

การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ซีเมนต์ลอย

นางสาว จันทรีนา สงวนรุ่งวงศ์



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-665-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER BY FLY ASH

Miss Janna Sanguanroongyong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

For the Degree of Master of Science

Interdepartment of Environmental Science

Graduate School

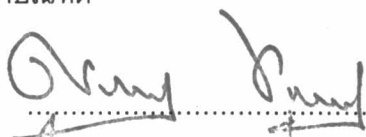
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

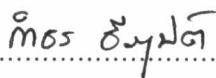
ISBN 974-636-665-3


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ซีเมนต์ลอย
โดย นางสาวจันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

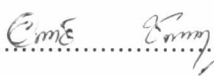
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นพ. ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ชีรคุปต์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อาจอน ประทัตสุนทรสาร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์ : การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ขี้เถ้าลอย (REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER BY FLY ASH) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ,
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 111 หน้า ISBN 974-636-665-3

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำขี้เถ้าลอยซึ่งเป็นสารดูดซับที่มีราคาถูก มาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว โดยหาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ แต่ระดับความเข้มข้นนี้จะทำการปรับค่าพีเอช ให้เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 3 ถึง 10 แล้วนำขี้เถ้าลอยที่ดูดซับโลหะหนักแล้วมาศึกษาความเสถียร

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของขี้เถ้าลอยพบว่า อนุภาคขี้เถ้าลอยมีลักษณะกลม มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 10 ถึง 100 ไมครอน และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของโลหะต่างๆ จะขึ้นอยู่กับพีเอช เวลาและความเข้มข้นเริ่มต้น ดังนี้ ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดนิกเกิลคือ 10 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มก./ล. ที่เวลา 10 นาที โดยจะได้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.52 สำหรับการกำจัดแคดเมียม ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดคือ 10 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ที่เวลา 30 นาที โดยจะได้ประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 99.12 สำหรับการกำจัดตะกั่ว ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดคือ 10 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มก./ล. ที่เวลา 5 นาที โดยจะได้ประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 99.55 และยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของโลหะทั้งสามชนิด จะลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นลดลง โดยจะมีสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน

ผลการทดสอบการชะละลายของโลหะทั้งสามชนิด พบว่ามีปริมาณโลหะหนักถูกชะละลายของสูงเกินกว่าข้อกำหนดในมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ภาควิชา สิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อรทัย ขวาลภาฤทธิ์

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C726586 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: ADSORPTION / FLY ASH

JANNA SANGUANROONGVONG : REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER BY FLY ASH.

THESIS ADVISOR : CHIDPHONG PRADISTSUWANA, Ph.D.,

THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT. 111 pp.

ISBN 974-636-665-3

This experimental research aims to use fly ash adsorbent which is inexpensive to remove three types of heavy metals (nickel, cadmium and lead). Optimum condition for removing heavy metals from solution which had three different levels of concentration were investigated. The pH levels of solution were adjusted from 3 to 10. Next stage, metal-laden fly ash was tested by leaching test method.

From the study of physical characteristics, the shape of fly ash was round and the size was between 10 to 100 micrometer in diameter. It was found that efficiency removal depended on pH, contact time and concentration as the following results: The optimum pH for nickel removal was 10 and the initial concentration was 40 mg/l. At 10 minutes, the efficiency removal was 99.52 %. The optimum pH for cadmium removal was 10 and the initial concentration was 10 mg/l. At 30 minutes, the efficiency removal was 99.12 %. The optimum pH for lead removal was 10 and the initial concentration 40 mg/l. At 5 minutes, the efficiency removal was 99.55 % and it was found that the removal of three heavy metals decreased when the initial concentration decreased at each optimum condition.

The result from leaching test of three types of heavy metals was found to be higher than the allowance levels of hazardous waste criteria imposed by Department of Industrial Factories.

ภาควิชา INTER - DEPARTMENT

สาขาวิชา ENVIRONMENTAL SCIENCE

ปีการศึกษา 1996

ลายมือชื่อนิสิต จันทนา สว่างรุ่งวงศ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชิดพงษ์ ปรดิษฐ์วานา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อรทัย ชาวัลपरิต



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลายๆฝ่าย ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชิตพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ดีในช่วงการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. อาจง ประทัดสุนทรสาร ที่ทั้งสองท่านกรุณาสละเวลาอันมีค่าอย่างยิ่งในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คุณสุพจน์ ตันตยาคม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันและเจ้าหน้าที่ของฝ่ายเคมีและวิเคราะห์ทุกท่านที่ได้ช่วยถ่ายทอดความรู้และเทคนิคในการใช้เครื่อง จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและคณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้บางส่วน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกคนที่มีได้กล่าวมานาม ณ ที่นี้ ซึ่งได้มอบกำลังกายและกำลังใจ จนกระทั่งประกอบเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้น

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ และบุคคลในครอบครัว ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โลหะหนัก	4
2.2 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	7
2.3 การดูดติดผิว	11
2.4 ชี้เท้าลอย	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการศึกษา.....	30
3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของชี้เท้าลอย.....	31
3.2 การศึกษาปริมาณชี้เท้าลอยที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด	31
3.3 การศึกษาค่าพีเอชและเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด	33
3.4 การศึกษาการคายออกจากผิวของโลหะทั้ง 3 ชนิด	36
4. ผลการศึกษาและวิจารณ์	
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ.....	37
4.2 ผลการศึกษาปริมาณชี้เท้าลอยที่เหมาะสม	39
4.3 ผลการศึกษาค่าพีเอชและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกำจัด	45
4.4 การทดสอบการคายจากผิว	75
4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ชี้เท้าลอยกับน้ำทิ้งจริง	76
4.6 การนำไปใช้งานจริง	77
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	81
ภาคผนวก ก	85
ภาคผนวก ข	93
ภาคผนวก ค	96
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แสดงการคาดประมาณของเสียอันตรายแต่ละประเภท.....2
2.1	ชนิดของโลหะหนักที่พบในอุตสาหกรรมต่างๆ.....5
2.2	ชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับที่นิยมใช้กัน 12
2.3	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีแบบ Proximate Analysis ของถ่านลิกไนต์แม่เมาะ..... 17
2.4	ผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ลิกไนต์ 18
2.5	ผลการวิเคราะห์หาธาตุของซีเมนต์ลิกไนต์โดยวิธี X-ray fluorescence 19
2.6	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีซีเมนต์ลิกไนต์ จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง20
2.7	ค่าทางอุณหพลศาสตร์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ของการดูดซับตะกั่ว 22
2.8	แสดงองค์ประกอบของซีเมนต์ลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าการเคียและเมกาโลโปลิส.....24
2.9	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียหลังจากบำบัดด้วยซีเมนต์ลิกไนต์.....28
2.10	ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์ลิกไนต์ในอัตราส่วนต่างๆ 29
4.1	ขนาดอนุภาคของซีเมนต์ลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ 38
4.2	ปริมาณโลหะนิกเกิลที่ละลายในน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ลิกไนต์ต่างๆ กัน 40
4.3	ปริมาณโลหะแคดเมียมที่ละลายในน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ลิกไนต์ต่างๆ กัน..... 41
4.4	ปริมาณโลหะตะกั่วที่ละลายในน้ำเมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ลิกไนต์ต่างๆ กัน..... 43
4.5	ปริมาณนิกเกิลที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 45
4.6	ปริมาณนิกเกิลที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 48
4.7	ปริมาณนิกเกิลที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร 51
4.8	ปริมาณแคดเมียมที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 56
4.9	ปริมาณแคดเมียมที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร 59
4.10	ปริมาณแคดเมียมที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร 59
4.11	ปริมาณตะกั่วที่ละลายและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ปริมาณตะกั่วที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	66
4.13 ปริมาณตะกั่วที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัด (%) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
4.14 ปริมาณโลหะหนักที่คายออกจากผิวของซีเมนต์ลอย.....	76
4.15 ผลการดูดซับด้วยซีเมนต์ลอยของน้ำทิ้งจากโรงงาน.....	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กลไกการขัดขวางการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินของตะกั่ว.....6
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_0 และ Ce ของการดูดติดผิวแบบชั้นเดียวและการดูดติดผิวแบบหลายชั้น..... 15
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการดูดซับของแคดเมียมกับเวลา.....21
2.4	ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ.....22
2.5	ผลการทดลองการดูดซับและการคายซับของอาร์เซนิก.....24
2.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลของซีเถ้าลอย ถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์สังเคราะห์.....25
2.7	ขั้นตอนการบำบัดโลหะหนักของ Ash sedimentation pond.....26
3.1	ขั้นตอนการหาปริมาณซีเถ้าลอยที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล.....32
3.2	ขั้นตอนการหาค่าพีเอชและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล.....34
4.1	ภาพแสดงขนาดของอนุภาคของซีเถ้าลอย โดยใช้เครื่อง Lazer particle size analyzer.....37
4.2	ซีเถ้าลอยจากเหมืองแม่เหมาะ จังหวัดลำปาง.....39
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิกเกิลที่ถูกดูดซับกับเวลา.....40
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับกับเวลา.....42
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับกับเวลา.....43
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของซีเถ้าลอยที่สภาวะสมดุล.....44
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร.....46
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความประสิทธิภาพในการกำจัดของนิกเกิลกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร.....47
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....49
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความประสิทธิภาพในการกำจัดของนิกเกิลกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....50
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหลือกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร.....52
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความประสิทธิภาพในการกำจัดของนิกเกิลกับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร.....53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลต่างๆ กัน	54
4.14 การไฮโดรซิสของนิกเกิลที่ค่าพีเอชต่างๆ	55
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	57
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	58
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	60
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	61
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	62
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของแคดเมียมกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร	63
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมต่างๆ กัน	64
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร	68
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร	69
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	70
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	71
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	72
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดของตะกั่วกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วกับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วต่างๆ กัน.....	74
4.29	แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของตะกั่วที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	74