

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการนำเกลือมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำเอาเกลือขาวมารีฟลักซ์กับ 3-[2-(2-Aminoethylamino)ethylamino]propyl-trimethoxy silane (DETA- silane) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำมาศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แล้วนำเอาเกลือขาวที่ปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน มาทำการศึกษาการดูดซับสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ทั้งแบบดั้งแท้และแบบคอลลอยด์ ได้ผลการทดลองดังนี้

การเตรียมวัสดุดูดซับ

เมื่อนำเกลือมาล้างให้สะอาดซึ่งจะมีสีน้ำตาลแกมเหลือง แล้วนำไปต้มด้วยกรดไนตริก 6 โมลาร์ จะได้เกลือที่มีสีเหลืองอ่อน นำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะได้เอาเกลือที่มีสีขาว เรียกว่า เถ้าเกลือขาว แล้วนำเกลือขาวมารีฟลักซ์กับ DETA- silane จะได้เอาเกลือขาวปรับปรุง สามารถแสดงลักษณะของเกลือ เกลือที่ต้มด้วยกรดไนตริก เกลือขาวและเกลือขาวปรับปรุงด้วย DETA- silane ตามลำดับได้ดังภาพที่ 4.1



(ก)

(ข)

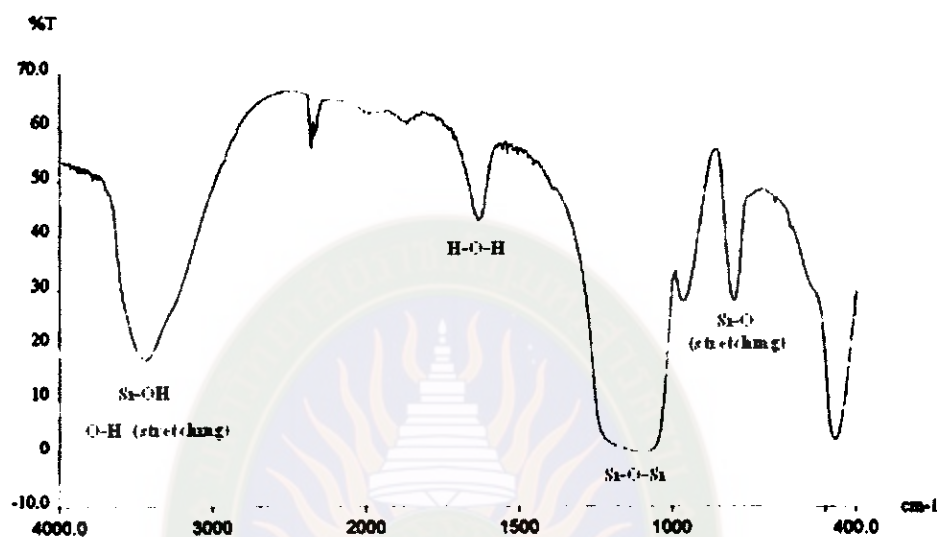
(ค)

(ง)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของเกลือ(ก) เกลือที่ต้มด้วยกรดไนตริก(ข) เถ้าเกลือขาว(ค) และเกลือขาวปรับปรุงด้วย DETA- silane(ง) ตามลำดับ

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุเคลือบ

เมื่อนำซิลิกาการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy จะได้อินฟราเรดสเปกตรัม ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของซิลิกาบริสุทธิ์

จากภาพที่ 4.2 สามารถพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันได้ดังตารางที่ 4.1

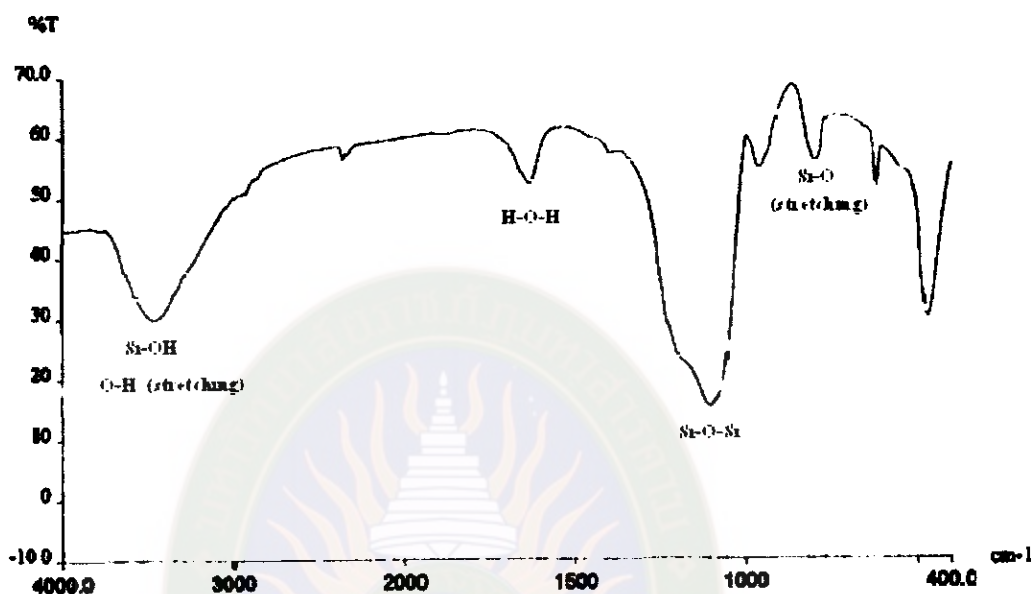
ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันกับเลขคลื่นของซิลิกาบริสุทธิ์

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	เลขคลื่น (cm ⁻¹) ของซิลิกาบริสุทธิ์
Si-O (stretching)	910-830	803 (sharp)
Si-O-Si	1125-1010	1250-1000 (broad)
H-O-H	1600	1625 (sharp)
O-H (stretching)	3500-3400	3500-3300 (broad)
Si-OH	3700-3200	

ที่มา : ประวิทย์ เนื่องมัจฉา, 2544 : 40

จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของซิลิกาบริสุทธิ์พบพีคในช่วงเลขคลื่น 803 1250-1000 1625 และ 3500-300 cm⁻¹ ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน Si-O (stretching) Si-O-Si

H-O-H O-H (stretching) หรือ Si-OH ตามลำดับ แสดงว่ามีซิลิกาในวัสดุดังกล่าว
เมื่อนำแก้วเคลือบขาวมาศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ได้ผลการ
ทดลอง ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของแก้วเคลือบขาว

จากภาพที่ 4.3 สามารถพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันได้ ดังตารางที่ 4.2

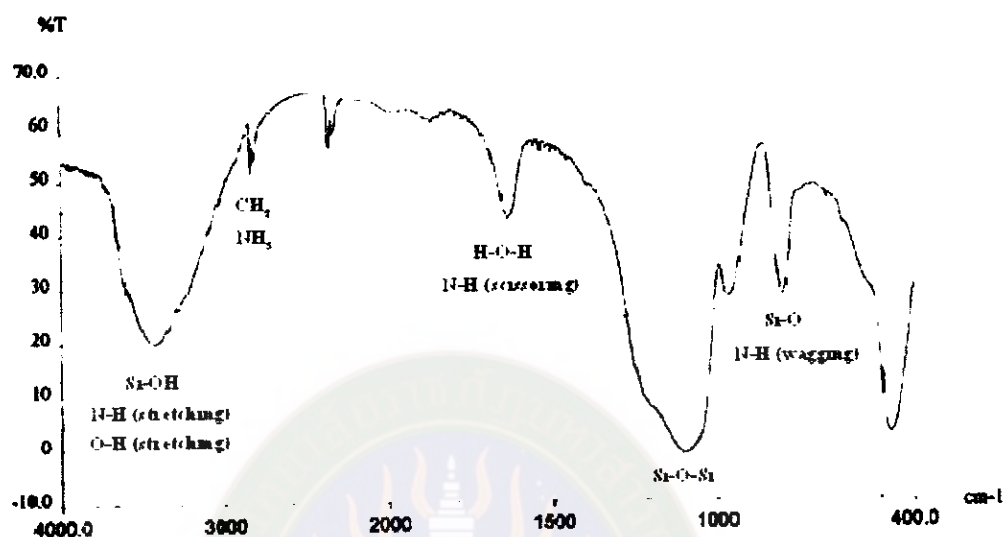
ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันกับเลขคลื่นของแก้วเคลือบขาว

หมู่ฟังก์ชัน	จำนวนคลื่น (cm ⁻¹)	จำนวนคลื่น (cm ⁻¹) ของแก้วเคลือบขาว
Si-O (stretching)	910-830	803 (sharp)
Si-O-Si	1125-1010	1250-1000 (broad)
H-O-H	1600	1625 (sharp)
O-H (stretching)	3500-3400	3500-3300 (broad)
Si-OH	3700-3200	

ที่มา: รัตนา มหาชัยและนาถ ภูวงศ์ผา, 2546 : 36

จากภาพที่ 4.3 จะพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของแก้วเคลือบขาวพบพีคช่วงเลขคลื่นที่
803 1250-1000 1625 และ 3500-3300 cm⁻¹ ตรงกับหมู่ฟังก์ชัน Si-O (stretching) Si-O-Si
H-O-H O-H (stretching) หรือ Si-OH ตามลำดับ แสดงว่ามีซิลิกาในวัสดุแก้วเคลือบขาว

และเมื่อนำวัสดุเก่าเคลือบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA-silane มาศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของเก่าเคลือบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA- silane

จากภาพที่ 4.4 สามารถพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันได้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 หมู่ฟังก์ชันกับเลขคลื่นของเก่าเคลือบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA- silane

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น(cm^{-1}) ของเก่าเคลือบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA- silane	หมายเหตุ
Si-O, N-H (wagging)	803	พีดอาจซ้อนทับกัน
Si-O-Si	1250-1000	-
H-O-H, N-H (scissoring)	1600-1800	พีดอาจซ้อนทับกัน
-CH ₂	2817	
C-H (stretching aliphatic)	2850-2925	พีดอาจซ้อนทับกัน
-NH ₂ (salt primary amine)	3000-2800	
Si-OH	3500-3300	
N-H (stretching asymmetry)	3772	เนื่องจากพีดกว้างจึงเห็นพีดเดียว
N-H (stretching symmetry)	3290	
O-H (stretching)	3500-3400	

ที่มา : ประวิทย์ เนื่องมัจฉา, 2544 : 74

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของถั่วแกลบขาวที่ปรับปรุงด้วย DETA-silane มีหมู่ N-H ที่ 1600 cm^{-1} และ NH_2 หรือ CH_2 ที่ $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ เป็นการยืนยันว่ามีหมู่อะมิโนถูกตรึงหรือเคลือบที่ผิวถั่วแกลบขาว

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักแบบถังแช่ (Batch method)

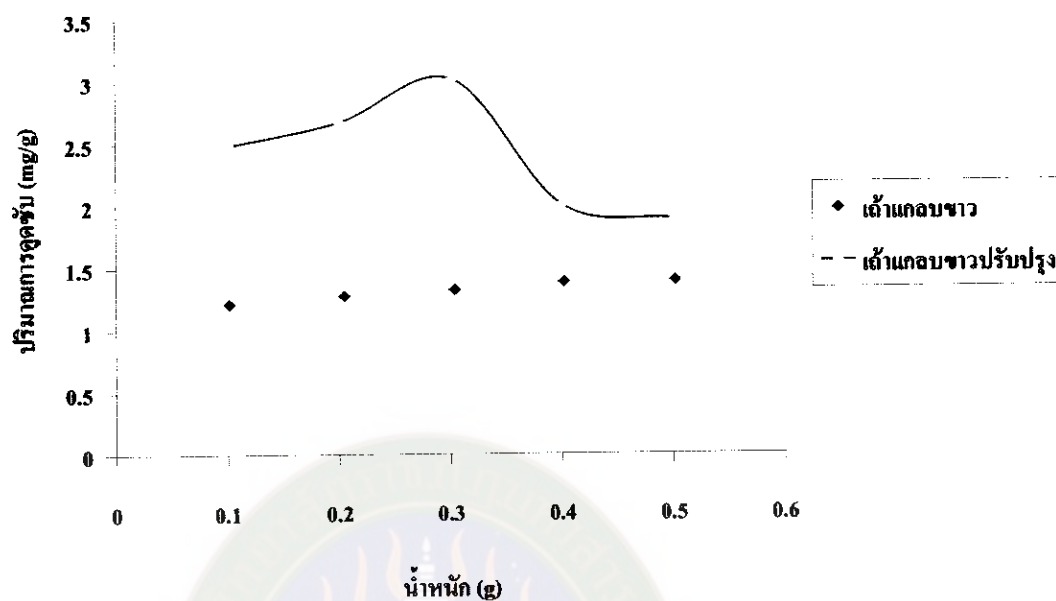
1. การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับ

เมื่อนำวัสดุดูดซับคือ ถั่วแกลบขาวและถั่วแกลบขาวปรับปรุง มาทำศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} แบบถังแช่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับทั้งสองในช่วง $0.1\text{--}0.5$ กรัม ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 – 4.6 และภาพที่ 4.5 – 4.7

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับ ในการดูดซับ Cu^{2+} จะได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

ถั่วแกลบขาว		ถั่วแกลบขาวปรับปรุง	
น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
0.1021	1.214	0.1018	2.485
0.2051	1.277	0.2012	2.674
0.3039	1.323	0.3021	3.016
0.4019	1.383	0.4004	2.003
0.5021	1.390	0.5019	1.885



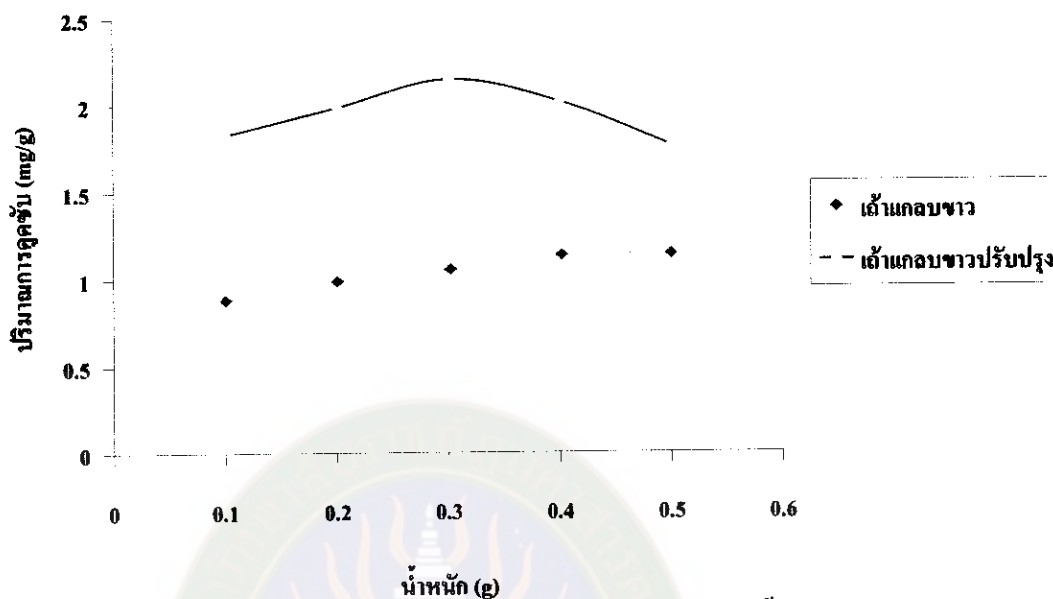
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} กับน้ำหนักของวัสดุดูดซับ

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักวัสดุที่เพิ่มขึ้นในทุกวัสดุดูดซับ และเมื่อน้ำหนักถั่วแกลบขาวเท่ากับ 0.4 กรัม และน้ำหนักถั่วแกลบขาวปรับปรุงเท่ากับ 0.3 กรัม ปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} จะเริ่มคงที่ ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักที่เหมาะสมคือ 0.4 กรัม และ 0.3 กรัม สำหรับถั่วแกลบขาวและถั่วแกลบขาวปรับปรุงตามลำดับ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับ ในการดูดซับ Cd^{2+} จะได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Cd^{2+}

ถั่วแกลบขาว		ถั่วแกลบขาวปรับปรุง	
น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
0.1011	0.880	0.1017	1.829
0.2006	0.987	0.2014	1.986
0.3024	1.055	0.3013	2.147
0.4020	1.134	0.4007	2.016
0.5004	1.141	0.5010	1.764



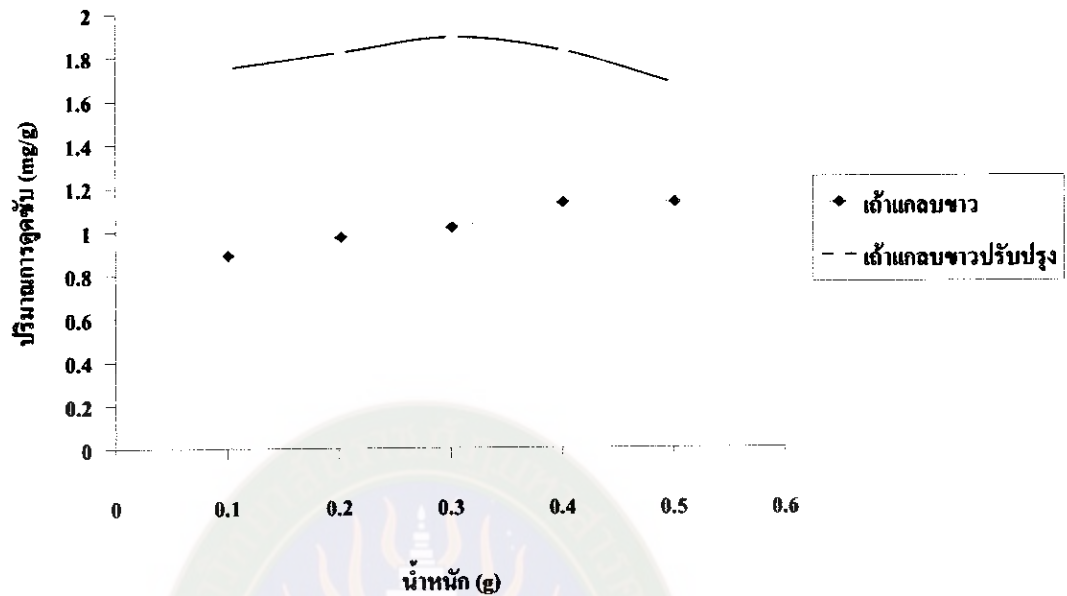
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ Cd^{2+} กับ น้ำหนักของวัสดุดูดซับ

จากภาพที่ 4.6 พบว่า ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักวัสดุที่เพิ่มขึ้นในทุกวัสดุดูดซับ และเมื่อน้ำหนักถ้ำกลบขาวเท่ากับ 0.4 กรัม และน้ำหนักถ้ำกลบขาวปรับปรุงเท่ากับ 0.3 กรัม ปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} จะเริ่มคงที่ ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักที่เหมาะสมคือ 0.4 กรัม และ 0.3 กรัม สำหรับถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุงตามลำดับ

และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับในการดูดซับ Pb^{2+} ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Pb^{2+}

ถ้ำกลบขาว		ถ้ำกลบขาวปรับปรุง	
น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	น้ำหนัก (g)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
0.1012	0.889	0.1006	1.750
0.2025	0.973	0.2017	1.820
0.3013	1.016	0.3017	1.889
0.4008	1.128	0.4013	1.824
0.5014	1.129	0.5004	1.675



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ Pb^{2+} กับน้ำหนักของวัสดุดูดซับ

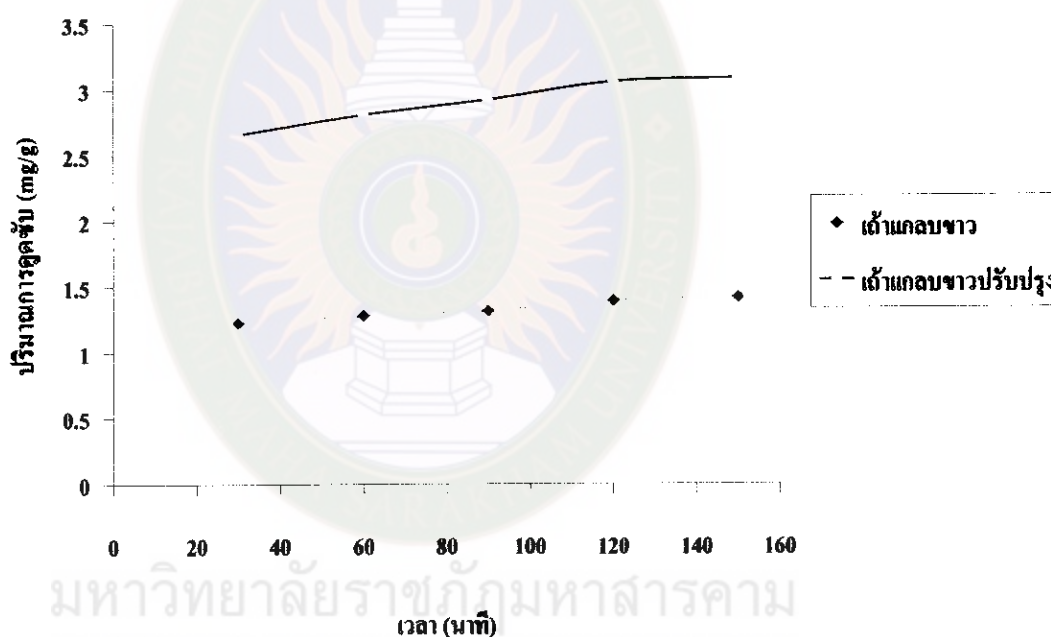
จากที่ 4.7 พบว่า ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักวัสดุที่เพิ่มขึ้นในทุกวัสดุดูดซับ และเมื่อน้ำหนักถ้ำกลบขาวเท่ากับ 0.4 กรัม และน้ำหนักถ้ำกลบขาวปรับปรุงเท่ากับ 0.3 กรัม ปริมาณการดูดซับ Pb^{2+} จะเริ่มคงที่ ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักคือ 0.4 กรัม และ 0.3 กรัม สำหรับถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุงตามลำดับ

2. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วัสดุถ้ำกลบขาวกับสารละลาย Cu^{2+} ในช่วงเวลา 30 – 150 นาที จะได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วัสดุคูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

เวลา (นาที)	เต้าแกลบขาว	เต้าแกลบขาวปรับปรุง
	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
30	1.224	2.654
60	1.277	2.801
90	1.311	2.913
120	1.386	3.045
150	1.410	3.071



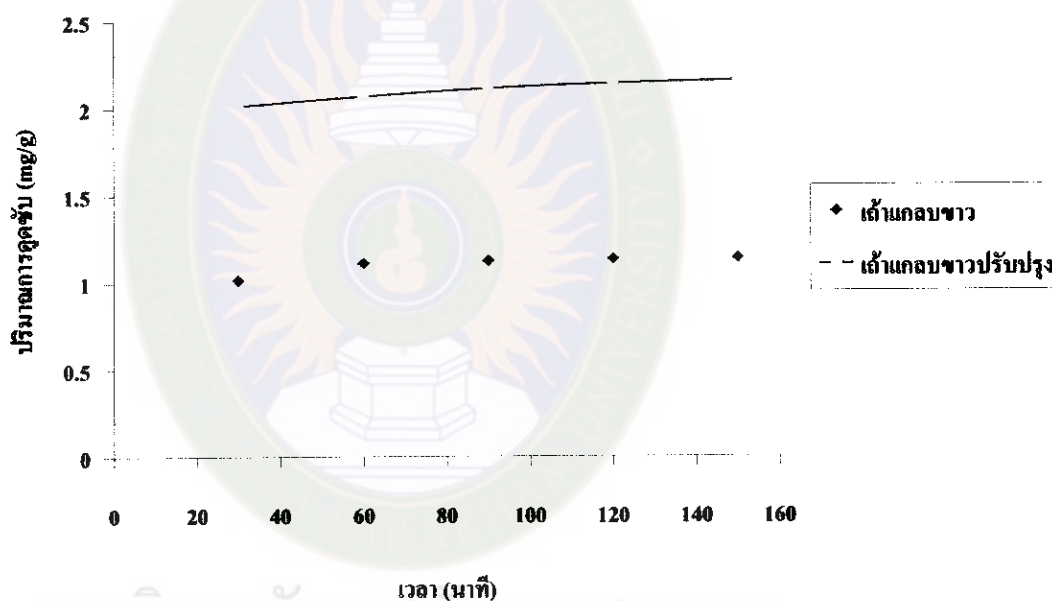
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} กับเวลาในการแช่วัสดุคูดซับ

จากผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วัสดุคูดซับกับสารละลาย Cu^{2+} พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากขึ้น พบว่าปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และจะคงที่หรือเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาใช้ในการแช่วัสดุคูดซับที่เวลา 120 นาที

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วัสดุคูดซับกับสารละลาย Cd^{2+} ในช่วงเวลา 30 – 150 นาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการเข้威士คูดซ้บที่มีผลต่อปริมาณการคูดซ้บ Cd^{2+}

เวลา (นาที)	เด้าเกลบขาว	เด้าเกลบขาวปรับปรุ้ง
	ปริมาณการคูดซ้บ(mg/g)	ปริมาณการคูดซ้บ(mg/g)
30	1.016	2.015
60	1.111	2.069
90	1.124	2.112
120	1.133	2.140
150	1.138	2.156



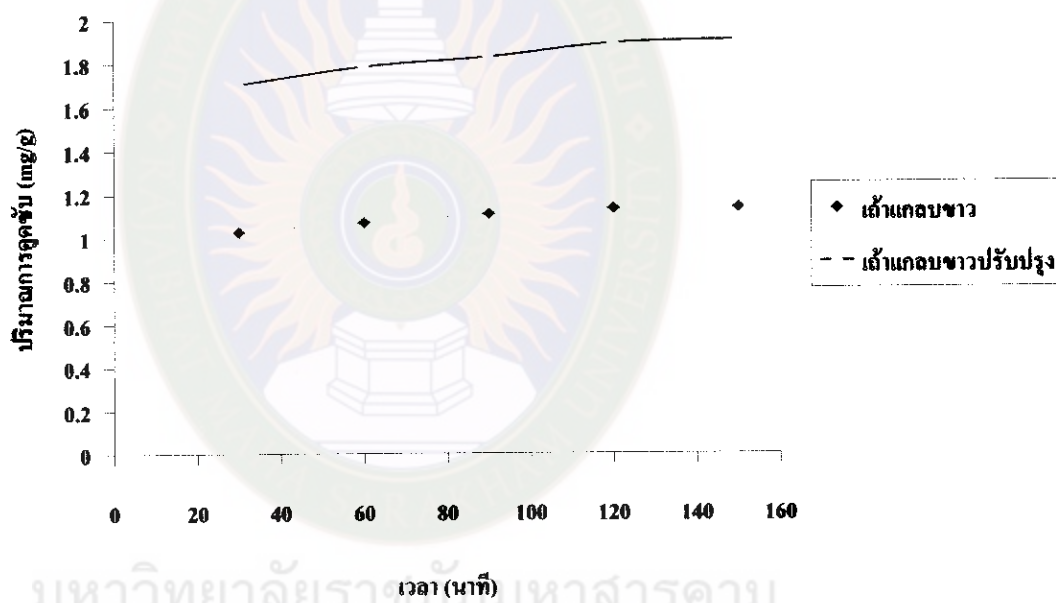
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการคูดซ้บ Cd^{2+} กับเวลาในการเข้威士คูดซ้บ

จากผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเข้威士คูดซ้บกับสารละลาย Cd^{2+} เมื่อเพิ่มเวลาในการคูดซ้บมากขึ้น พบว่าปริมาณการคูดซ้บ Cd^{2+} จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและจะคงที่หรือเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาใช้ในการเข้威士คูดซ้บที่เวลา 120 นาที

และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเข้威士คูดซ้บกับสารละลาย Pb^{2+} ในช่วงเวลา 30 – 150 นาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วสดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Pb^{2+}

เวลา (นาที)	ถ้ำกลบขาว	ถ้ำกลบขาวปรับปรุง
	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
30	1.024	1.703
60	1.066	1.783
90	1.103	1.824
120	1.127	1.885
150	1.130	1.900



ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับ Pb^{2+} กับ เวลาในการแช่วสดูดซับ

จากผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่วสดูดซับกับสารละลาย Pb^{2+} เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากขึ้น พบว่าปริมาณการดูดซับ Pb^{2+} จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและจะคงที่หรือเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาใช้ในการแช่วสดูดซับที่เวลา 120 นาที

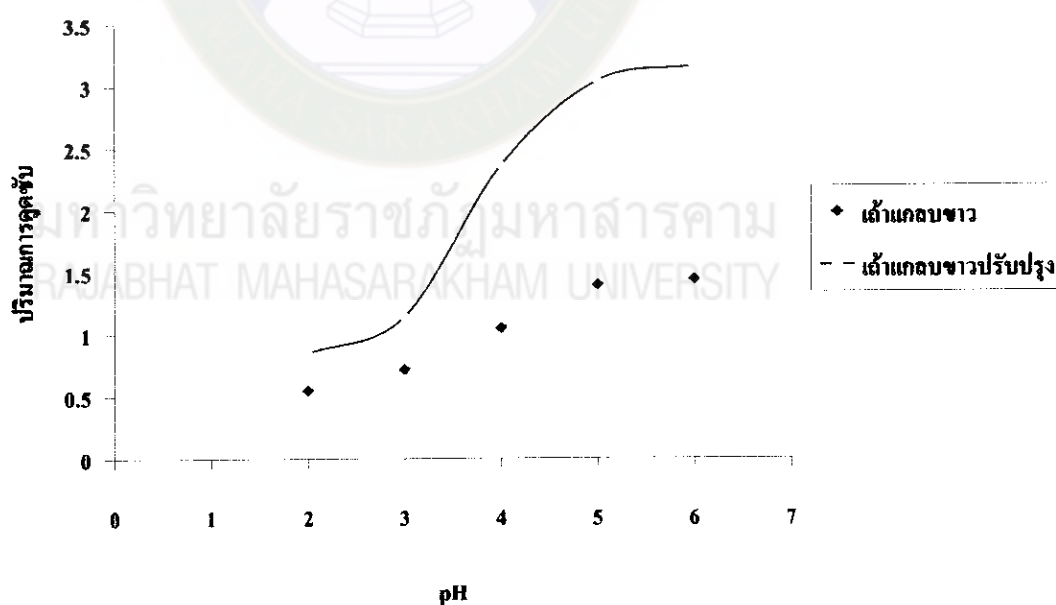
3. การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ

เมื่อนำวัสดุดูดซับคือ ถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุง มาทำศึกษาการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} แบบถั่งแซ่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายในช่วง 2.0–6.0 ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.10–4.12 และภาพที่ 4.11–4.13

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลาย Cu^{2+} จะทำให้ปริมาณการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีต่อปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

pH	ถ้ำกลบขาว	ถ้ำกลบขาวปรับปรุง
	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
2.0	0.544	0.844
3.0	0.713	1.138
4.0	1.043	2.350
5.0	1.388	3.025
6.0	1.432	3.141



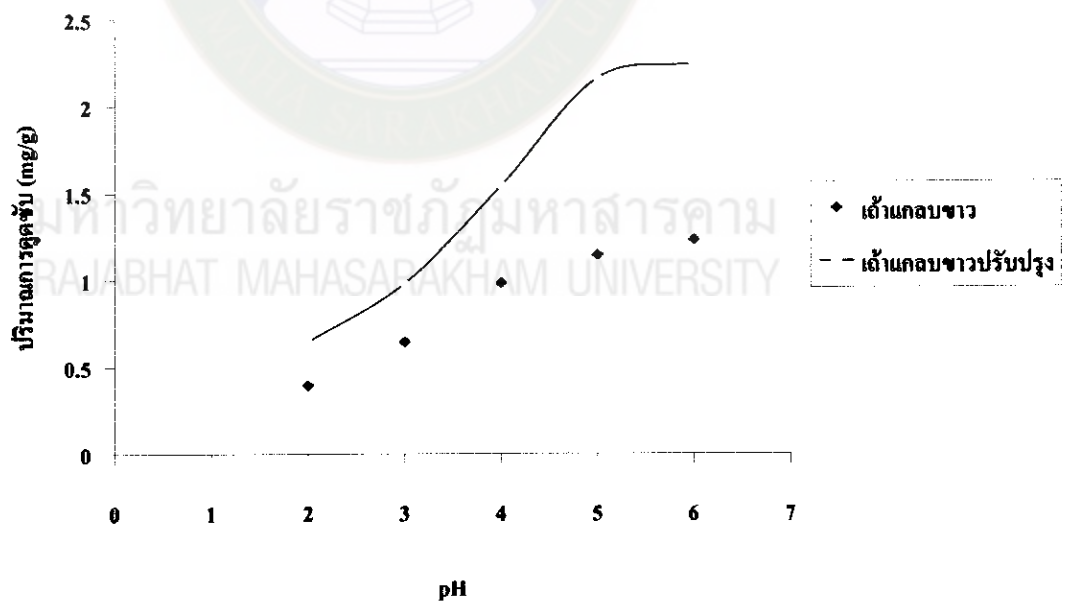
ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

จากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในช่วง 2 ถึง 6 ของสารละลาย Cu^{2+} พบว่า ปริมาณการดูดซับของถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6 ปริมาณการดูดซับจะเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าพีเอชในช่วงอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6 ส่วนพีเอชมากกว่า 6 ไม่ได้ศึกษา เนื่องจาก Cu^{2+} จะตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลาย Cd^{2+} จะทำให้ปริมาณการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีต่อปริมาณการดูดซับ Cd^{2+}

pH	ถ้ำกลบขาว	ถ้ำกลบขาวปรับปรุง
	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
2.0	0.394	0.644
3.0	0.643	0.977
4.0	0.980	1.536
5.0	1.137	2.151
6.0	1.224	2.234



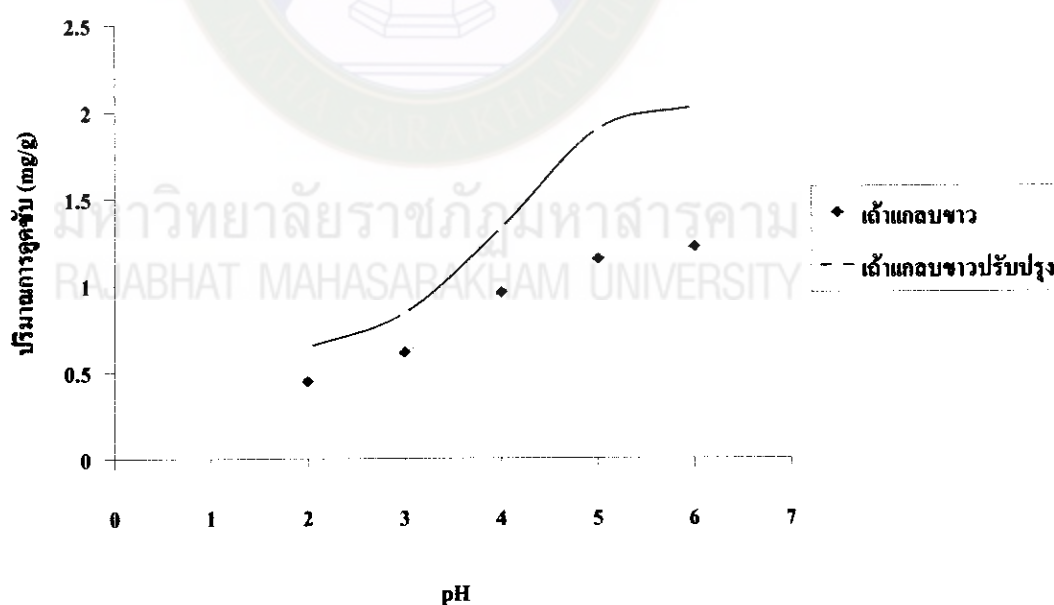
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Cd^{2+}

จากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในช่วง 2 ถึง 6 ของสารละลาย Cd^{2+} พบว่า ปริมาณการดูดซับของถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6 ปริมาณการดูดซับจะเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าพีเอชในช่วงอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6

และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลาย Cd^{2+} จะทำให้ปริมาณการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย Pb^{2+}

pH	ถ้ำกลบขาว	ถ้ำกลบขาวปรับปรุง
	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)	ปริมาณการดูดซับ(mg/g)
2.0	0.445	0.642
3.0	0.612	0.836
4.0	0.954	1.324
5.0	1.144	1.890
6.0	1.214	2.017



ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ Pb^{2+}

จากการทดลองพบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในช่วง 2 ถึง 6 ของสารละลาย Pb^{2+} ปริมาณการดูดซับของถ้ำเกลบขาวและถ้ำเกลบขาวปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6 ปริมาณการดูดซับจะเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าพีเอชในช่วงอื่นๆ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงเลือกใช้ค่าพีเอชในช่วง 5 ถึง 6

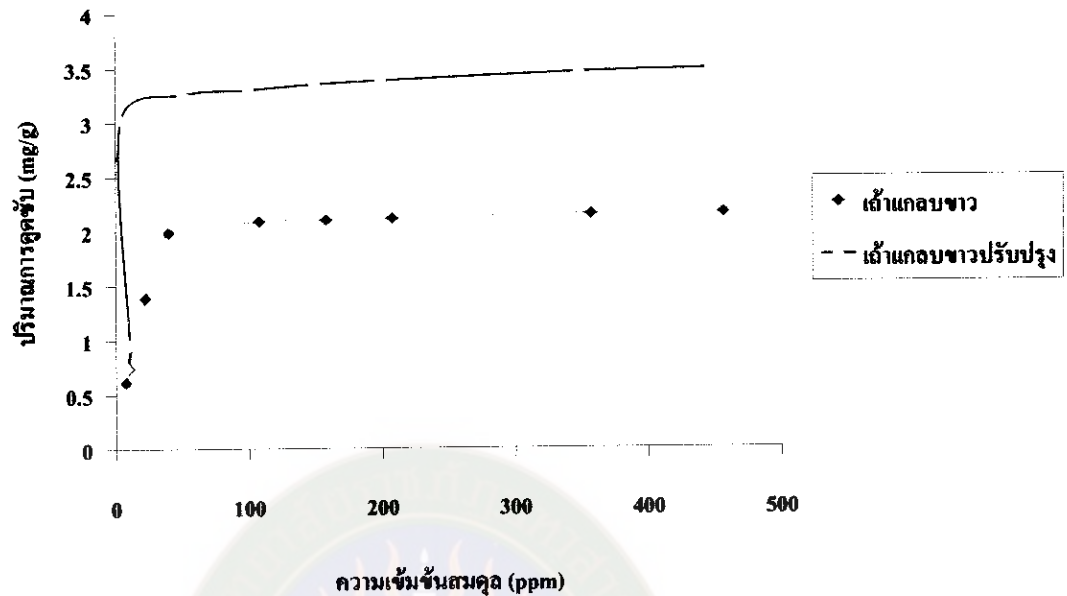
4. การศึกษาผลของความเข้มข้นเพื่อสร้างไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ในช่วง 25 – 500 ppm เพื่อหาไอโซเทอร์มการดูดซับ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 – 4.15 และภาพที่ 4.14 – 4.16

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ในช่วง 25 – 500 ppm ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

ถ้ำเกลบขาว		ถ้ำเกลบขาวปรับปรุง	
ความเข้มข้นสมดุล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นสมดุล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
7.725	0.614	8.8	0.745
10.050	0.745	10.625	0.955
22.200	1.389	4.400	3.027
39.900	1.986	50.95	3.258
108.075	2.088	100.325	3.298
157.925	2.100	149.700	3.349
207.700	2.113	199.175	3.379
356.850	2.148	347.900	3.453
456.600	2.158	447.450	3.484



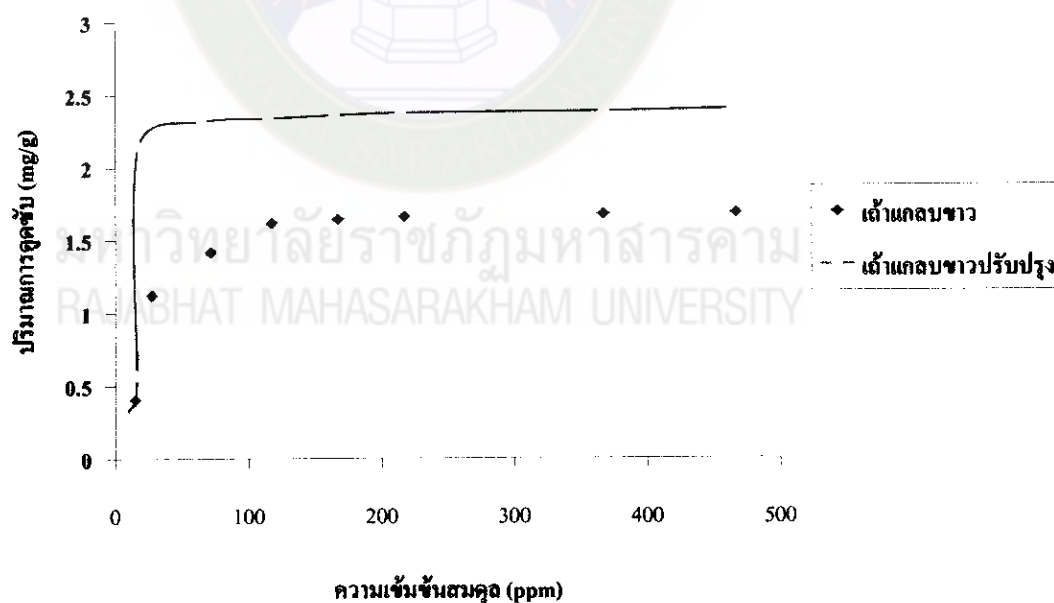
ภาพที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} กับปริมาณการดูดซับ Cu^{2+}

เมื่อพิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับ Cu^{2+} ของต้นกล้วยขาวและต้นกล้วยขาวปรับปรุง พบว่ารูปร่างไอโซเทอร์มเป็นแบบชนิดแอล (L-type) กลุ่มย่อยที่ 2 พิจารณาตามไกลส์และคณะ

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายสารละลาย Cd^{2+} ในช่วง 25 – 500 ppm ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cd^{2+} ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ Cd^{2+}

ถ้ำกลบขาว		ถ้ำกลบขาวปรับปรุง	
ความเข้มข้นสมมูล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นสมมูล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
13.350	0.332	15.150	0.321
15.300	0.402	16.450	0.568
27.550	1.120	17.75	2.145
71.600	1.415	65.150	2.312
117.575	1.613	114.950	2.334
167.175	1.639	164.600	2.355
216.825	1.657	214.275	2.370
366.450	1.672	367.150	2.377
466.375	1.678	463.875	2.392



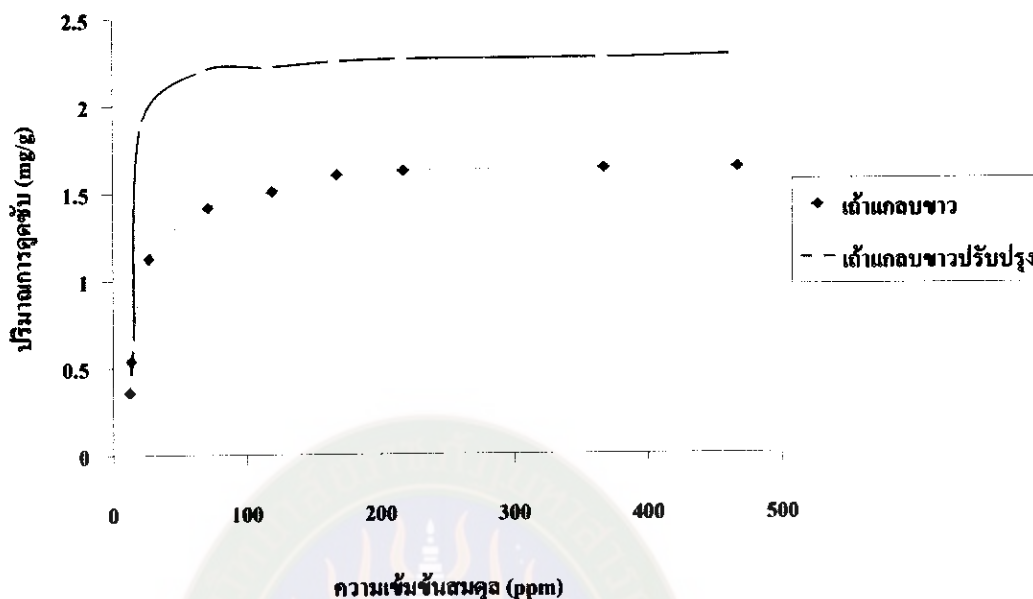
ภาพที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Cd^{2+} กับ ปริมาณการดูดซับ Cd^{2+}

เมื่อพิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับ Cd^{2+} ของถ้ำกลบขาวและถ้ำกลบขาวปรับปรุง พบว่ารูปร่างไอโซเทอร์มเป็นแบบชนิดแอล (L-type) กลุ่มย่อยที่ 2 พิจารณาตามไพลด์และคณะ

และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Pb^{2+} ในช่วง 25 – 500 ppm ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Pb^{2+} ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ Pb^{2+}

ถ้ำกลบขาว		ถ้ำกลบขาวปรับปรุง	
ความเข้มข้นสมมูล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	ความเข้มข้นสมมูล (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
12.850	0.357	13.550	0.428
14.125	0.538	15.500	0.630
27.375	1.126	21.475	1.891
71.600	1.416	66.925	2.200
119.725	1.508	116.475	2.221
167.875	1.602	166.025	2.252
217.375	1.624	215.950	2.265
367.200	1.637	365.875	2.269
467.050	1.640	465.600	2.285



ภาพที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย Pb^{2+} กับ ปริมาณการดูดซับ Pb^{2+}

เมื่อพิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับ Pb^{2+} ของถ้ำกล้วยดิบและถ้ำกล้วยดิบปรับปรุง พบว่ารูปร่างไอโซเทอร์มเป็นแบบชนิดแอล (L-type) กลุ่มย่อยที่ 2 พิจารณาตาม ไกลส์และคณะ

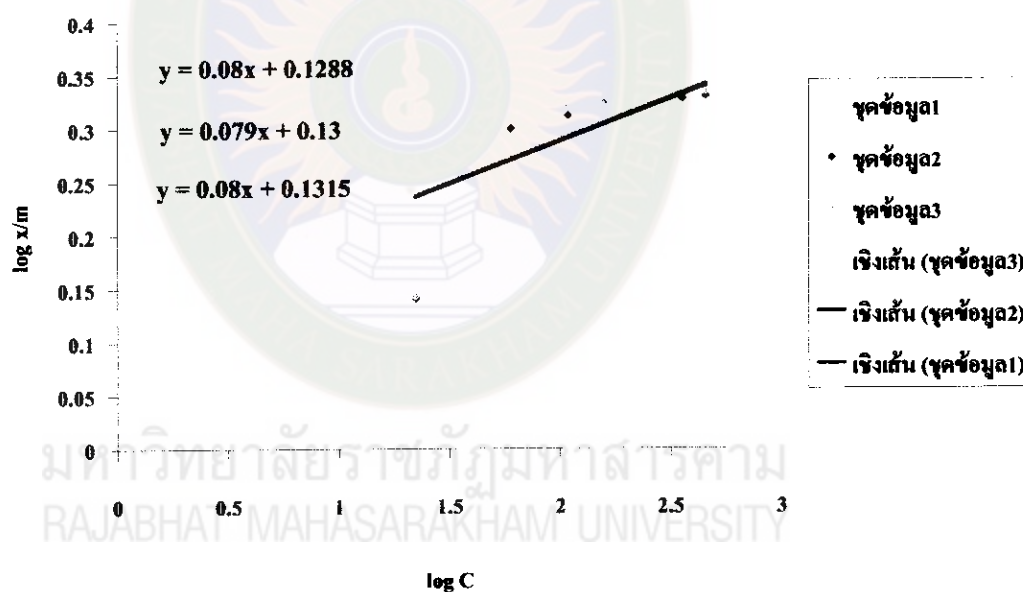
5. การหาความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับ

จากข้อมูลตารางที่ 4.13 – 4.15 คำนวณความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับได้โดยใช้สมการเฟรนดลิช โดยเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ (ความเข้มข้นสมมูล (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ (mg/g)) จะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ (mg/g))

จากข้อมูลตารางที่ 4.13 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมมูลของสารละลาย Cu^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ Cu^{2+} (mg/g)) ของถ้ำกล้วยดิบได้ดังตารางที่ 4.16 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cu^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.16 ข้อมูล $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุคูดซับถ้ำแถบขาวที่คูดซับ Cu^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
1.346	0.143	1.349	0.141	1.343	0.144
1.601	0.298	1.778	0.300	1.782	0.295
2.034	0.32	2.036	0.312	2.033	0.322
2.198	0.322	2.198	0.323	2.198	0.323
2.317	0.325	2.317	0.325	2.317	0.324
2.552	0.332	2.553	0.328	2.553	0.326
2.660	0.334	2.660	0.330	2.66	0.332



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

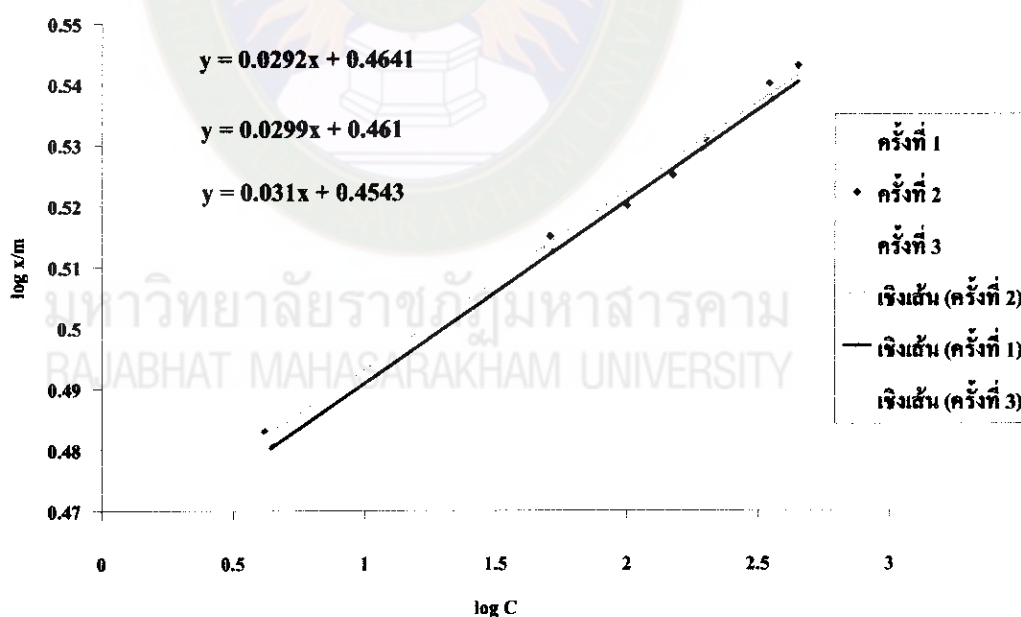
เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการคูดซับ Cu^{2+} ของถ้ำแถบขาว ได้เท่ากับ 1.349 mg/g

จากข้อมูลตารางที่ 4.13 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมดุลของสารละลาย Cu^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการคูดซับ Cu^{2+} (mg/g)) ของถ้ำแถบขาว

ปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 4.17 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cu^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 ข้อมูล $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุดูดซับถ้ำเกลือขาวปรับปรุงที่ดูดซับ Cu^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
0.643	0.481	0.690	0.476	0.621	0.483
1.707	0.513	1.711	0.510	1.705	0.515
2.001	0.518	2.004	0.513	2.000	0.520
2.175	0.525	2.176	0.520	2.175	0.525
2.294	0.529	2.300	0.526	2.298	0.531
2.541	0.538	2.542	0.534	2.541	0.540
2.651	0.542	2.651	0.538	2.651	0.543



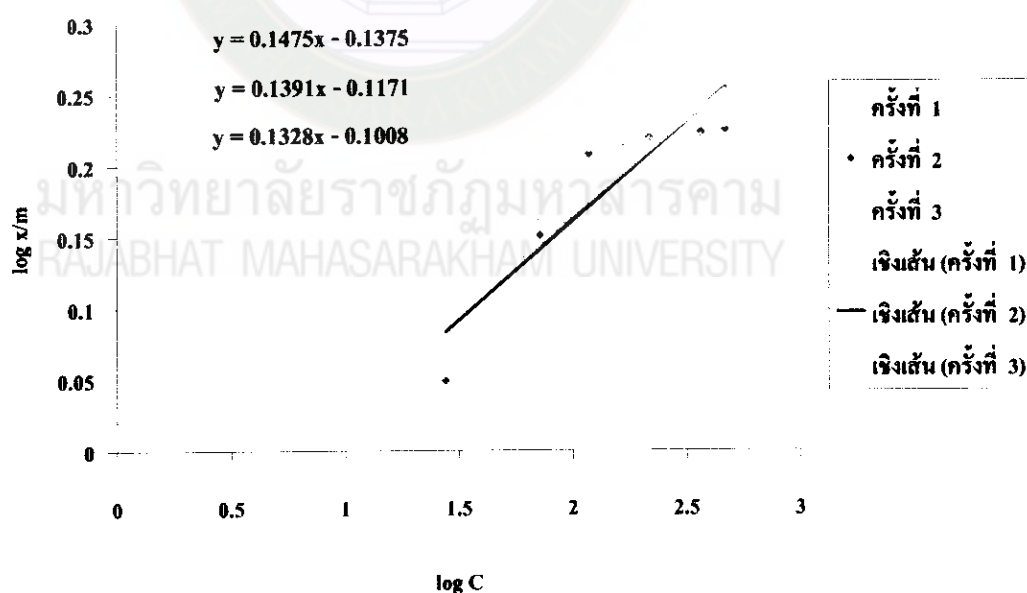
ภาพที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับ Cu^{2+} ของถ้ำเกลือขาวปรับปรุง ได้เท่ากับ 2.883 mg/g

จากข้อมูลตารางที่ 4.14 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมดุลของสารละลาย Cd^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ของถ้ำแกลบขาวปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 4.18 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลของ $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุดูดซับถ้ำแกลบขาวที่ดูดซับ Cd^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
1.44	0.049	1.445	0.042	1.436	0.053
1.855	0.151	1.857	0.146	1.850	0.162
2.07	0.208	2.072	0.204	2.07	0.211
2.223	0.214	2.223	0.212	2.223	0.214
2.336	0.219	2.336	0.220	2.336	0.218
2.564	0.223	2.564	0.224	2.564	0.220
2.669	0.225	2.669	0.227	2.667	0.228



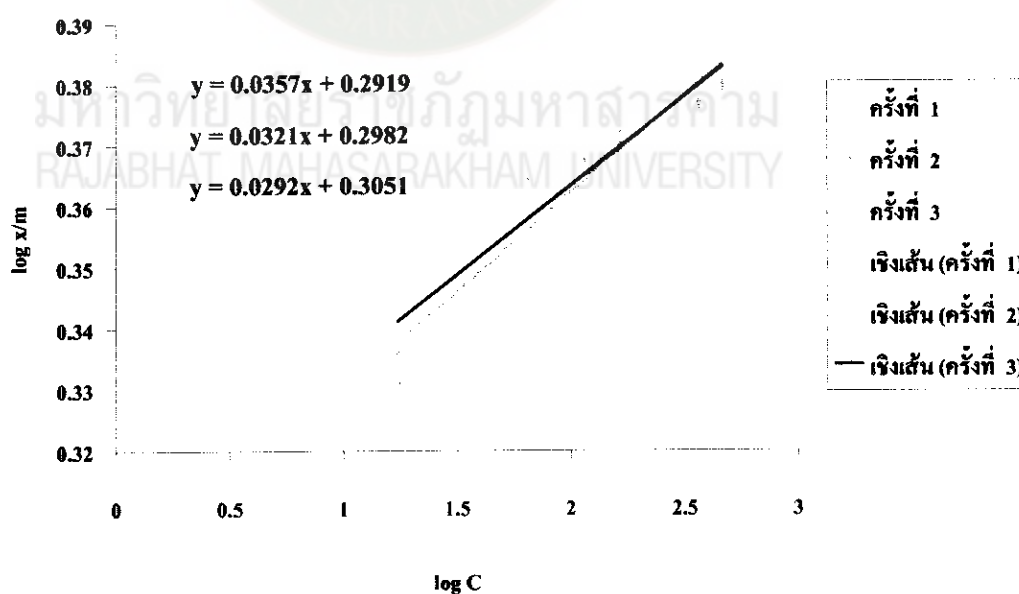
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับ Cd^{2+} ของถ้ำกลบขาว ได้เท่ากับ 1.314 mg/g

จากข้อมูลตารางที่ 4.14 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมดุลของสารละลาย Cd^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ของถ้ำกลบขาวปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 4.19 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 ข้อมูล $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุดูดซับถ้ำกลบขาวปรับปรุงที่ดูดซับ Cd^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
1.249	0.331	1.256	0.328	1.238	0.336
1.814	0.364	1.812	0.366	1.814	0.365
2.061	0.368	2.059	0.370	2.06	0.367
2.216	0.372	2.216	0.373	2.217	0.37
2.331	0.375	2.331	0.378	2.331	0.375
2.561	0.376	2.561	0.379	2.561	0.377
2.666	0.379	2.666	0.381	2.666	0.380

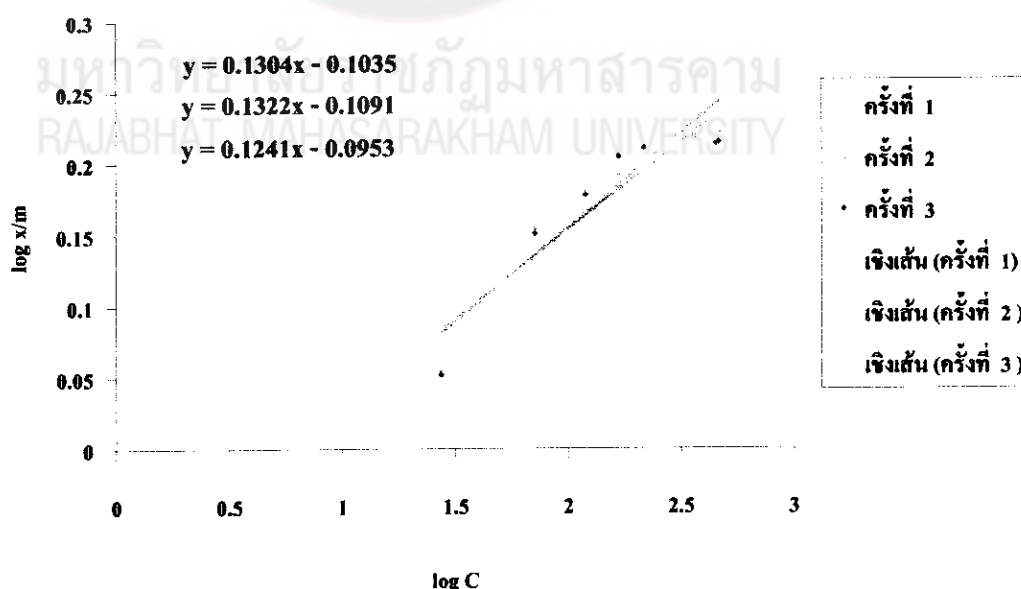


ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับ Cd^{2+} ของถ้ำแถบขาวปรับปรุง ได้เท่ากับ 1.988 mg/g จากข้อมูลตารางที่ 4.15 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมดุลของสารละลาย Cd^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ของถ้ำแถบขาวได้ดังตารางที่ 4.20 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.21

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลของ $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุดูดซับถ้ำแถบขาวที่ดูดซับ Pb^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
1.437	0.052	1.436	0.055	1.431	0.06
1.855	0.151	1.853	0.155	1.856	0.148
2.078	0.178	2.078	0.18	2.078	0.179
2.225	0.205	2.227	0.192	2.224	0.21
2.337	0.211	2.336	0.216	2.336	0.216
2.656	0.214	2.564	0.219	2.564	0.218
2.669	0.215	2.669	0.223	2.669	0.221



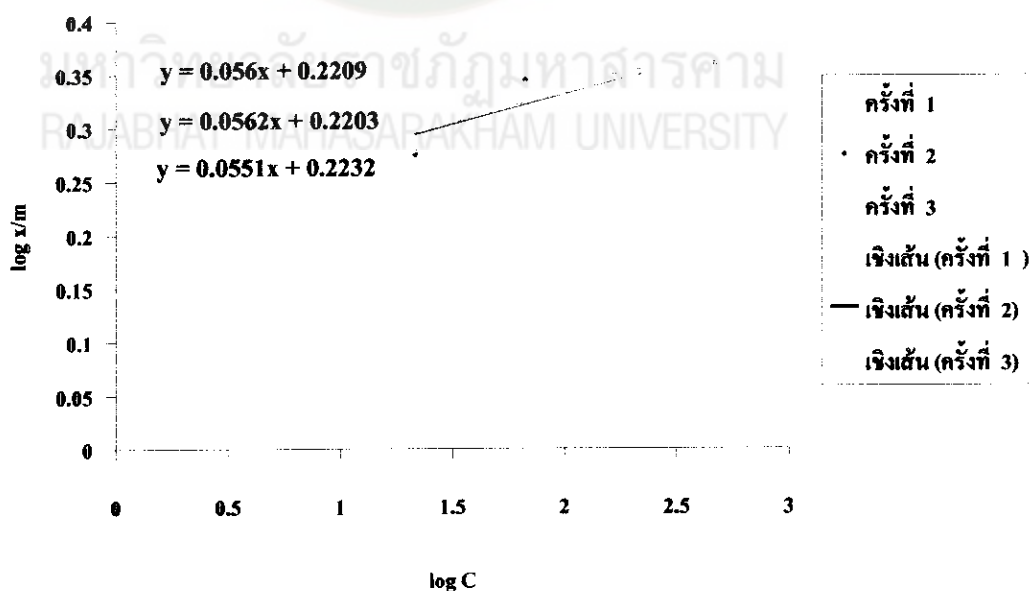
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับ Pb^{2+} ของถ้ำกลบขาว ได้เท่ากับ 1.267 mg/g

จากข้อมูลตารางที่ 4.15 สามารถนำมาหาค่า $\log C$ (ความเข้มข้นสมมูลของสารละลาย Cd^{2+} (ppm)) กับ $\log x/m$ (ปริมาณการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ของถ้ำกลบขาวได้ดังตารางที่ 4.21 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้จุดตัดคือ $\log K$ (ความจุของการดูดซับ Cd^{2+} (mg/g)) ดังภาพที่ 4.22

ตารางที่ 4.21 ข้อมูล $\log C$ และ $\log x/m$ ของวัสดุดูดซับถ้ำกลบขาวปรับปรุงที่ดูดซับ Pb^{2+}

ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$	$\log C$	$\log x/m$
1.332	0.277	1.335	0.275	1.329	0.28
1.826	0.342	1.824	0.345	1.826	0.340
2.066	0.346	2.066	0.348	2.067	0.347
2.22	0.352	2.221	0.35	2.221	0.351
2.334	0.355	2.335	0.352	2.334	0.354
2.563	0.356	2.563	0.356	2.563	0.356
2.668	0.359	2.668	0.360	2.668	0.361



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x/m$ กับ $\log C$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log C$ กับ $\log x/m$ จะได้จุดตัดคือ $\log K$ สามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับ Pb^{2+} ของถ้ำถลอบขาว ได้เท่ากับ 1.665 mg/g

สรุปผลการหาความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ของถ้ำถลอบขาวและถ้ำถลอบขาวปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับ

ตัวถูกดูดซับ	ถ้ำถลอบขาว				ถ้ำถลอบขาวปรับปรุง			
	ความจุการดูดซับ (mg/g)				ความจุการดูดซับ (mg/g)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
คอปเปอร์ (II)	1.354	1.349	1.345	1.349	2.911	2.891	2.846	2.883
แคดเมียม (II)	1.309	1.372	1.261	1.314	1.987	1.958	2.019	1.988
ตะกั่ว (II)	1.245	1.286	1.269	1.267	1.663	1.661	1.672	1.665

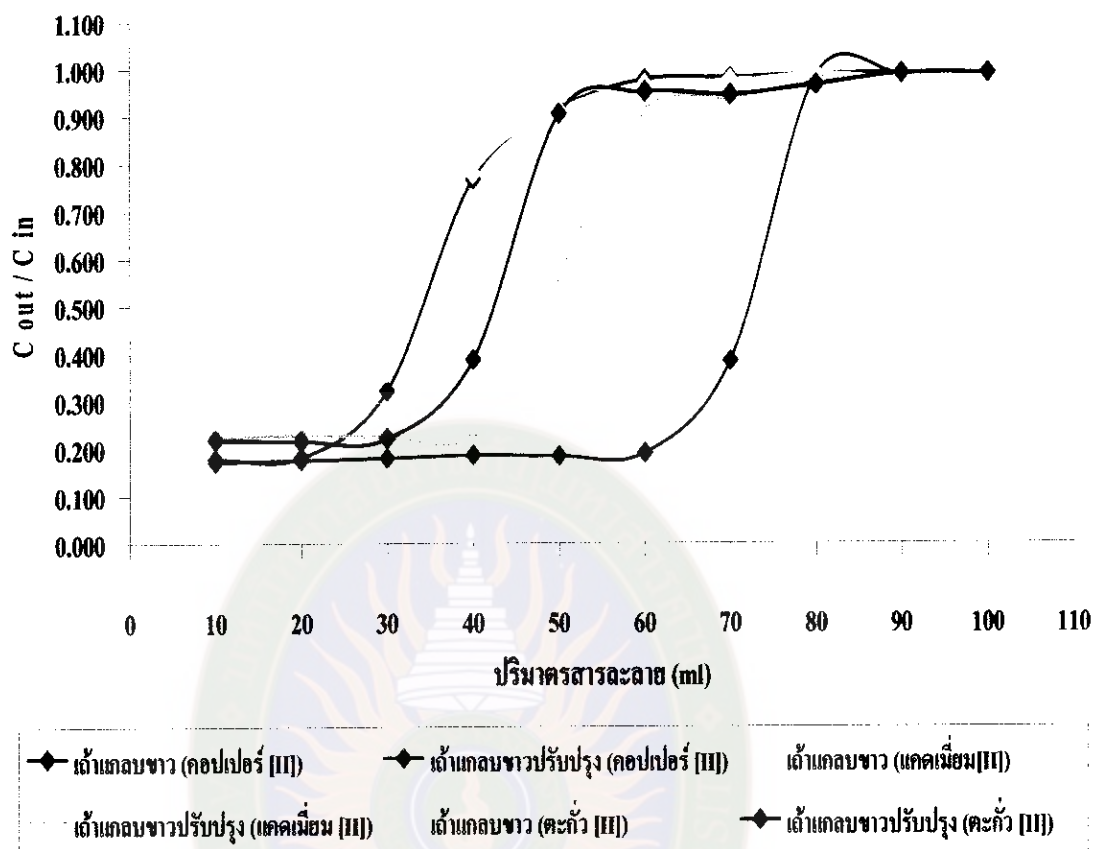
การศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับโลหะหนักแบบคอลัมน์ (column method)

การศึกษาหาความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ของถ้ำถลอบขาวและถ้ำถลอบขาวปรับปรุง สามารถหาได้จาก breakthrough capacity โดยผ่านสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} แต่ละชนิดตามลำดับ ลงไปในคอลัมน์ที่มีวัสดุดูดซับบรรจุอยู่ตามลำดับ เก็บสารละลายที่ผ่านออกมา แล้วนำไปวัดความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ผ่านออกมาแต่ละชนิดตามลำดับ ทำการผ่านสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายที่ผ่านออกมาจากคอลัมน์ (C_{out}) มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายก่อนผ่านคอลัมน์ (C_{in}) จากการทดลองได้ค่าตารางที่ 4.23 และนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟหา breakthrough capacity ได้ ดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจากกราฟที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับแบบคอลัมน์ได้ ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลจากการทดลองเพื่อสร้าง breakthrough capacity

ปริมาณ ของ สารละลาย (ml)	ค่า C_{out} / C_{in}					
	ถ้ำกลบขาว			ถ้ำกลบขาวปรับปรุง		
	คอปเปอร์ (II)	แคดเมียม (II)	ตะกั่ว (II)	คอปเปอร์ (II)	แคดเมียม (II)	ตะกั่ว (II)
10	0.178	0.172	0.250	0.223	0.263	0.218
20	0.181	0.176	0.240	0.228	0.266	0.215
30	0.322	0.180	0.362	0.226	0.393	0.221
40	0.767	0.186	0.887	0.232	0.779	0.387
50	0.914	0.184	0.956	0.568	0.912	0.904
60	0.976	0.190	0.948	0.909	0.966	0.950
70	0.980	0.384	0.975	0.936	0.971	0.944
80	0.987	0.984	0.971	0.969	0.987	0.964
90	0.989	0.986	0.981	0.984	0.977	0.988
100	0.986	0.987	0.986	0.987	0.986	0.989

จากตารางที่ 4.23 นำข้อมูลไปสร้างกราฟระหว่าง C_{out} / C_{in} กับปริมาณ (ml) ของสารละลายที่เก็บหลังผ่านคอลัมน์ ได้กราฟดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_{out} / C_{in} กับปริมาตรสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่เก็บหลังจากคอลัมน์

จากภาพที่ 4.23 สามารถหาปริมาณของสารละลาย Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ค่า $C_{\text{out}} / C_{\text{in}}$ เท่ากับ 0.5 ได้ และสามารถนำไปคำนวณหาความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับแบบคอลัมน์ได้ แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ค่าที่ใช้คำนวณหาความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} และความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ของวัสดุดูดซับด้วยวิธีแบบคอลัมน์

วัสดุดูดซับ	ค่า $C_{\text{out}} / C_{\text{in}}$					
	ถ้ำเกลือขาว			ถ้ำเกลือขาวปรับปรุง		
	Cu^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}
น้ำหนัก (g)	0.9735	0.9812	0.9788	1.0544	1.0243	1.0379
ปริมาตร สารละลาย (ml) ($C_{\text{out}} / C_{\text{in}}$ = 0.5)	33.10	31.90	32.0	71.20	47.10	41.40
ความจุการ ดูดซับ (mg/g) ที่ 50%	1.695	1.626	1.628	3.367	2.301	1.986
ความจุการ ดูดซับ (mg/g) ที่ 100%	3.390	3.252	3.256	6.734	4.602	3.972

จากตารางที่ 4.24 จะพบว่า ถ้ำเกลือขาวมีความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ 50 % เท่ากับ 1.695 1.626 และ 1.628 mg/g ตามลำดับ และถ้ำเกลือขาวปรับปรุงมีความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ 50 % เท่ากับ 3.367 2.301 และ 1.986 mg/g ตามลำดับ

และพบว่า เถ้าถ่านขาวมีความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ 100 % เท่ากับ 3.390 3.256 และ 3.256 mg/g ตามลำดับ และเถ้าถ่านขาวปรับปรุงมีความจุการดูดซับ Cu^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+} ที่ 100 % เท่ากับ 6.734 4.602 และ 3.972 mg/g ตามลำดับ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY