

การลดปริมาณสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกู เลชันสำหรับชนบท



นายสมศักดิ์ อินทรการุณเวช

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-516-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015877

10303780

Removal of Arsenic in Water by Coagulation Process for Rural Areas

Mr. Somsak Intrakaroonvate

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดปริมาณสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกู เลชันสำหรับชุมชน
 โดย นายสมศักดิ์ อินทรการุณเวช
 ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
 (ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)

..... กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

..... กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



สมศักดิ์ อินทรการุณเวช : การลดปริมาณสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
สำหรับชนบท (REMOVAL OF ARSENIC IN WATER BY COAGULATION PROCESS FOR
RURAL AREAS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์, 108 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้ เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับชนบทและ
ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับชนบท โดยทำการทดลองเปรียบเทียบ
อุปกรณ์จาร์เทสต์ ใช้โคแอกกูแลนต์สองชนิดคือ สารส้ม และปูนขาว ดำเนินการทดลองแบบแบทช์ (Batch)
น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ น้ำดิบจากบ่อต้น ตำบลรอนพิบูลย์ อำเภอรอนพิบูลย์ จังหวัด
นครศรีธรรมราช และน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารประกอบโซเดียมอาร์เซไนต์ผสมกับน้ำประปา ทำการ
ทดลองที่ระดับความเข้มข้นสารหนูในน้ำประมาณ 4.5 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรค่าปริมาณสารส้มตั้งแต่
20-160 มิลลิกรัมต่อลิตรที่พีเอช 6.6-6.9 และแปรค่าปริมาณปูนขาวตั้งแต่ 10-400 มิลลิกรัมต่อลิตรที่
พีเอช 9.1-11.4

ผลการวิจัยพบว่า สารส้มสามารถให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณการ
ใช้สารส้มมากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป และมีพีเอชที่เหมาะสม 6.6-6.9 สำหรับปูนขาวพบว่า
สามารถให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 78 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณการใช้ปูนขาวมากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อ
ลิตรขึ้นไป และมีพีเอชที่เหมาะสม 11.1-11.4 การกรองด้วยถังทรายกรองช้าที่อัตราการกรอง 0.3
เมตร³/เมตร²/ชั่วโมง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้เพียงเล็กน้อย และมีอายุการกรองสั้น

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับชนบท
สามารถเปรียบเทียบได้อย่างใกล้เคียงกับอุปกรณ์จาร์เทสต์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



SOMSAK INTRAKAROONVATE : REMOVAL OF ARSENIC IN WATER BY COAGULATION
PROCESS FOR RURAL AREAS. THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF. SUTHIRAK
SUJARITTANONTA, Ph.D. 108 pp.

This study was concerned with the design of coagulation process for rural areas and its efficiency. The comparison between the coagulation process for rural areas, jar test was investigated by batch experiment. Alum and Calcium hydroxide were used as coagulants. There were two kinds of raw water, first, was raw water from Ronphiboon District, Nakornsri thammaraj Province and second, was synthetic water prepared by dissolving Sodium arsenate with tap water to be concentration of arsenic at 4.5 and 1.2 mg/l. Alum and Calcium hydroxide were varied concentration between 20-160 mg/l. in pH range 6.6-6.9 and between 10-400 mg/l. in pH range 9.1-11.4 respectively.

It was found that the efficiency of arsenic removal is more than 90% when used Alum hydroxide over 120 mg/l. at the optimum pH 6.6-6.9 and the efficiency of arsenic removal by using Calcium hydroxide is more than 78% at concentration over 300 mg/l. and the optimum pH 11.1-11.4. There are found, however, filtered by slow sand filter with overflow rate $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$. can increased only few efficiency and short filter run with not more than 1,050 liters.

The results of the study shows that the efficiency between coagulation process for rural areas and jar test are not different.

ภาควิชา Environmental Engineering
สาขาวิชา Environmental Engineering
ปีการศึกษา 1988

ลายมือชื่อนิสิต Somsak Intrakaroovate
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Suthirak Sujarittanonta



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ กำลังใจ แนวทางการทดลอง ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ มาด้วยดีตลอดเวลา และขอขอบคุณกรรมการสอบทุกท่านที่ได้ให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอย่างสูงแด่คุณธีรพล คังคะเกตุ หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดลอง สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ซึ่งให้ความอนุเคราะห์อย่างดียิ่ง ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในน้ำ

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน น้อง ทั้งหมดที่คอยให้กำลังใจและกำลังใจ

ท้ายสุดนี้ ขอมอบประโยชน์และคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้แก่ พ่อ แม่ พี่ น้อง และจันทราทองคำเถา สำหรับความรัก ความช่วยเหลือ และความเข้าใจที่ดีต่อผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ท
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความต้องการน้ำสะอาด.....	1
1.2 ความสำคัญของปัญหาสารหนู.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบ เขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทบทวน เอกสาร.....	4
2.1 การจำแนกสาร.....	4
2.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและ เคมี.....	4
2.2.1 ประเภทสารประกอบโลหะของสารหนู.....	4
2.2.2 ประเภทสารประกอบอนินทรีย์ของสารหนู.....	7
2.2.3 ประเภทสารประกอบอินทรีย์ของสารหนู.....	8
2.2.4 ประเภทก๊าซ.....	9
2.3 การใช้ประโยชน์ของสารหนู.....	9
2.4 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อม.....	11

	หน้า
2.4.1 แหล่งธรรมชาติ.....	11
2.4.2 จากการใช้สารพิษป้องกันกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร.....	11
2.4.3 จากกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม.....	11
2.5 ปริมาณความเข้มข้นสารหนูในสิ่งแวดล้อม.....	14
2.5.1 ในหิน ดิน และตะกอนดิน.....	14
2.5.2 ในน้ำผิวดิน.....	15
2.5.3 ในน้ำดื่ม.....	15
2.6 มาตรการควบคุมของสารหนู.....	20
2.6.1 มาตรฐานน้ำดื่ม.....	20
2.6.2 มาตรฐานน้ำทิ้ง.....	20
2.6.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน.....	21
2.7 ความเป็นพิษของสารหนูต่อมนุษย์.....	21
2.7.1 ที่ผิวหนัง.....	22
2.7.2 ที่เยื่อเมือก.....	22
2.7.3 ตา.....	22
2.7.4 ระบบหายใจ.....	22
2.7.5 ระบบประสาท.....	23
2.7.6 สมอ.....	23
2.7.7 อื่น ๆ.....	23
2.8 เคมีของสารหนูในน้ำธรรมชาติ.....	23
2.9 การศึกษาที่ผ่านมา.....	27
3. โศกนาฏกรรม.....	31
3.1 ความสำคัญของกระบวนการโศกนาฏกรรม.....	31
3.2 กลไกของโศกนาฏกรรม.....	32
3.3 การทำลายเสถียรภาพ.....	32

3.3.1	กลไกทางกายภาพ.....	32
3.3.2	กลไกทางเคมี.....	34
3.4	การสร้างสัมผัส.....	34
3.4.1	เพอร์โค เนติคฟลัคคู เลชัน.....	34
3.4.2	ออร์โธโค เนติคฟลัคคู เลชัน.....	35
3.5	เคมีของโคแอกกูแลนต์สารส้ม.....	35
3.6	เคมีของโคแอกกูแลนต์ปูนขาว.....	36
3.7	การกวนเร็ว.....	38
3.8	การกวนช้า.....	40
3.9	การควบคุมกระบวนการโคแอกกู เลชัน.....	42
3.10	พารามิเตอร์ที่มีผลต่อโคแอกกู เลชัน.....	43
4.	การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	45
4.1	อุปกรณ์จาร์ เทสต์.....	45
4.2	อุปกรณ์กระบวนการโคแอกกู เลชันสำหรับชนบท.....	47
4.2.1	ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า และถังตกตะกอน.....	48
4.2.2	ใบพัดกวนเร็ว กวนช้า.....	48
4.2.3	ท่อและวาล์วควบคุม.....	48
4.2.4	ถังทรายกรอง.....	48
4.2.5	การควบคุมค่า G ของชุดใบพัดกวนน้ำ.....	51
4.2.6	การควบคุมอัตราการกรองของถังทรายกรอง.....	55
4.3	น้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	55
4.4	การดำเนินการทดลอง.....	56
4.4.1	การดำเนินการทดลองอุปกรณ์จาร์ เทสต์.....	56
4.4.2	การดำเนินการทดลองของชุดอุปกรณ์กระบวนการ.....	58
	การโคแอกกู เลชันสำหรับชนบท	

	หน้า	
4.5	วิธีการเก็บและการรักษาตัวอย่างน้ำ.....	58
4.6	วิธีวิเคราะห์.....	59
5.	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	61
5.1	ผลการทดลองจากอุปกรณ์จาร์เทสต์.....	61
5.1.1	น้ำดิบสังเคราะห์.....	61
5.1.2	น้ำดิบจากบ่อดิน.....	65
5.2	ผลการทดลองจากอุปกรณ์โคแอกกู เลชันสำหรับชนบท.....	68
5.2.1	น้ำดิบสังเคราะห์.....	68
5.2.2	น้ำดิบจากบ่อดิน.....	77
5.3	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	77
5.3.1	พีเอช.....	77
5.3.2	ปริมาณโคแอกกูแลนต์.....	80
5.3.3	ปริมาณความเข้มข้นสารหนู เริ่มต้น.....	81
5.3.4	การกรอง.....	81
5.3.5	การเปรียบเทียบผลการทดลองจาร์ เทสต์กับ อุปกรณ์โคแอกกู เลชันสำหรับชนบท	81
5.3.6	ความกระด้าง.....	83
6.	สรุปผลการทดลอง.....	93
6.1	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลอง.....	93
6.2	ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูของอุปกรณ์ กระบวนการโคแอกกู เลชันสำหรับชนบท	94
7.	ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติม.....	95
	เอกสารอ้างอิง.....	96
	ภาคผนวก.....	100
	ประวัติผู้วิจัย.....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารหนูและสารประกอบของสารหนูที่สำคัญ.....	5
2.2	ลักษณะสมบัติทางกายภาพทั่วไปของสารหนู.....	6
2.3	ปริมาณสารหนูที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ปี 1974.....	10
2.4	สารประกอบอนินทรีย์ของสารหนูที่ใช้ในการเกษตรกรรม.....	11
2.5	ค่าทั่วไปของปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในดินและหินบางชนิด.....	12
2.6	ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในน้ำเสียจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ.....	13
2.7	ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูที่ออกสู่บรรยากาศ.....	13
2.8	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์.....	18
	จังหวัดนครศรีธรรมราช	
2.9	ผลการตรวจสอบน้ำใช้อุปโภคและบริโภคในตำบลร่อนพิบูลย์.....	19
	อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช	
2.10	มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดยประเทศหรือองค์กรต่าง ๆ.....	20
2.11	มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดยหน่วยงานต่างๆ ของประเทศไทย.....	21
2.12	ค่า Free energies ของสารหนูแต่ละสปีชีส์ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	25
	และความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ (ΔG_f , Kcal mole ⁻¹)	
4.1	ค่าทั่วไปของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบการกวนช้า.....	52
4.2	ลักษณะสมบัติน้ำดิบของบ่อน้ำต้น ตำบลร่อนพิบูลย์.....	56
4.3	ลักษณะสมบัติน้ำดิบสังเคราะห์.....	57
4.4	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการทดลอง.....	60
5.1	ผลการทดลองโคแอกกูเลชันของน้ำดิบสังเคราะห์ที่พีเอช 5-9.....	62
	สารส้ม 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	
5.2	ผลการทดลองโคแอกกูเลชันของน้ำดิบสังเคราะห์ที่พีเอช 6.8-6.9.....	63
	ปริมาณสารส้ม 80-140 มิลลิกรัมต่อลิตร	

ตารางที่	หน้า
5.3	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์ที่พีเอช 6.8-6.9.....64 ปริมาณสารส้ม 20-140 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.4	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์กับปูนขาว.....66 ที่พีเอช 8.6-11.4
5.5	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์กับปูนขาว.....67 ที่พีเอช 9.1-11.4
5.6	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำบ่อต้นที่พีเอช 6.6-6.8.....69 ปริมาณสารส้ม 40-160 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.7	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำบ่อต้นกับปูนขาวที่พีเอช 9.1-11.4.....70
5.8	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์ที่พีเอช 6.8-6.9.....71 ปริมาณสารส้ม 80-130 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.9	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์ที่พีเอช 6.8-6.9.....72 ปริมาณสารส้ม 60-160 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.10	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์กับปูนขาว.....74 ที่พีเอช 9.6-11.5
5.11	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำดิบสังเคราะห์กับปูนขาว.....75 ที่พีเอช 9.6-11.4
5.12	ผลการทดลองการกรองผ่านถังทรายกรองช้า.....76
5.13	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำบ่อต้นที่พีเอช 6.8-6.9.....78 ปริมาณสารส้ม 120-140 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.14	ผลการทดลองโคแอกกู เลชันของน้ำบ่อต้นที่พีเอช 11.2-11.5.....79 ปริมาณปูนขาว 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนที่สิ่งเขป ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์.....17 จังหวัดนครศรีธรรมราช	17
2.2	การกระจายของแต่ละสปีชีส์ของสารหนูที่มีวาเลนซี +3 และ +5.....24 กับค่าพีเอช	24
2.3	Eh-pH ไคอะแกรมสำหรับแต่ละสปีชีส์ของสารหนูที่อุณหภูมิ 25 °C.....26 และความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ	26
3.1	แผนผังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....33	33
3.2	Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีความขุ่น.....37	37
3.3	ใบพัดกวน 3 แบบ (ก) แบบใบพัดเรือ (ข) แบบเทอร์ไบน์.....39 (ค) แบบใบพายหรือใบแบน	39
3.4	อุปกรณ์จาร์เทสต์.....42	42
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบคอมเพล็กซ์ของสารส้มและพีเอช.....43 ที่สภาวะไม่เกิดสมดุลย์	43
4.1	ถ้วยทดลองและอุปกรณ์สำหรับ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์.....46	46
4.2	แผนผังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....47 สำหรับชนบท	47
4.3	ขนาดและรูปร่างของอุปกรณ์กระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับชนบท.....49	49
4.4	ชุดใบพัดกวนน้ำ และส่วนประกอบย่อย.....50	50
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดของสารส้ม.....84	84
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดของปูนขาวที่ปริมาณ.....85 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 4.62 และ 4.44 มิลลิกรัมต่อลิตร	85
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มกับประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณ.....86 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 4.58 และ 4.32 มิลลิกรัมต่อลิตร	86

รูปที่	หน้า
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณ.....87 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 1.21,1.33,1.63 และ 1.16 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดของปูนขาวที่ปริมาณ....88 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 1.42,1.24,1.68 และ 1.18 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างการกรองกับประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณ.....89 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 1.21,1.63 และ 1.16 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างการกรองกับประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณ.....90 ความเข้มข้นเริ่มต้นสารหนู 1.42,1.68 และ 1.18 มิลลิกรัมต่อลิตร
5.8	ความกระด้างของน้ำที่พีเอชต่าง ๆ หลังการบำบัดด้วยปูนขาว.....91
5.9	อายุการกรองของถังทรายกรองช้า.....92