ผลของความแรงไอออนและสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายด้วยไคโตแซน

นาย ปรีดา นันทพูลทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-031-155-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20543165 12 พ.ย. 2546

EFFECTS OF IONIC STRENGTH AND CHELATING AGENT ON LEAD ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTION BY CHITOSAN

Mr. Preeda Nantapoonsap

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-031-155-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความแรงไอออนและสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายด้วยไคโตแซน
โดย	นาย ปรีดา นันทพูลทรัพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

ปรีดา นันทพูลทรัพย์ : ผลของความแรงไอออนและสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายด้วยไคโตแซน. (Effects of Ionic Strength and Chelating Agent on Lead Adsorbtion from Aqueous Solution by Chitosan) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุธา ขาวเธียร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา , 123 หน้า. ISBN 974-031-155-5

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความแรงไอออนและสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายด้วยไคโตแซน โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับเมื่อมีการแปรค่า พีเอช ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรท

ผลการวิจัยพบว่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับ โดยที่พีเอชเริ่มที่ 4 ไคโตแซนจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด เมื่อพีเอชเริ่มต้นในการทดลองสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับตะกั่วของไคโตแซนก็จะเพิ่มมากขึ้นและความสามารถในการดูดซับมากที่สุดที่พีเอชเริ่มต้นที่ 8 (ในการทดลองใช้พีเอชเริ่มต้นในช่วง 4 – 8) การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วจะทำให้ความสามารถในการดูดซับของไคโตแซน (Adsorption Capacity มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของตะกั่วต่อกรัมของไคโตแซน)เพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเติมอีดีทีเอซึ่งเป็นสารคีเลตลงไปในสารละลายตะกั่ว พบว่าการดูดซับที่พีเอชต่างๆจะเปลี่ยนไป โดยที่ความสามารถในการดูดซับที่พีเอชต่ำกว่า 5 จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนความสามารถในการดูดซับที่พีเอชสูงกว่า 5 จะมีค่าลดลง เนื่องจากตะกั่วสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอีดีทีเอทำให้รูปแบบของตะกั่วในน้ำเปลี่ยนจากไอออนตะกั่วที่มีประจุเป็นบวก (Pb^{2+}) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วกับอีดีทีเอที่มีประจุเป็นลบ ($Pb(EDTA)^{2-}$) โดยที่ตะกั่วทั้งสองรูปแบบมีกลไกในการดูดซับด้วยไคโตแซนต่างกัน

การเติมโซเดียมไนเตรทลงไปในสารละลายตะกั่วเพื่อเพิ่มความแรงไอออนไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วเป็นการยืนยันว่ากลไกการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเป็นกลไกการดูดซับทางเคมี ในขณะที่การเติมโซเดียมไนเตรทลงไปในสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างตะกั่วกับอีดีทีเอจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงมากทำให้สามารถสรุปได้ว่ากลไกการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วเป็นกลไกทางกายภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4270412721 : MAJOR Environmental Engineering

KEY WORD: lead / chitosan / ionic strength / ethylenediaminetetraacetic acid / adsorption

PREEDA NANTAPOONSAP : EFFECTS OF IONIC STRENGTH AND CHELATING AGENT ON LEAD ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTION BY CHITOSAN. THESIS ADVISOR : Assist. Prof. SUTHAR KHAODHIAR, Ph.D., THESIS COADVISOR : JEARDSAK CHAIKUNAR, Ph.D., 123 pp. ISBN 974-031-155-5

The objectives of this research were to investigate the effects of ionic strength and chelating agent on lead adsorption from aqueous solution by chitosan. The comparisons of the effiencies and the adsorption capacities were done by varying lead concentration, ethylenediaminetetraacetic acid concentration(EDTA), sodium nitrate concentration and solution pH.

The results shown that solution pH was the important parameter and for solution pH range 4-8 lead adsorption increased with increasing solution pH. The adsorption capacities increased when the initial concentration of lead increased. The presence of ethylenediaminetetraacitic acid (EDTA), a chelating agent, increased the adsorption of lead at low pH (pH < 5) but decreased the adsorption of lead at high pH (pH > 5). The reason was due to the lead-EDTA complex [$Pb(EDTA)^{2-}$] which form in the presence of EDTA and the adsorption chemistry of lead-EDTA complex and lead were different.

The presence of sodium nitrate has no significant effect on lead adsorption therefore lead adsorption by chitosan was chemical adsorption. The amount of anion lead species decreased by increasing sodium nitrate confirmed the interaction of anion lead species with chitosan was physical adsorption.

Department	Environmental Engineering	Student's signature	
Field of Study	Environmental Engineering	Advisor's signature	
Academic Year	2001	Co-advesor's signature	

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. เจิดศักดิ์ ไชยคุนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำทั้งทางทฤษฎีและการปฏิบัติอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาโดยตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยงค์ โล่ห์วงศ์วัฒน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่ให้คำชี้แนะและช่วยแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ และ น้องนิสิตปริญญาโท รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว บิดา มารดา ของผู้เขียน รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนจนกระทั่งจบการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

แนวคิดและทฤษฎี.....4

2.1 ตะกั่ว.....4

2.1.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว.....4

2.1.2 ประโยชน์ของตะกั่ว.....4

2.1.3 พิษของตะกั่ว.....5

2.1.4 ตะกั่วในน้ำเสีย.....5

2.1.5 วิธีการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย.....9

2.2 การดูดซับหรือการดูดติดผิว (Adsorption).....10

2.2.1 กลไกการดูดซับ.....12

2.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....14

2.2.3 การดูดซับที่สภาวะสมดุลย์ (Adsorption Isotherm).....14

2.2.4 ประโยชน์ของการดูดซับ.....17

2.3 ไคตินและไคโตแซน.....17

2.3.1 สมบัติทั่วไปของไคตินและไคโตแซน.....17

2.3.2 ประโยชน์ของไคตินและไคโตแซน.....19

2.3.3 การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียด้วยไคโตแซน.....20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....26
3.1 แผนการวิจัย.....26
3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....26
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....26
3.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....31
3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....31
3.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....31
3.5 การเตรียมสารละลาย.....35
3.6 การดำเนินการวิจัย.....35
3.6.1 การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....35
3.6.2 การศึกษาความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสมในการ
ดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....36
3.6.3 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....36
3.6.4 การศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....37
3.6.5 การศึกษาผลของอีดีทีเอที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....37
3.6.6 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน
ของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....38
3.6.7 การศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับ
สารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....38
3.7 วิธีการวิเคราะห์.....39
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....40
ผลการวิเคราะห์.....40
4.1 ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....40
4.2 ผลการศึกษาความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสมในการ
ดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....40
4.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....42
4.4 ผลการศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....50
4.5 ผลการศึกษาผลของอีดีทีเอที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน
ของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....63
4.7 ผลการศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับ
สารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....71
บทที่ 5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....78
สรุปผลการวิจัย.....78
ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์.....79
ข้อเสนอแนะ.....80
รายการอ้างอิง.....81
ภาคผนวก.....85
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....86
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสมในการ
ดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....89
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....93
ภาคผนวก ง ผลการศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....98
ภาคผนวก จ ผลการศึกษาผลของอีดีทีเอที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....102
ภาคผนวก ฉ ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อน
ของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....107
ภาคผนวก ช ผลการศึกษาผลของความแรงไอออนที่มีต่อการดูดซับ
สารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....112
ภาคผนวก ซ คุณสมบัติของไคโตแซน.....116
ภาคผนวก ฌ มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม.....118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....123

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท.....6

2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบ.....7

2.3 สรุปรายงานการกำจัดตะกั่วและประสิทธิภาพในการกำจัด.....11

2.4 ชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับที่นิยมใช้กัน.....13

2.5 แหล่งกำเนิดต่างๆของไคตินที่มีอยู่ในธรรมชาติ.....18

3.1 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม
ในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....27

3.2 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม
ในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....27

3.3 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม
ในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....28

3.4 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาผลของความแรงไอออน
ที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....28

3.5 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาผลของอีดีทีเอ
ที่มีต่อการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซน.....29

3.6 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม
ในการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....29

3.7 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาผลของความแรงไอออน
ที่มีต่อการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วด้วยไคโตแซน.....30

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer).....32

3.2 เครื่องเขย่า (Shaker).....32

3.3 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter).....33

3.4 หลอดทดลอง (Conical Tube).....33

3.5 กระดาษกรองของ ***Whatman*** เบอร์ 40.....34

3.6 ไคโตแซน ขนาด 18 mesh.....34

4.1 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 5 และ 6ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที.....41

4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 5 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 100, 200 และ 300 รอบต่อนาที.....41

4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....43

4.4 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....43

4.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....44

4.6 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....44

4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7
ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....45
4.9 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5 และ 6
ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....46
4.10 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5 และ 6
ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....46
4.11 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8
ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....47
4.12 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8
ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....48
4.13 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย
โซเดียมไนเตรทที่ 0 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบ
ในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....51
4.14 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย
โซเดียมไนเตรทที่ 0 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบ
ในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....51
4.15 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น
ของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย
โซเดียมไนเตรทที่ 0.05 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบ
ในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.16 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.05 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....52
4.17 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....53
4.18 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....53
4.19 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....54
4.20 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....55
4.21 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....57
4.22 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.23 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0.5:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....58

4.24 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0.5:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....58

4.25 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....59

4.26 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....59

4.27 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 2:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....60

4.28 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 2:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....60

4.29 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0:1, 0.5:1, 1:1 และ 2:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.30 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 0:1, 0.5:1, 1:1 และ 2:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6 และ 7 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....62

4.31 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....65

4.32 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....65

4.33 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....66

4.34 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....66

4.35 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....67

4.36 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.37 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....68

4.38 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....68

4.39 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....69

4.40 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....70

4.41 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....72

4.42 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.43 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.05 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....73

4.44 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.05 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....73

4.45 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....74

4.46 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....74

4.47 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.48 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยไคโตแซนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายอีดีทีเอต่อสารละลายตะกั่ว 1:1 โมลต่อโมล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 0, 0.05 และ 0.1 โมลต่อลิตร พีเอชเริ่มต้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเร็วรอบในการเขย่าที่ 300 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสที่ 4 ชั่วโมง.....76