หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, "รายงานการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายของสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช," กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม 2531.

กรมอนามัย, "สารหนูในสิ่งแวดล้อม และอันตรายต่อสุขภาพอนามัย," กรมอนามัย, 2531.

สุจินต์ ผลากรกุล, ไพบูลย์ วชิราชีวิน, ธาดา เบี่ยมพงศ์สานต์ และวรา ตันตราภรณ์," ไข้ดำ (โรคจากพิษสารหนู)" วารสารกรมการแพทย์, 13 (5), 307-310, 2531.

สุรภี โรจน์อารยานนท์, "การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (จากห้องปฏิบัติการ) ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรต์", 2530.

สมศักดิ์ อินทรการุณเวช, "การลดบริมาณสารหนูในน้ำด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชั่นสำหรับชนบท" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

APHA, AWWA and WPCF, "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16 th edition," APHA, Inc., N.Y., 1984.

Arsenic (Izmerov, N.ed.), Scientific Reviews of Soviet Literature on Toxicity and Hazards of Chemicals, p 49, Center of International Projects, GKNT, Moscow, 1982.

Braman, S.R., "Environmental reaction and analysis methods", Biological and Environmental Effects of Arsenic. (Fowler. A.B.,ed) pp 141, 145, Elsevier Science Publishing Company, Inc., Netherland, 1983.

Buswell, A.M., R.C. Gore, H.E. Hudson, A.C. Weise and T.E.Larson, "War Problems in Analysis and Treatment," J. AWWA. (35) 1303-1311, 1943.

Emrich, H.G. and G.L. Merritt," Effects of Acid Mine Drainage on Ground Water," Water Well Journal, 88, 1968.

Grantham, D.A. and J.F. Jones, " Arsenic Contamination of Water Wells in Nova Scotia, " J. AWWA, 12, 653-657, 1977.

Gupta, K.S. and K.Y. Chen, "Arsenic Removal by Adsorption," J. WPCF, 50 (3), 493-506, 1978.

National Academy of Sciences, "ARSENIC," National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1977.

Patterson, J.W., "Wastewater Treatment Technology", pp 1-11, Ann Arbor Science Publisher Inc., USA, 1977.

Pershagen, G., "The Epidemiology of Human Arsenic Exposure", Biological and Environmental Effects of Arsenic (Fowler.A.B., ed.), pp 199-206, Elsevier Science Publishing Company, Inc., Netherland, 1983.

Rosehart, R. and J.Lee, "Effective Methods of Arsenic Removal from Gold Mine Waste, " Canadian Mining Journal, 93, 53-57, 1972.

Shen, Y.S.," Study of Arsenic Removal from Drinking Water," J.AWWA. 63 (8), 546-548, 1973.

Singley, J.E. et al., "State of The Art of Coagulation," J. AWWA. 61 (2), 99-108, 1971.

Sorg, T.J. and G.S. Logsdon, " Treatment Technology to Meet the Interim Primary Drinking Water Regulations for Inorganics : Part2," J.AWWA. 70 (7) 379-393, 1978.

Squibb, S.K. and Bruce A. Fowler, "The Toxicity of Arsenic and Its Compounds", Biological and Environmental Effects of Arsenic (Fowler, A.B., ed.), pp 233-269, Elsevier Science Publishing Company, Inc., Netherland, 1983

Stumm, W. and C.R. O'Melia, "Stoichiometry of Coagulation," J.AWWA. 6(5), 514 - 539, 1968.

World Health Organization," Environmental Health Criteria 18: Arsenic," World Health Organization, Geneva, 1981.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

ตารางที่ 1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำโดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นโคแอกกูแลนต์ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	พีเอชของสารละลาย 6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
20	12.29	7.25	6.37	12.61	3.39
30	13.31	15.83	12.23	12.70	4.03
40	11.53	17.41	4.68	16.76	2.60

ตารางที่ 1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำโดยการตกตะกอนด้วย เฟอร์ริคคลอไรด์ (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นโคแอกกูแลนต์	พีเอชของสารละลาย				
(มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
20	3.66	5.12	4.98	0.84	10.98
30	4.03	7.00	12.10	8.20	7.34
40	11.35	9.46	16.34	12.97	10.30

ตารางที่ 1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำโดยการตกตะกอนด้วย เฟอร์ริคซัลเฟต (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นโคแอกกูแลนต์	พีเอชของสารละลาย				
(มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
20	39.27	53.42	49.83	43.42	8.02
30	32.45	44.47	51.51	55.06	32.83
40	49.15	55.67	60.46	63.37	9.02

การทดลองที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ชนิดของโคแอกกูแลนต์		
สารส้ม	เฟอร์ริคคลอไรด์	เฟอร์ริคซัลเฟต
17.01	30.46	57.40

ทดลองที่ 3

ตาราง 3:1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) ความเข้มข้น 0.01-0.10, 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นสารหนู / รูปสารหนู	0.01-0.10	0.10-1.00	1.00-5.00
	(มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)		
As (III)	5.11	6.64	18.81
As (V)	80.81	11.41	62.61

ตาราง 3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) ความเข้มข้น 0.01-0.10, 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นสารหนู / รูปสารหนู	0.01-0.10 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	0.10-1.00 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	1.00-5.00 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)
As (III)	54.78	5.11	24.39
As (V)	67.85	41.15	11.37

ตาราง 3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) ความเข้มข้น 0.01-0.10, 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

ความเข้มข้นสารหนู / รูปสารหนู	0.01-0.10 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	0.10-1.00 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	1.00-5.00 (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)
As (III)	47.95	51.63	39.58
As (V)	71.35	33.14	16.34

การทดลองที่ 4

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยสารส้ม (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน	
ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
8.81	73.22

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน	
ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
10.88	53.41

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน	
ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
30.45	71.32

การทดลองที่ 5

ตาราง 5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม และการออกซิเดชั่น ด้วยการเติมคลอรีน แล้วจึงตกตะกอน (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน รูปสารหนู	ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
As (III)	16.72	84.70
As (V)	69.63	73.51

ตาราง 5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ และการออกซิเดชั่น ด้วยการเติมคลอรีน แล้วจึงตกตะกอน (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน รูปสารหนู	ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
As (III)	23.40	47.60
As (V)	5.11	28.06

ตาราง 5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูป As (III), As (V) โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต และการออกซิเดชั่น ด้วยการเติมคลอรีน แล้วจึงตกตะกอน (เปอร์เซนต์เฉลี่ย)

การเติมคลอรีน รูปสารหนู	ไม่เติมคลอรีน	เติมคลอรีน
As (III)	62.64	85.68
As (V)	6.88	75.22

การทดลองที่ 6

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำธรรมชาติ โดยการตกตะกอน และการเติมคลอรีนร่วมกับการตกตะกอน ของโคแอกกูแลนต์ต่างๆ (เปอร์เซนต์)

ตย.ที่	ปริมาณ As เริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	วิธีการกำจัด					
		Alum	Alum+Cl_2	$FeCl_3$	$FeCl_3$+Cl_2	$Fe_2(SO_4)_3$	$Fe_2(SO_4)_3$+Cl_2
1	0.96	16.7	-	45.3	-	97.4*	-
2	0.63	30.1	42.0	64.3	49.2	-	-
3	1.1	31.8	25.4	-	-	96.4*	96.6*
4	0.81	-	-	89.1	91.4	94.7*	88.9

หมายเหตุ * ปริมาณคงเหลือหลังการกำจัด ต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ภาคผนวก ข

มาตรฐานปริมาณสารหนูในน้ำของประเทศไทย และประเทศต่าง ๆ

หน่วยงานที่กำหนด	ปริมาณที่ยอมให้มีได้ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)	ประเภทของน้ำ
กระทรวงสาธารณสุข	0.05	น้ำบริโภค
สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา	0.05	น้ำดื่มบรรจุขวด
กรมทรัพยากรธรณี	0.05	น้ำบาดาล
การประปานครหลวง	0.01 - 0.05	น้ำประปา
องค์การอนามัยโลก	0.05	น้ำบริโภค
สหรัฐอเมริกา	0.05	น้ำบริโภค
กลุ่มประชาคมยุโรป	0.05	น้ำบริโภค
สหภาพโซเวียต	0.01	แหล่งน้ำเพื่อการประมง
	0.05	แหล่งน้ำเพื่อการประปา

ภาคผนวก ค

ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาที่มีสารหนู

1. ปริมาณน้ำที่เข้าระบบ 150 ลบม./วัน ปริมาณน้ำที่ผลิตแล้ว 100 ลบม./วัน
2. ราคาสารเคมี (AR Grade)

สารส้ม (95 %)	580	บาท/กก.
เฟอร์ริคคลอไรด์ (95 %)	600	บาท/กก.
เฟอร์ริคซัลเฟต (95 %)	450	บาท/กก.
คลอรีน (60 %)	40	บาท/กก.

3. ค่าไฟฟ้า สมมุติใช้เครื่องไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า ทำงาน 10 ชั่วโมง
   1 แรงม้า = 0.75 กิโลวัตต์/ชั่วโมง จะใช้ไฟ 75 หน่วย/วัน
   ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 2 บาท เป็นเงิน 150 บาท/วัน
4. เงินเดือนเจ้าหน้าที่รวม 9,000 บาท/เดือน หรือ 300 บาท/วัน
5. ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ ต่อลูกบาศก์เมตร

   คำนวณจาก

   (ปริมาณสารเคมี/วัน X ราคาสารเคมี)+ ค่าไฟฟ้า + เงินเดือน ÷ ปริมาณน้ำที่ผลิตแล้ว

   ค่าสารส้มวันละ = 150 ม X 30 ลบ.คม.÷ 95% X 580 เป็นเงิน 2,748 บาท

   ค่าเฟอร์ริคคลอไรด์วันละ=150 ม X 40 ลบ.คม.÷ 95% X 600 เป็นเงิน 3,790 บาท

   ค่าเฟอร์ริคซัลเฟตวันละ =150 ม X 40 ลบ.คม.÷ 95% X 450 เป็นเงิน 2,842 บาท

   ค่าคลอรีนวันละ = 150 ม X 15 ลบ.คม.÷ 60% X 40 เป็นเงิน 150 บาท

   ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อ

ก.	ใช้สารส้มชนิดเดียว	เป็นเงิน	32	บาท
ข.	ใช้คลอรีนและสารส้ม	เป็นเงิน	34	บาท
ค.	ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ชนิดเดียว	เป็นเงิน	43	บาท
ง.	ใช้คลอรีนและเฟอร์ริคคลอไรด์	เป็นเงิน	44	บาท
จ.	ใช้เฟอร์ริคซัลเฟตชนิดเดียว	เป็นเงิน	33	บาท
ฉ.	ใช้คลอรีนและเฟอร์ริคซัลเฟต	เป็นเงิน	35	บาท

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิริวรรณ จันทนจุลกะ เกิดวันที่ 3 สิงหาคม 2504 จบการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2525 ปัจจุบันรับราชการ เป็นนักวิชาการสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย