งใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์ โดยทำการศึกษาค่าความเป็นกรดค่าของตัวถูกดูดซับ จะพบว่าเส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพด้วยการย้อมสี C.I. Reactive Orange 13 จะสามารถดูดซับโลหะได้มากกว่าเส้นใยปอกระเจาที่ไม่ปรับสภาพและเส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพด้วยการออกซิไดซ์ ในค่าพีเอชต่างๆ และพบว่าเส้นใยปอกระเจาทั้ง 3 แบบสามารถดูดซับโลหะ ทองแดง นิกเกิลและ สังกะสีได้ดีที่ค่าความเป็นกรดค่า 5.5 6 และ 6.5 ตามลำดับ และการทดลองนี้ได้อาศัยทฤษฎีของเลงเมียร์ และฟรุนดลิช เพื่อศึกษาไอโซเทอมในการดูดซับโลหะ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ตามลำดับ โดยใช้เส้นใยปอกระเจาทั้ง 3 แบบ และเมื่อศึกษาค่าการดูดซับโลหะของเส้นใยปอกระเจา จะพบว่าเส้นใยปอกระเจาที่ปรับสภาพด้วยการย้อมสี

C.I. Reactive Orange 13 สามารถดูดซับโลหะทองแดงได้มากกว่า นิกเกิลและสังกะสี ซึ่งมีค่าการดูดซับทองแดงสูงสุดที่ 8.4 มิลลิกรัมต่อกรัม จากผลการทดลองนี้ สรุปได้ว่าโลหะทองแดง นิกเกิล และสังกะสีมีค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะแตกต่างกัน และเมื่อลดค่าพีเอชลง จะพบว่าการดูดซับโลหะก็จะลดลงด้วย โดยที่ค่าพีเอช ต่ำๆ ความสามารถในการดูดซับจะลดลง



บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ แกลบจากโรงสีข้าว อำเภอองค์กรักษ์ จังหวัดนครนายก

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สังกะสี (II) ไนเตรต ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) AR Grade บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย

3.2.2 สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals จำกัด ประเทศออสเตรเลีย

3.2.3 กรดไนตริก (HNO_3) บริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท VWR International จำกัด ประเทศอังกฤษ

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องคัดแยกขนาด ยี่ห้อ Gilson รุ่น SS 50/SS 50A ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.2 เครื่องเขย่า ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น orbital Shaker ประเทศอังกฤษ

3.3.3 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Lenton รุ่น WF 120 (P) ประเทศอังกฤษ

3.3.4 เตาเผาไฟฟ้า ยี่ห้อ Fisher Scientific Isotemp Muffle Furnace รุ่น 550-58 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.5 เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sanyo รุ่น Orbital Incubator ประเทศญี่ปุ่น

3.3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น TR-403 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์

3.4.1 เครื่องอะตอมมิก แอดซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer : AAS) บริษัท GBC รุ่น 908AA ประเทศออสเตรเลีย

3.4.2 เครื่องวัดค่าพีเอช ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น Model 15 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.5 ตัวแปรที่จะศึกษา

3.4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

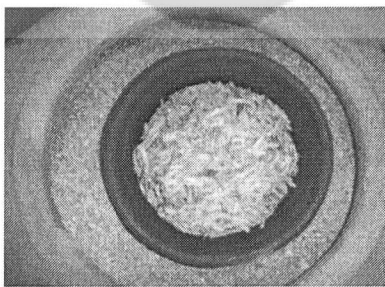
- 3.4.1.1 เวลาที่เข้าสู่สมมูล
- 3.4.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบ
- 3.4.1.3 ขนาดของแกลบปรับสภาพ
- 3.4.1.4 ค่าพีเอชของสารละลาย
- 3.4.1.5 อุณหภูมิของสารละลาย

3.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนโลหะในสารละลายโดยใช้แกลบปรับสภาพ

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การเตรียมวัตถุดิบดูดซับ

นำแกลบมาล้างและตากให้แห้ง ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จึงนำแกลบมาบรรจุลงในภาชนะขนาดเล็ก ปิดฝาแล้วนำไปใส่ในภาชนะขนาดใหญ่กว่า จากนั้นเติมทรายลงไปภายในช่องว่างของภาชนะทั้งสองแล้วปิดฝาภาชนะใบใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก่อนนำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้า เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 700 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำไปคัดแยกขนาดให้มีขนาด 45 ถึง 60 เมช 60 ถึง 80 เมช 80 ถึง 120 เมช 120 ถึง 170 เมช และเล็กกว่า 170 เมช



รูปที่ 3.1 การบรรจุแกลบก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาการดูดซับครั้งนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ขั้นตอน

3.6.2.1 ศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมมูลที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้เกลบปรับสภาพ

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 นำเกลบปรับสภาพปริมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิเปตสารละลายโลหะหนัก 300 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 5 10 15 25 35 45 60 80 120 160 200 240 300 360 และ 400 นาที แล้วนำไปกรองแยกเกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เชื้อเพลิงแอร์กัปอะซิทีลิน วัดปริมาณโลหะสังกะสีที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร กระแสหลอดไฟ 5.0 มิลลิแอมป์ ความกว้างช่อง 0.2 นาโนเมตร

3.6.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาเกลบปรับสภาพ

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 จากนั้นนำเกลบปรับสภาพปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิเปตสารละลายโลหะหนัก 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่จุดสมมูล แล้วนำไปกรองแยกเกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.6.2.3 ศึกษาผลของขนาดของเกลบปรับสภาพ

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 จากนั้นนำเกลบปรับสภาพที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด มาแบ่งแยกขนาดออกเป็น 5 ขนาด ดังนี้ ขนาด 45 ถึง 60 เมช 60 ถึง 80 เมช 80 ถึง 120 เมช 120 ถึง 170 เมช และเล็กกว่า 170 เมช นำเกลบปรับสภาพปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิเปตสารละลายโลหะหนัก 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่จุดสมมูล แล้วนำไปกรองแยกเกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.6.2.4 ศึกษาผลของค่าพีเอชของสารละลาย

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ จากนั้นนำเกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิเผาและขนาดที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

ปีเปิดสารละลายโลหะหนัก 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่จุดสมดุล แล้วนำไปกรองแยกแกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะด้วยเครื่องอะตอมมิคแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.6.2.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิ

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรด่างของสารละลายที่ทำให้การดูดซับดีที่สุด พิจารณาได้จากข้อ 3.6.2.4 จากนั้นนำแกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิเผา และขนาดที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปีเปิดสารละลายโลหะหนัก 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 30 40 45 50 และ 53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่จุดสมดุล แล้วนำไปกรองแยกแกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะด้วยเครื่องอะตอมมิคแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.6.2.6 ศึกษาแบบจำลองการดูดซับโดยทฤษฎีของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช

เตรียมสารละลายโลหะหนัก สังกะสี (II) ความเข้มข้นเริ่มต้น 80 100 120 10 และ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแคดเมียม (II) และสังกะสี (II) ส่วนตะกั่ว (II) ใช้ 140 160 180 200 และ 220 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายที่ทำให้การดูดซับดีที่สุด พิจารณาได้จากข้อ 3.6.2.4 จากนั้นนำแกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิเผาและขนาดที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด ปริมาณ 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปีเปิดสารละลายโลหะหนักที่เตรียมไว้ 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวด นำไปเขย่าที่อุณหภูมิที่ทำให้การดูดซับดีที่สุด พิจารณาจากตอนที่ 5 เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บสารละลายตัวอย่างที่จุดสมดุล แล้วนำไปกรองแยกแกลบปรับสภาพออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะด้วยเครื่องอะตอมมิคแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.7 ระยะเวลาและสถานที่ในการทดลอง

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2548 ถึงสิ้นเดือนตุลาคม 2549 ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

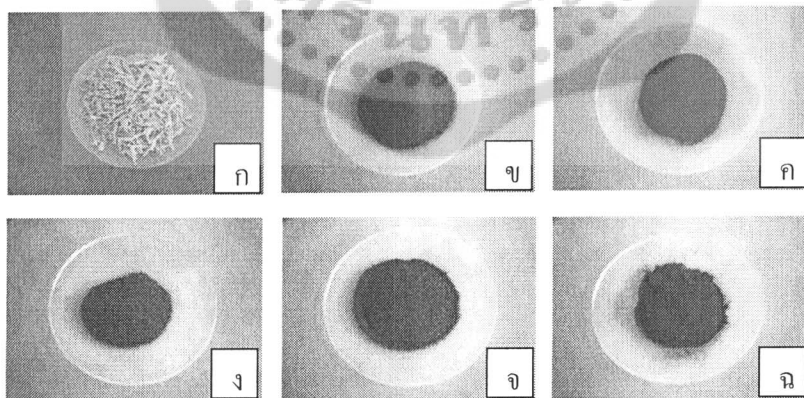
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

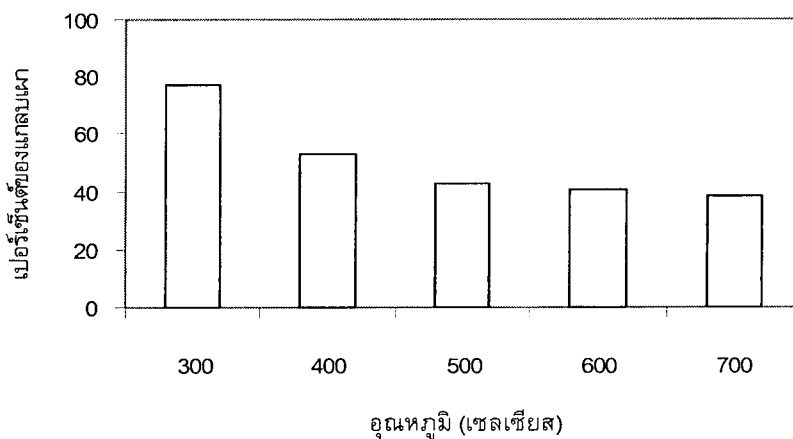
การศึกษายัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ ไอออนโลหะสังกะสี (II) โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการดูดซับ ศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุล ผลของอุณหภูมิเผา ขนาดของวัสดุดูดซับ ค่าความเป็นกรดค่าของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลาย และแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การเตรียมวัสดุในการดูดซับ

การปรับสภาพแกลบด้วยวิธีการเผาแบบควบคุมปริมาณออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ผลที่ได้คือสีของแกลบเผานั้นมีความแตกต่างกันโดยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะได้สีน้ำตาลเพราะยังเผาไม่หมดจึงยังคงเป็นสีของแกลบอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นก็จะกลายเป็นสีดำและค่อยๆเข้มขึ้นจนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส สีของแกลบเผาจะมีสีขาวปนมาเล็กน้อยเนื่องจากมีเถ้าเกิดขึ้นพิจารณาจากรูปที่ 4.1 และเมื่ออุณหภูมิในการเผาแกลบสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ของแกลบที่ได้จากการเผาก็จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ภาพของแกลบก่อนเผา (ก) แกลบหลังเผาที่อุณหภูมิ 300 (ข) 400 (ค) 500 (ง) 600 (จ) และ 700 (ฉ) องศาเซลเซียส

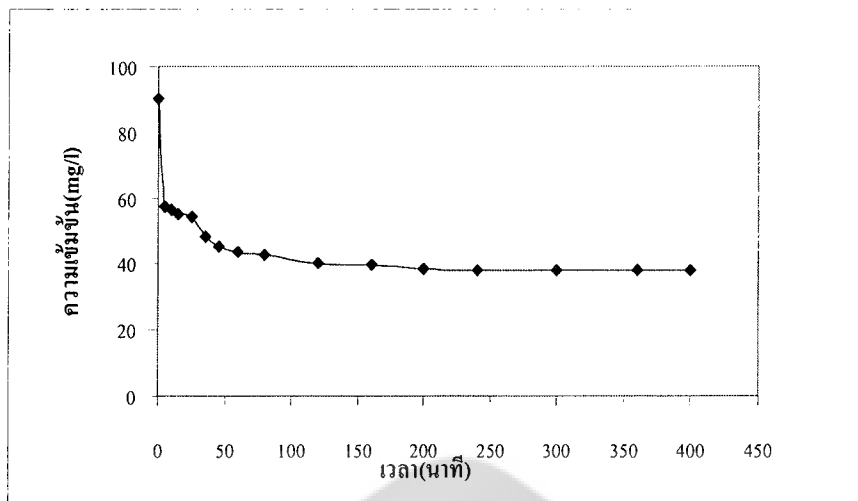


รูปที่ 4.2 ผลของเปอร์เซ็นต์ของเหล็กในอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเหล็กในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากที่สุดคือ 77.48 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณเหล็กที่ได้จากการเผามีค่าน้อยลงคือ 52.74 42.58 40.17 และ 38.23 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิเผา 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียสตามลำดับ

4.2 เวลาสมดุลของการดูดซับไอออนโลหะหนัก

การศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักเพื่อหาเวลาเข้าสู่สมดุล โดยกำหนดอัตราของตัวดูดซับต่อสารละลายโลหะหนักเป็น 3 กรัมต่อ 300 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 และใช้เหล็กปรับสภาพที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เหล็กขนาดเล็กกว่า 80 เมช โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที พบว่าเวลาในการเข้าสู่สมดุลของโลหะ สังกะสี (II) มีค่าแตกต่างกัน โดยความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเหล็กปรับสภาพจะสามารถดูดซับรวดเร็วในช่วง 35 นาทีแรก แล้วดูดซับไปจนเริ่มคงที่ สังกะสี (II) มีช่วงเวลาเข้าสู่สมดุลคือ 200 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3

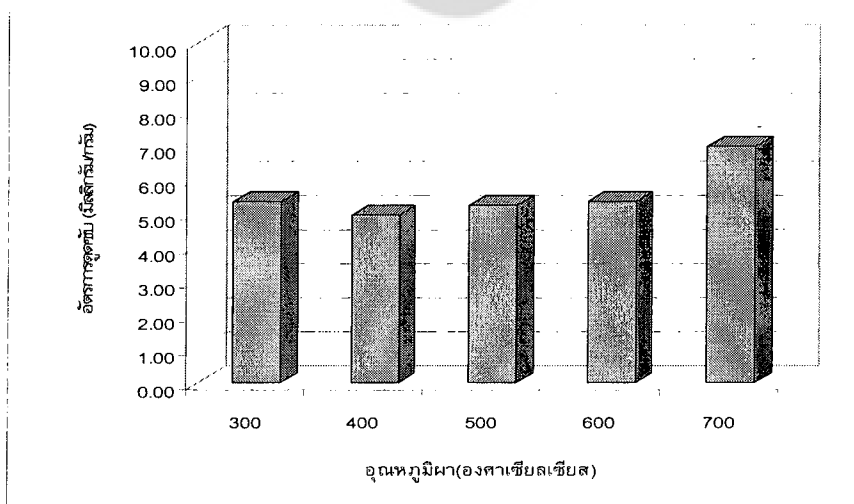


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นในการดูดซับของ สังกะสี (II) ที่เวลาต่างๆ

เวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับของไอออนโลหะสังกะสี (II) ใช้เวลา 200 นาที ในการศึกษาปัจจัยต่างๆ ให้เพิ่มเวลาอีก 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าระบบได้เข้าสู่สมดุล

4.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาผลาญในการดูดซับไอออนโลหะหนัก

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาผลาญซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ กำหนดอัตราของตัวดูดซับต่อสารละลายโลหะหนักเป็น 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 ที่อุณหภูมิเผาผลาญ 300 ถึง 700 องศาเซลเซียส ใช้แถบขนาดเล็กลงว่า 80 เมช

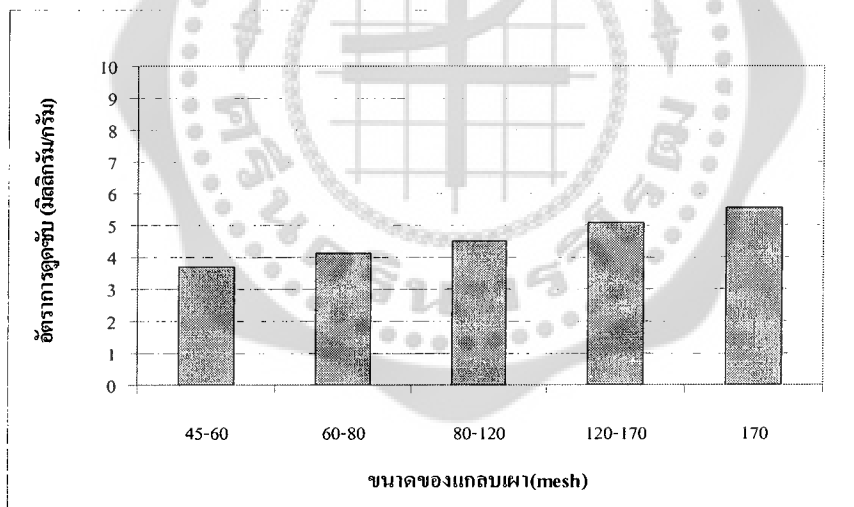


รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิเผาผลาญที่มีต่อการดูดซับไอออนสังกะสี (II)

โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที โดยเก็บสารตัวอย่างที่เวลาสมมูลมาวัดค่าความเข้มข้น สังกะสี (II) ถูกดูดซับด้วยแกลบปรับสภาพที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ได้ดีกว่าอุณหภูมิอื่น คือดูดซับได้ 6.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.4 ผลของขนาดของแกลบปรับสภาพในการดูดซับไอออนโลหะหนัก

การศึกษาผลของขนาดของแกลบปรับสภาพในการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยใช้แกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส สำหรับแคดเมียม (II) ส่วนสังกะสี (II) และตะกั่ว (II) ใช้แกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนการดูดซับเป็น 1 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 โดยทำการทดลองที่ขนาดต่างๆ คือ 45 ถึง 60 เมช 60 ถึง 80 เมช 80 ถึง 120 เมช 120 ถึง 170 เมช และ เล็กกว่า 170 เมช โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที พบว่าสังกะสี (II) นั้นดูดซับได้ดีที่สุดที่ขนาดเล็กลงกว่า 170 เมช ดูดซับได้ 5.54 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.5

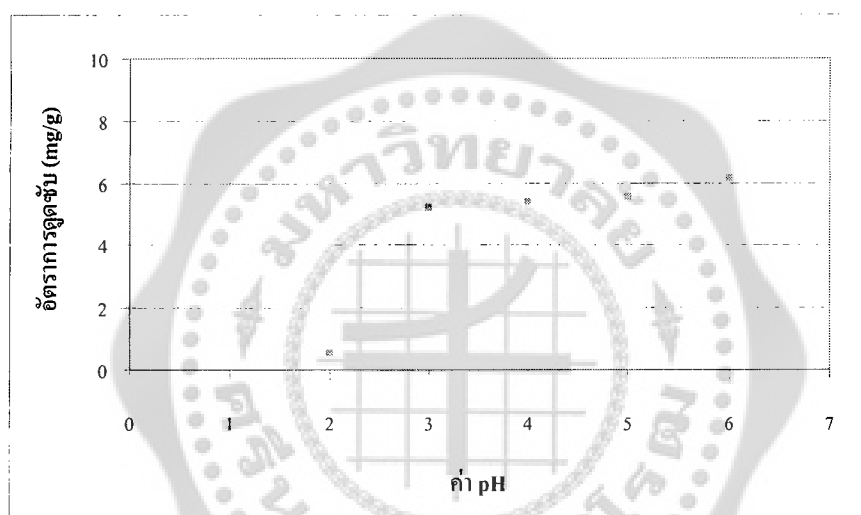


รูปที่ 4.5 ผลของขนาดของแกลบปรับสภาพที่มีต่อการดูดซับโลหะสังกะสี (II)

รูปที่ 4.5 เห็นได้ว่าสังกะสี (II) นั้นสามารถดูดซับได้ดีที่ขนาดเล็กลงกว่า 170 เมช ขนาดของแกลบปรับสภาพที่ต่างกันการดูดซับก็จะแตกต่างกัน อาจขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลงความเหมาะสมของรูพรุนในการเกาะจับไอออนโลหะ และคุณสมบัติของโลหะกับวัสดุดูดซับเอง

4.5 ผลของค่าพีเอชของสารละลายในการดูดซับไอออนโลหะหนัก

การศึกษาผลของค่าพีเอชของสารละลายในการดูดซับไอออนโลหะหนักสังกะสี (II) ใช้เกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เกลบปรับสภาพขนาดเล็กกว่า 170 เมช และใช้อัตราส่วนการดูดซับเป็น 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชของสารละลายเป็น 2 ถึง 6 โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่สมดุลมาวัดค่าความเข้มข้น พบว่า สังกะสี (II) ดูดซับได้ดีที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 โดยดูดซับได้ 6.12 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.6



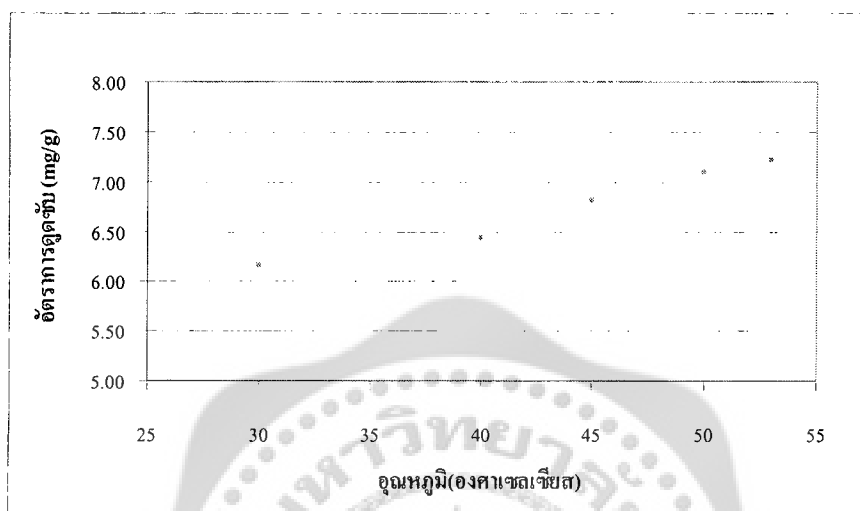
รูปที่ 4.6 ผลของค่าพีเอชของสารละลายที่มีต่อการดูดซับโลหะ สังกะสี (II)

เมื่อพิจารณาสารละลายที่ค่าพีเอชต่าง ๆ พบว่าสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนเป็นจำนวนมาก ที่ผิวของเกลบจึงถูกปกคลุมไปด้วยไฮโดรเจนไอออน ทำให้ไอออนของโลหะเข้าไปเกาะติดที่ผิวเกลบปรับสภาพได้ยากขึ้น เนื่องจากเกิดการผลักกันของประจุ เพราะฉะนั้นการดูดซับไอออนที่ค่าพีเอชต่ำ จึงมีความสามารถในการดูดซับต่ำกว่า (Kadirvelu และคณะ, 2001)

4.6 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในการดูดซับไอออนโลหะหนัก

การศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลาย ในการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยใช้เกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ขนาดเล็กกว่า 170 เมช สังกะสี (II) ใช้เกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ขนาดเล็กกว่า 170 เมช และใช้อัตราส่วนการดูดซับเป็น 1 กรัมต่อ 100

มิลลิลิตร ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชของสารละลายเป็น 6 อุณหภูมิที่ใช้คือ 30 ถึง 53 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7

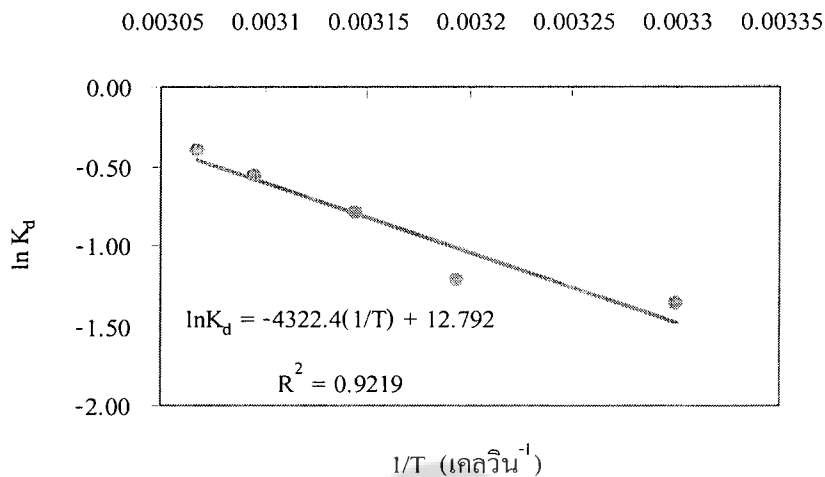


รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิของสารละลายที่มีต่อการดูดซับโลหะสังกะสี (II)

รูปที่ 4.7 พบว่าสังกะสี (II) มีการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและดูดซับได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ดูดซับได้ 7.21 มิลลิกรัมต่อ เมื่อพิจารณาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ ได้แก่ ΔG ΔH และ ΔS ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.11 และ 2.13

ตารางที่ 4.1 ค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับไอออนโลหะสังกะสี (II)

อุณหภูมิ (เซลเซียส)	K_a	ΔG (จูลต่อโมล)	ΔH (จูลต่อโมล)	ΔS (จูลต่อโมลเคลวิน)
30	0.254	3711.569		
40	0.298	2648.042		
45	0.448	2116.279	35936.434	106.353
50	0.572	1584.515		
53	0.668	1265.457		



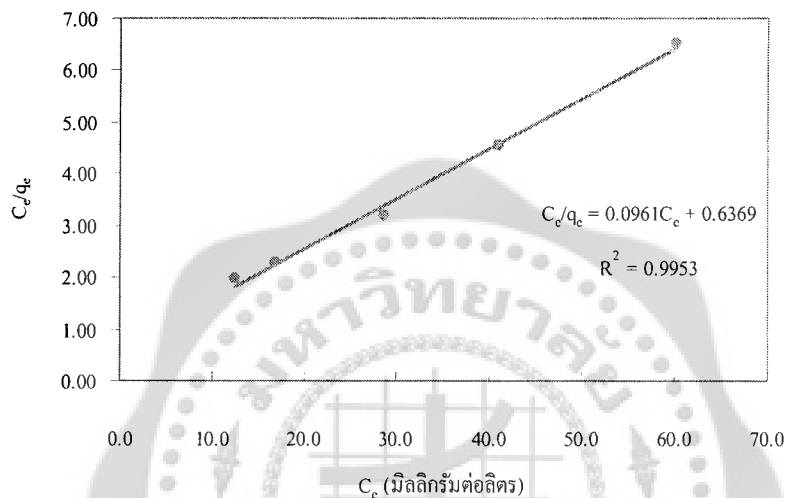
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln K_d$ กับ $1/T$ ของโลหะสังกะสี (II)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln K_d$ กับ $1/T$ ของโลหะ สังกะสี (II) จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณได้ค่า ΔH มีค่าเท่ากับ 35936.434 จูลต่อโมล ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับนี้เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสารละลายเพิ่มขึ้น และโลหะสังกะสี (II) ใช้พลังงาน ซึ่งหมายความว่า มีความต้องการพลังงานมาก ทำให้การดูดซับเกิดได้ช้า เมื่อได้ค่า ΔH และ ΔS ของการดูดซับโลหะแต่ละตัว จากค่าความชันและจุดตัดของกราฟ นำมาคำนวณค่าพลังงานเสรีกิ๊บส์ (ΔG) ที่อุณหภูมิของสารละลายโลหะโดยใช้สมการที่ 2.13 พบว่าโลหะสังกะสี มีค่าพลังงานเสรีกิ๊บส์ (ΔG) เป็นบวกซึ่งหมายความว่า การดูดซับโลหะแคดเมียม (II) และสังกะสี (II) ของแกลบปรับสภาพไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตนเอง

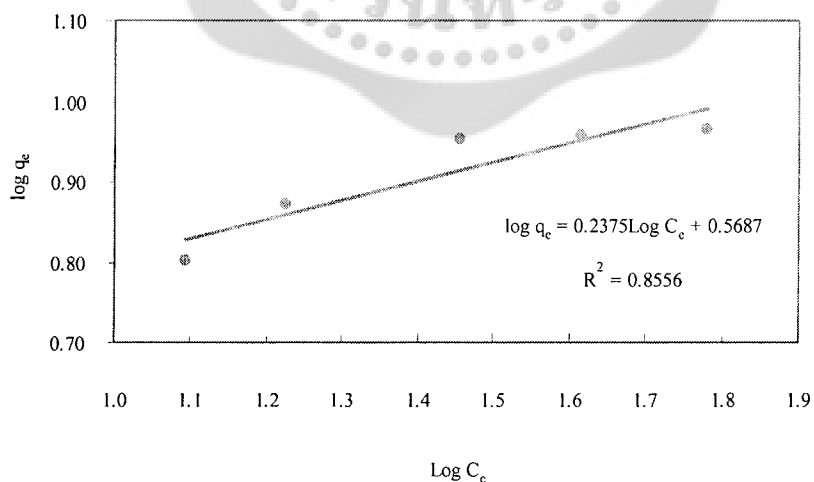
4.7 แบบจำลองการดูดซับโดยทฤษฎีของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

การศึกษาแบบจำลองการดูดซับโดยทฤษฎีของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ในการดูดซับไอออนโลหะหนัก โดยใช้แกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ขนาดเล็กกว่า 170 ไมครอน สำหรับสังกะสี (II) ใช้แกลบปรับสภาพที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ขนาดเล็กกว่า 170 ไมครอน ใช้อัตราส่วนการดูดซับเป็น 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร โดยเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นเป็น 80 100 120 140 และ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าพีเอชของสารละลายเป็น 6 อุณหภูมิที่ใช้คือ 53 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที

การอธิบายลักษณะการดูดซับของแคลบปรับสภาพ สามารถอธิบายได้จาก แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ทำได้โดยเขียนความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.8 และ 2.10 โดยเปรียบเทียบจากค่าดัชนีสหสัมพันธ์ (Correlation index : R^2) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.10 และคำนวณผลต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e ของการดูดซับโลหะสังกะสี (II) ตามทฤษฎีของแลงเมียร์



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log } q_e$ กับ $\text{Log } C_e$ ของการดูดซับโลหะสังกะสี (II) ตามทฤษฎีของฟรุนดริช

ตารางที่ 4.2 ค่า K_L , K_F , q_m , n และ R^2 ของการดูดซับโลหะแคดเมียม (II) สังกะสี (II) และตะกั่ว (II)

โลหะ	แลงเมียร์			ฟรุนดลิช		
	q_m (มิลลิกรัมต่อ กรัม)	K_L (ลิตรต่อ มิลลิกรัม)	ดัชนี สหสัมพันธ์ (R^2)	K_F (มิลลิกรัมต่อ กรัม)	จำนวน ชั้น (n)	ดัชนี สหสัมพันธ์ (R^2)
สังกะสี(II)	10.406	0.151	0.9953	3.704	4.210	0.8556

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าดัชนีสหสัมพันธ์ ของแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์และ ฟรุนดลิชของโลหะสังกะสี (II) เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีสหสัมพันธ์ ของแลงเมียร์และ ฟรุนดลิช พบว่าสมการของแลงเมียร์มีค่าสูงกว่าจึงควรใช้แบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ในการอธิบาย การดูดซับ โดยแลกเปลี่ยนสภาพสามารถดูดซับไอออนโลหะสังกะสี ได้สูงสุดคือ 10.4058 มิลลิกรัม ต่อกรัม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคูคัพไอออนโลหะหนักของแกลบปรับสภาพด้วยวิธีการเผาโดยการจำกัดปริมาณออกซิเจน พบว่าแกลบเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ได้เปอร์เซ็นต์ของแกลบเผามากที่สุดคือ 77.48 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ของแกลบเผาก็ยังมีค่าลดคือ ที่ 700 องศาเซลเซียส เหลือเพียง 38.23 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการเข้าสู่สมดุลของการคูดซับของไอออนสังกะสี (II) ใช้เวลา 200 นาที ซึ่งแกลบเผาที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสามารถในการคูดซับต่างกันโดยสังกะสี (II) ถูกคูดซับด้วยแกลบปรับสภาพที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสได้ดีกว่าอุณหภูมิอื่น โดยที่ขนาดของแกลบปรับสภาพด้วยการเผานั้นมีผลต่อการคูดซับคือ สังกะสี (II) ถูกคูดซับได้ดีที่ขนาดเล็กลงว่า 170 เมช ไอออนโลหะสังกะสี (II) ถูกคูดซับได้ดีที่สุดที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 6 และสังกะสี (II) จะถูกคูดซับได้ดีเมื่ออุณหภูมิมียุ่สูงขึ้นและคูดซับได้ดีที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าค่า ΔH ของ สังกะสี (II) มีค่าเป็นบวก ซึ่งก็หมายความว่าปฏิกิริยาคูดความร้อน และ ΔG ของสังกะสี มีค่าเป็นบวก หมายความว่าปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ โดยโลหะสังกะสี (II) ใช้พลังงานสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งหมายความว่ามีความต้องการพลังงานมากจึงทำให้การคูดซับเกิดได้ช้า โดยการทดลองนี้โลหะสังกะสี (II) สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการคูดซับโดยทฤษฎีของแลงเมียร์ไอโซเทอม

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรมีการศึกษาการดูดซับ ไอออนชนิดอื่น
- 5.2.2 ควรเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์
- 5.2.3 ควรศึกษาที่อุณหภูมิที่สูงกว่านี้
- 5.2.4 ควรศึกษาการดูดซับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริง



บรรณานุกรม(Bibliography)

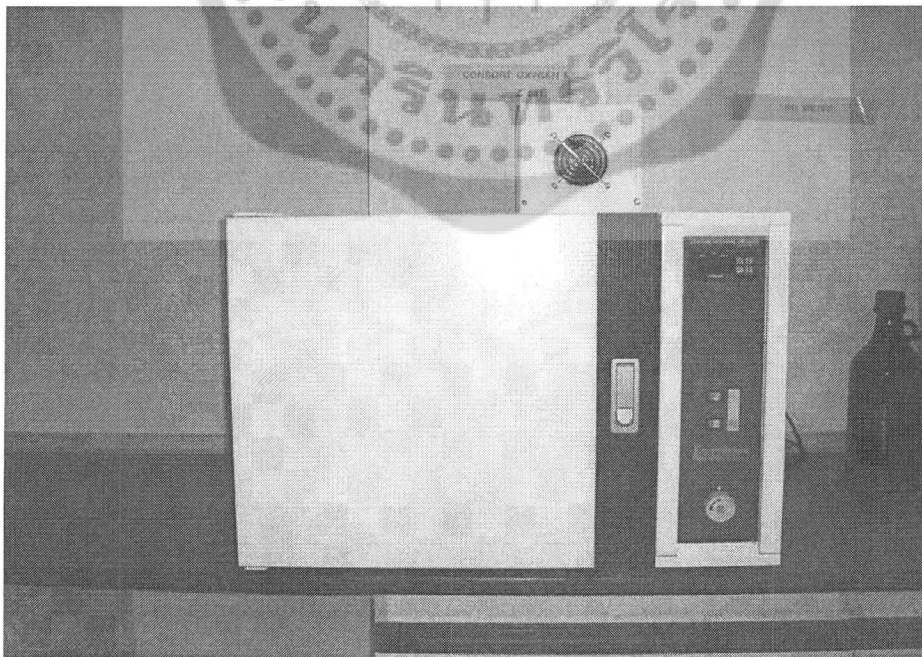
- งามชื่น คงเสรี. (2546). ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร
- ฉัตรไชย รัตรนไชย. (2539). การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ที่โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ณัฐมณฑาน์ ลีจินดา, พันธุ์มงคล ทีเจียวาละ และอุกฤษ กิจศิริเจริญชัย. (2546). การดูดซับไอออนโลหะหนักโดยใช้เส้นใยธรรมชาติปรับสภาพ. โครงการงานวิศวกรรมเคมี วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) นครนายก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ. (2547). การศึกษาปัจจัยที่มีต่อการดูดซับไอออนโพแทสเซียมและสังกะสีโดยใช้แกลบเผา. โครงการงานวิศวกรรมเคมี วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) นครนายก: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- Feng, Q., Lin, Q., Gong, F., Sugita S. and Shoya, M. (2004). **Adsorption of lead and mercury by rice husk ash.** Journal of Colloid and Interface Science. (278) : 1-8
- Gupta, V.K. (2003). **Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly Ash a sugar industry waste.** Water Research. (37) : 4038-4044
- Namasivayam, C. and Kadirvelu, K. (1997). **Activated carbons prepared from coir pith by physical and chemical activation methods.** Bioresource Technology. (62) : 123-127
- Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C. (2001). **Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from coirpith.** Separation and Purification Technology. (24) : 497-505
- Kadirvelu, K. Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C. (2001). **Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste.** Bioresource Technology. (76) : 63-65
- Kadirvelu, K. and Namasivayam, C. (2003). **Activated carbon from coconut coirpith as metal adsorbent: adsorption of Cd(II) from aqueous solution.** Advances in Environmental Research. (7) : 471-478
- Shukla, S.R. and Pai, Roshan S. (2005). **Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on modified jute fibres.** Bioresource Technology. (96) : 1430-1438



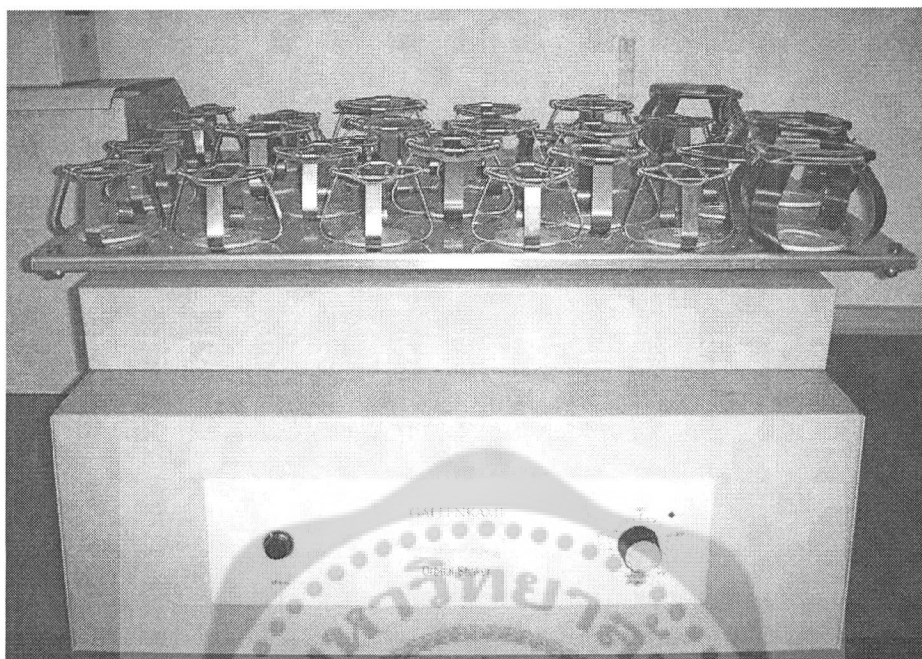
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์



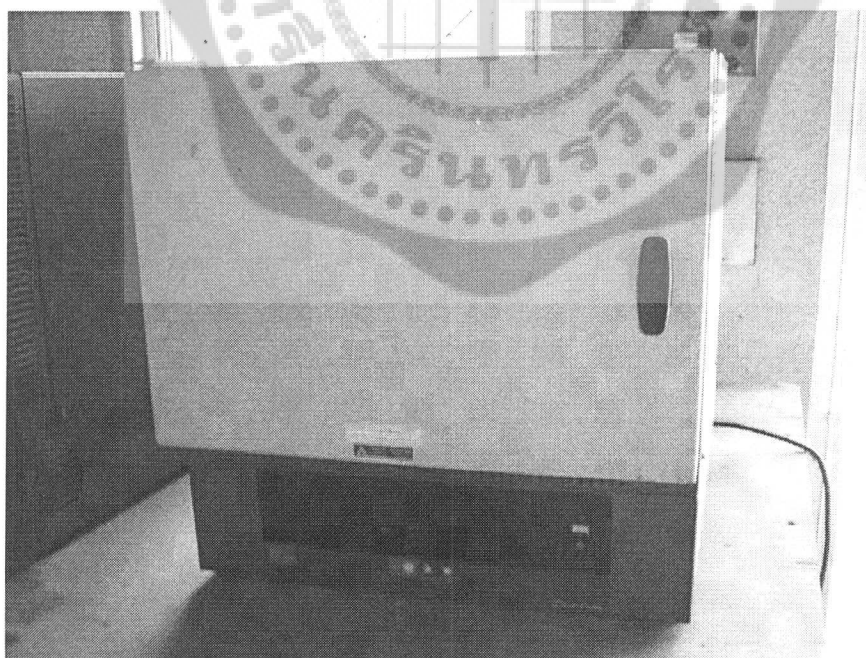
รูปที่ภาคผนวก ก1 เครื่องคัดแยกขนาด



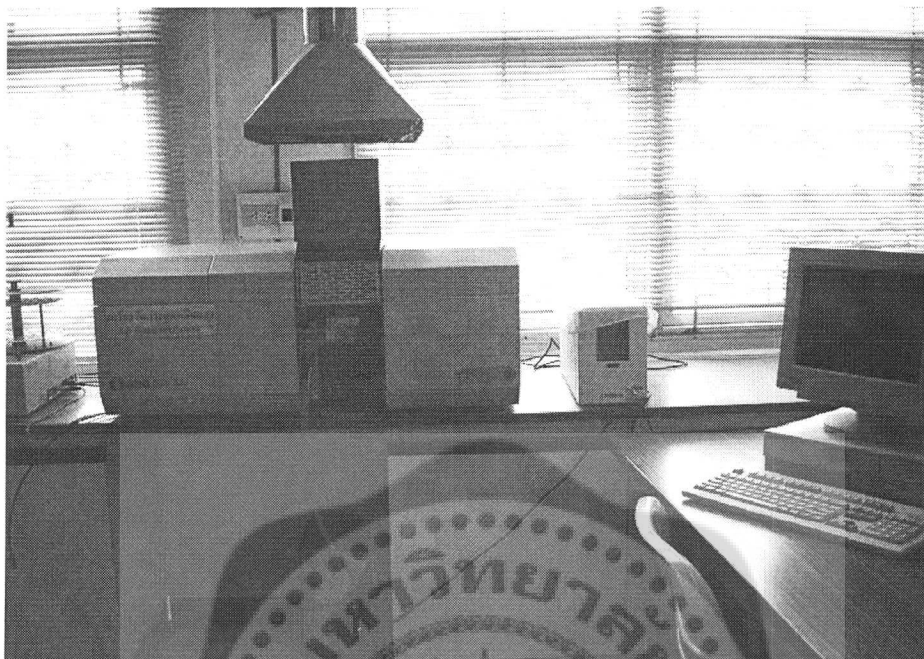
รูปที่ภาคผนวก ก2 ตู้อบไฟฟ้า



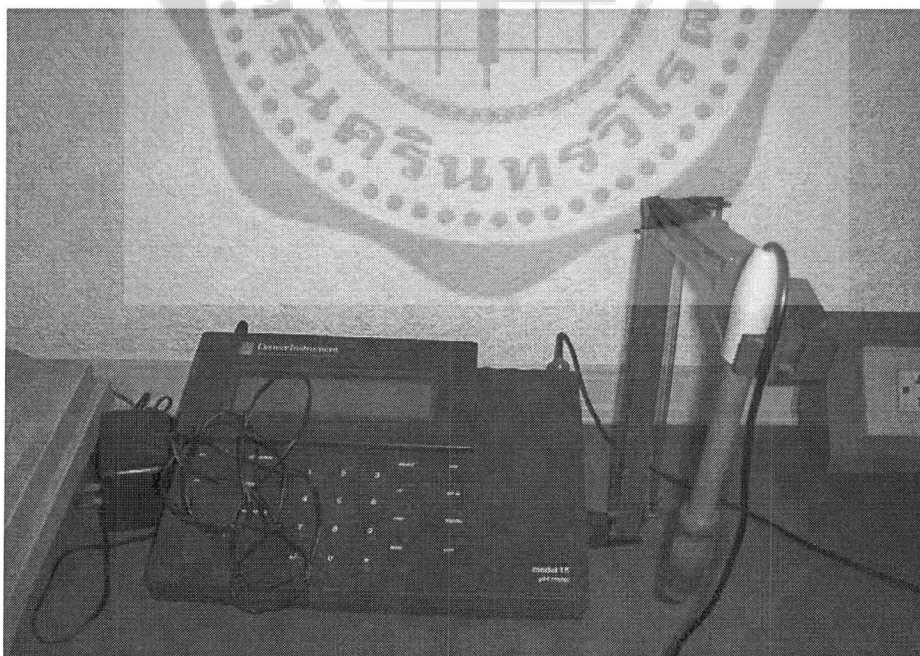
รูปที่ภาคผนวก ก3 เครื่องเซย่า



รูปที่ภาคผนวก ก4 เตาเผาไฟฟ้า



รูปที่ภาคผนวก ก5 เครื่องอะตอมมิกแอคซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



รูปที่ภาคผนวก ก6 เครื่องวัดค่าพีเอช



รูปที่ภาคผนวก ก7 เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ