หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 <u>ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมทางด้านพีเอช และความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ในการกำจัดสารหนูจากน้ำ</u> (ดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3)

แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูของโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม เฟอร์ริคคลอไรด์ และเฟอร์ริคซัลเฟต โดยกำหนดให้มีพีเอชของสารละลายเท่ากับ 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 และ 8.5 และความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์เท่ากับ 20, 30 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร สรุปได้ดังนี้

4.1.1 <u>สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์</u>

จากกราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของสารส้มในการกำจัดสารหนู พบว่าที่พีเอช 7.0 และ 8.0 จะกำจัดสารหนูได้ค่อนข้างดี แต่ที่พีเอช 7.5 และ 8.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูลดลงอย่างเห็นได้ชัด

4.1.1.1 พีเอช

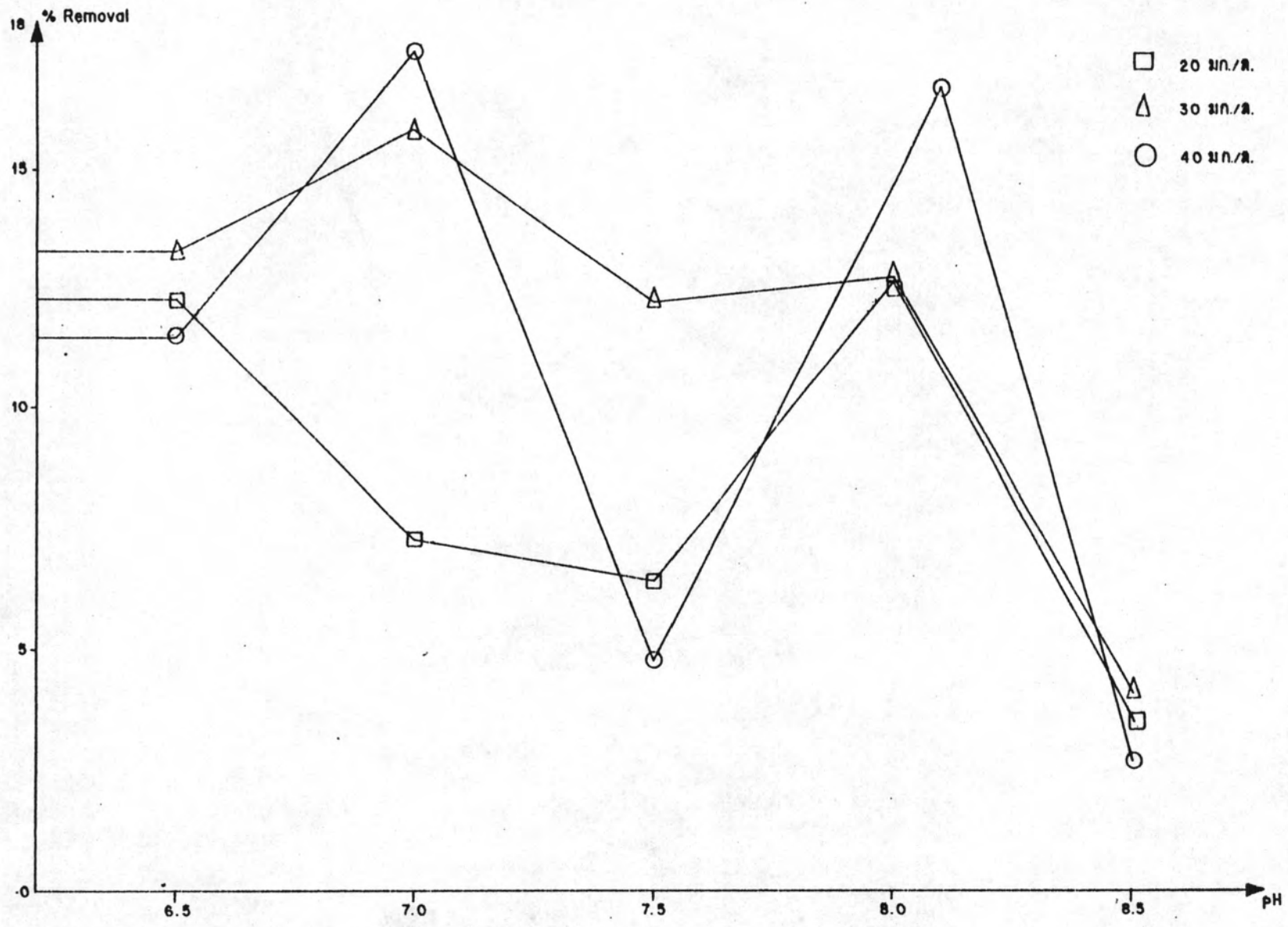
จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.1) พบว่าพีเอชของสารละลายที่ต่างกัน ระหว่าง 6.5 - 8.5 ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.085$)

4.1.1.2 ความเข้มข้นของสารส้ม

จากการทดลองโดยให้มีความเข้มข้นของสารส้ม ระหว่าง 20 - 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่า ความเข้มข้นของสารส้มที่ระดับต่างกัน ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.586$)

4.1.1.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายและความเข้มข้นของสารส้ม

จากตาราง 4.1 พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายและความเข้มข้นของสารส้มที่ต่างกันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.909$)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำ
เมื่อตกตะกอนด้วยสารส้มความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อผลการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงนำสภาวะที่มีการกำจัดสารหนูเฉลี่ยดีที่สุด คือที่พีเอช 8.0 และความเข้มข้นของสารส้ม 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตาราง 4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชและความเข้มข้นของสารส้มในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ

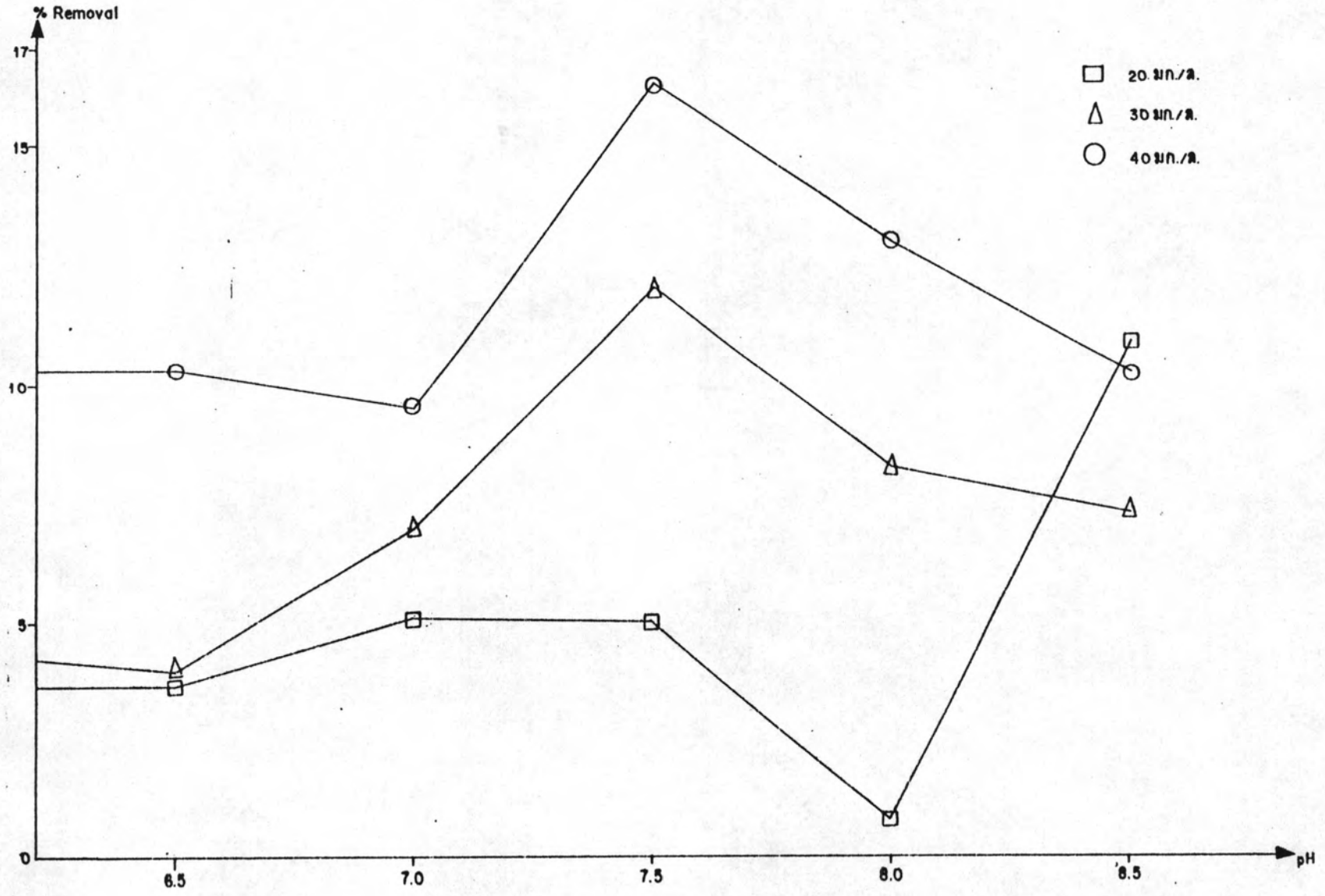
Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
ความเข้มข้นของสารส้ม	2	54.921	27.460	0.554	0.586
พีเอชของสารละลาย	4	499.480	124.870	2.518	0.085
ความเข้มข้น x พีเอช	8	155.308	19.413	0.391	0.909
ความแปรปรวนที่เหลือ	15	744.009	49.601		
ความแปรปรวนทั้งหมด	29	1,453.717	50.128		

4.1.2 เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์

กราฟรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ความเข้มข้นต่างๆ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าพีเอช 7.5 จะเป็นช่วงที่กำจัดสารหนูได้ดีกว่าพีเอชอื่น ที่ความเข้มข้นเฟอร์ริคคลอไรด์ 30 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีลักษณะกราฟคล้ายกัน ส่วนเฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะกำจัดสารหนูได้น้อยที่สุดที่พีเอช 8.0

4.1.2.1 พีเอช

เมื่อปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำที่เติมเฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ให้มีค่าระหว่าง 6.5 - 8.5 พบว่า ที่พีเอชแตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.453$)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำ
เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

4.1.2.2 ความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์

เมื่อเติมเฟอร์ริคคลอไรด์ เพื่อเป็นโคแอกกูแลนต์ลงในตัวอย่างน้ำ ให้มีค่า 20 - 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์แตกต่างกัน จะมีผลต่อประสิทธิภาพการจัดสารหนู อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.02$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison ปรากฏว่าการใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 20 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ โดยที่เฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะกำจัดสารหนูได้ดีกว่า เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

4.1.2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอช และความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์ในการกำจัดสารหนูจากน้ำ (ตาราง 4.2) พบว่าเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.657$)

เมื่อพิจารณาถึงสภาวะที่มีการกำจัดสารหนูเฉลี่ยได้ดีที่สุด คือที่พีเอช 7.5 และความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จึงนำสภาวะนี้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตาราง 4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชและความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์ในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ

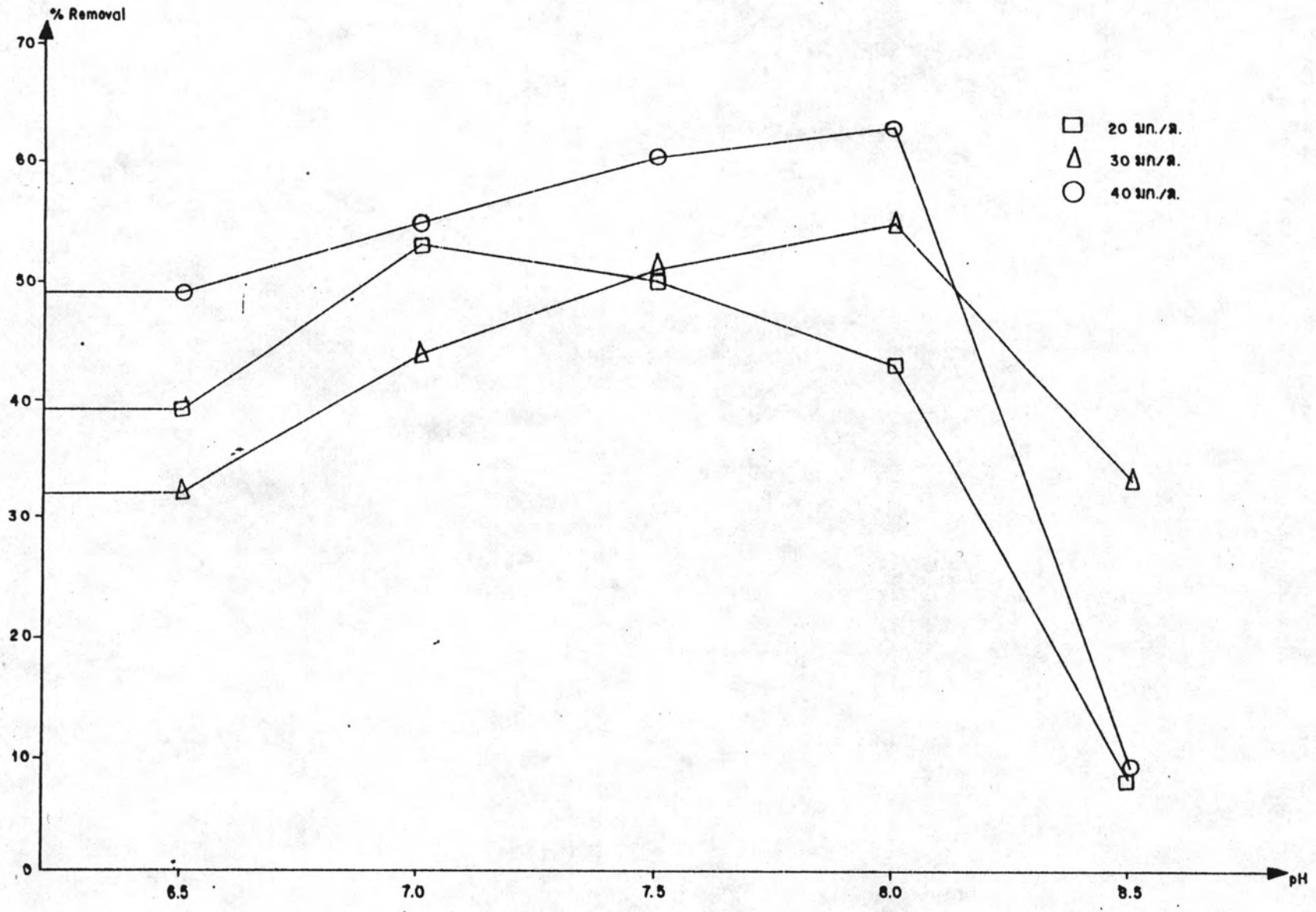
Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
ความเข้มข้นของเฟอร์ริคคลอไรด์	2	247.712	123.856	5.138	0.020
พีเอชของสารละลาย	4	93.427	23.357	0.969	0.453
ความเข้มข้น X พีเอช	8	142.556	17.820	0.739	0.657
ความแปรปรวนที่เหลือ	15	361.578	24.105		
ความแปรปรวนทั้งหมด	29	845.274	29.147		

4.1.3 เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเข้มข้น 30 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีรูปแบบการกำจัดสารหนูที่พีเอชต่างๆ คล้ายกัน คือ ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จากพีเอช 6.5 และสูงสุดที่พีเอช 8.0 แล้วจะลดต่ำลง ส่วนที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะกำจัดสารหนูได้ดีที่พีเอช 7.0 จากนั้นประสิทธิภาพจะค่อย ๆ ลดลงเช่นกัน

4.1.3.1 พีเอช

เมื่อใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ และปรับพีเอชของสารละลายให้แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง 6.5 - 8.5 พบว่าที่พีเอชแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison พบว่า การใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ที่พีเอช 8.5 กำจัดสารหนูได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีพีเอช 6.5, 7.0 , 7.5 และ 8.0



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำ
เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตความเข้มข้นต่างๆ

4.1.3.2 ความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต

เมื่อทดลองกำจัดสารหนู โดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟต เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 20, 30 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าที่ความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟตแตกต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.080$)

4.1.3.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ 4.3 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.048$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison พบว่าสภาวะที่พีเอช 8.5 และความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 20 และ 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูได้น้อยกว่าบางสภาวะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) ดังนี้

- สภาวะที่พีเอช 8.5 และความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดสารหนูได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 7.0 และ 7.5 สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 7.5 และ 8.0 และที่สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 6.5, 7.0, 7.5 และ 8.5
- สภาวะที่พีเอช 8.5 และความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดสารหนูในน้ำได้น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 7.0 และ 7.5 สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 7.5 และ 8.0 และที่สภาวะความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 6.5, 7.0, 7.5 และ 8.0

เมื่อพิจารณาถึงสภาวะที่มีค่าเฉลี่ยของการกำจัดสารหนูมากที่สุด โดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์พบว่าที่พีเอช 8.0 ความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีค่าเฉลี่ยในการกำจัดสารหนูได้ดีที่สุด

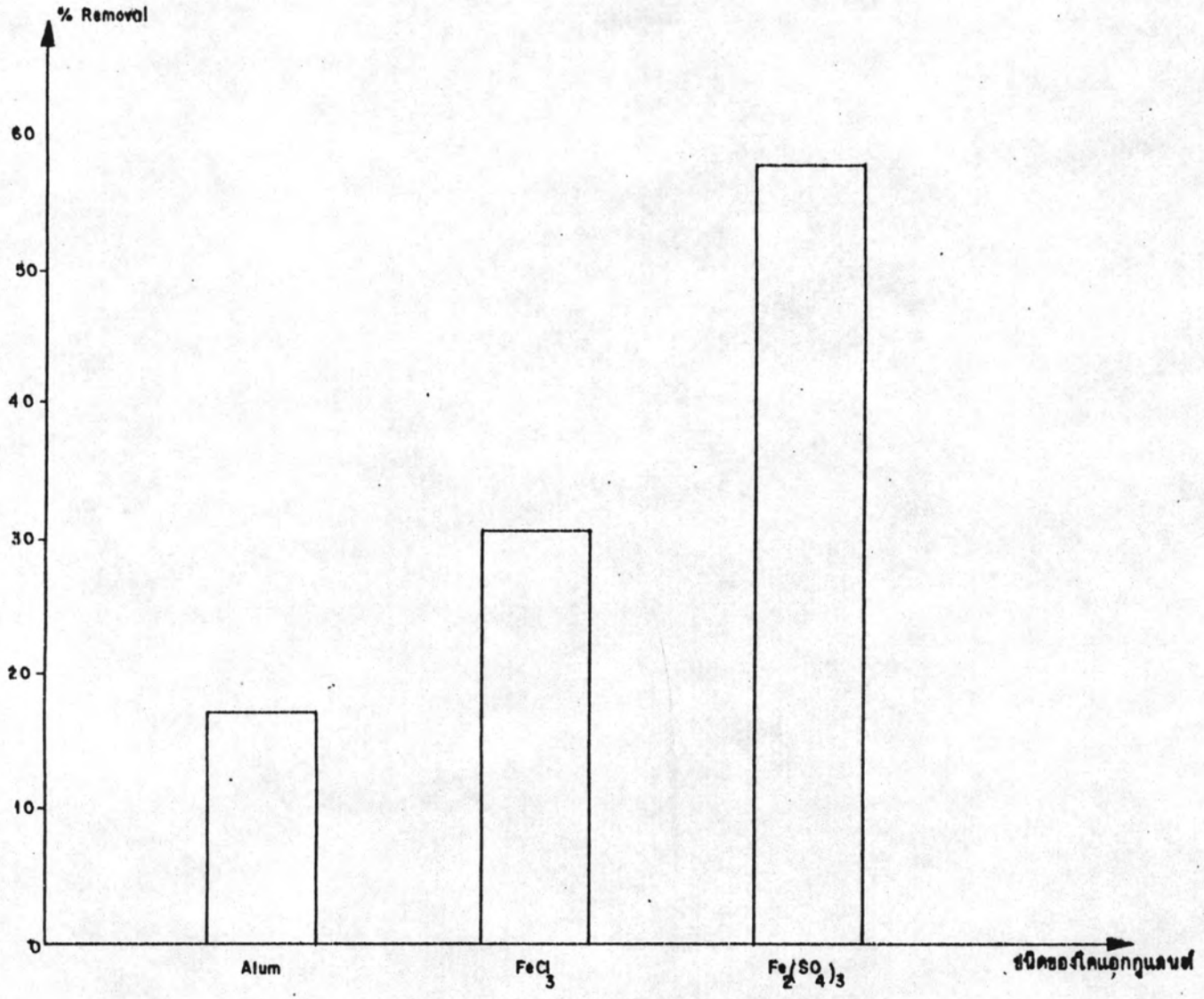
ตาราง 4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชและความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟตในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
ความเข้มข้นของเฟอร์ริคซัลเฟต	2	382.188	191.094	3.003	0.080
พีเอชของสารละลาย	4	6,056.479	1,514.120	23.790	<0.001
ความเข้มข้น X พีเอช	8	1,361.703	170,213	2.674	0.048
ความแปรปรวนที่เหลือ	15	954.672	63.645		
ความแปรปรวนทั้งหมด	29	8,755.042	301.898		

4.2 <u>ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำโดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม เฟอร์ริคคลอไรด์และเฟอร์ริคซัลเฟต</u> (ดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4)

เป็นการทดลองที่นำสภาวะที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดการกำจัดสารหนูออกจากน้ำที่ได้จากการทดลองที่ 4.1 มาเป็นสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนด์ จะใช้สารส้มเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่พีเอช 8.0 เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนด์ จะใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่พีเอช 7.5 และใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่พีเอช 8.0 เป็นการศึกษาว่าชนิดของโคแอกกูแลนด์ที่เลือกใช้ทั้ง 3 ชนิด นั้น มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูออกจากน้ำแตกต่างกันหรือไม่ ได้ผลดังนี้

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูเมื่อใช้โคแอกกูแลนด์ 3 ชนิด พบว่าเฟอร์ริคซัลเฟต มีประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูได้ดีที่สุด รองลงมาคือเฟอร์ริคคลอไรด์ ส่วนสารส้มจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูได้ต่ำที่สุด จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4.4 ปรากฏว่าชนิดของ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของโคแอกกูแลนต์กับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำ

โคแอกกูแลนต์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$) จึงต้องทดสอบต่อไปว่า โคแอกกูแลนต์ชนิดใดมีความแตกต่างกัน โดยใช้วิธี Multiple Comparison แบบ LSD พบว่าการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูได้มากกว่าสารส้ม และเฟอร์ริคคลอไรด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่$\alpha = 0.05$ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับเฟอร์ริคคลอไรด์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกำจัดสารหนูด้วยโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
Between Groups	2	4,229.043	2,114.521	18.896	<0.001
Within Groups	12	1,342.822	111.901		
ความแปรปรวนทั้งหมด	14	5,571.866			

4.3 <u>ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำในรูปอาร์เซไนต์ (As(III)) และอาร์เซเนต (As (V)) ความเข้มข้นต่างกัน โดยการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด</u> (ดังรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7)

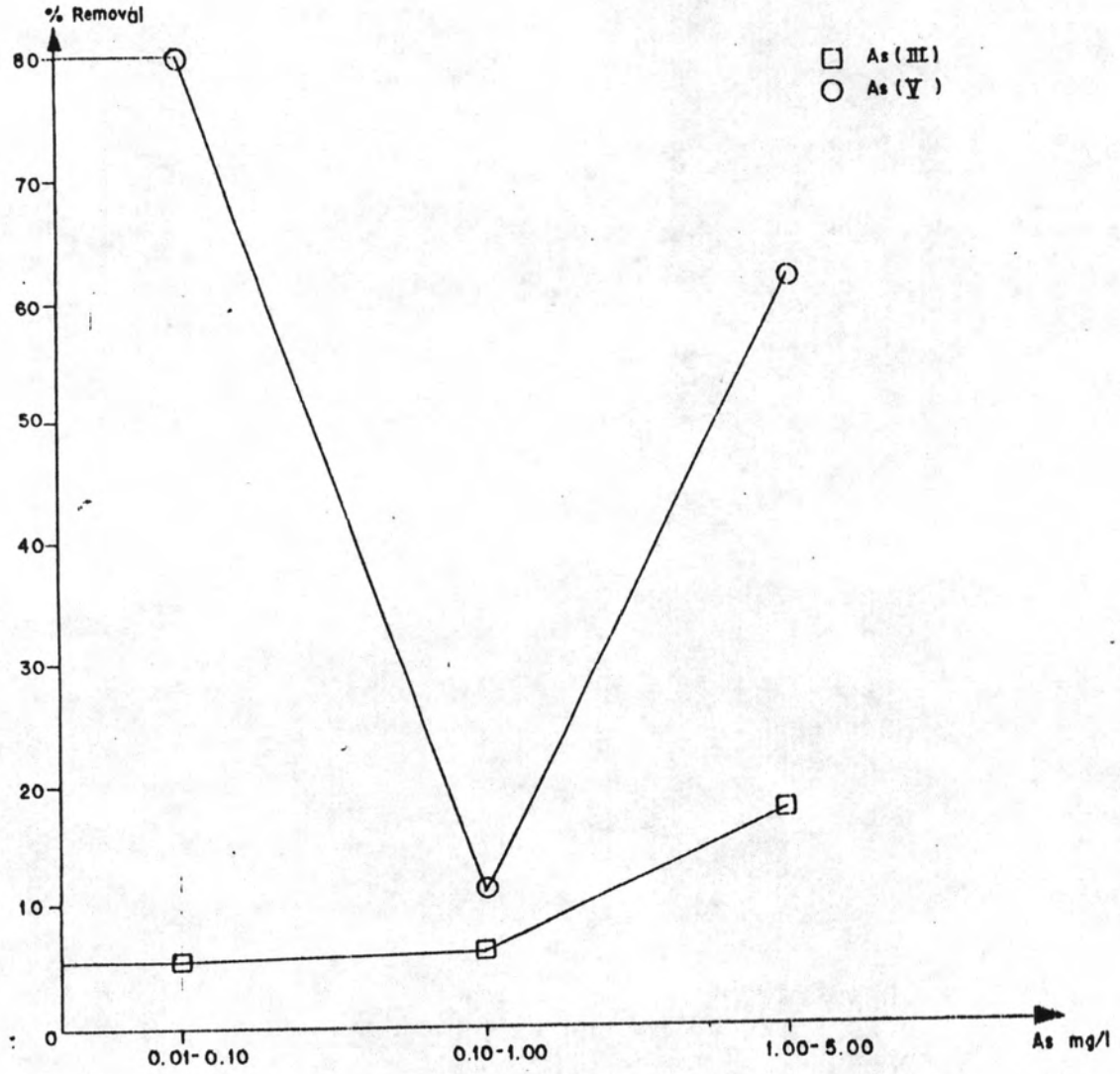
การทดลองนี้กระทำเพื่อศึกษาว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อทดลองใช้สารหนูในรูปอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ ระหว่าง 0.01 - 0.10, 0.10 - 1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร สำหรับสภาวะที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดสภาวะที่มีความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พีเอช 7.5 ทั้ง 3 การทดลองต่อไปนี้ ทดลองโดยใช้สภาวะเช่นเดียวกัน สรุปได้ว่าเมื่อใช้สารส้มและเฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตได้ดีกว่าในรูปอาร์เซไนต์ได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้เฟอร์ริคซัลเฟต จะกำจัดอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์ได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ พบว่า การใช้โคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้นต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรายละเอียด

4.3.1 <u>สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์</u>

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูกับประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์และอาร์เซเนต จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต (As (V)) ได้ดีกว่าในรูปอาร์เซไนต์ (As (III)) และประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารหนูมากขึ้น ส่วนสารหนูในรูปอาร์เซเนต จะกำจัดได้ต่ำที่สุดที่ความเข้มข้นในช่วง 0.10 - 1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสูงที่สุดเมื่อมีสารหนูความเข้มข้นต่ำ

4.3.1.1 รูปของสารหนู

เมื่อทดลองใช้สารหนูในรูป อาร์เซไนต์ (As(III)) และอาร์เซเนต (As(V)) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยที่เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์นั้น จะกำจัดสารหนูในน้ำในรูปอาร์เซเนต (As(V)) ได้ดีกว่าสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ (As(III))



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูในรูป As (III), As (V) กับประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อตกตะกอนด้วยสารส้ม

4.3.1.2 ความเข้มข้นของสารหนู

ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) จึงทดสอบต่อโดยวิธี Multiple Comparison ปรากฏว่าสารหนูที่ความเข้มข้น 0.10 - 1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ถูกกำจัดได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 และ 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $\alpha = 0.05$ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 และ 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.1.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ 4.5 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) จึงนำมาทดสอบต่อโดยวิธี Multiple Comparison ปรากฏผลว่า

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.10 - 1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารหนูในรูปอาร์เซเนตทั้ง 3 ความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารหนูในรูปอาร์เซเนตทั้ง 3 ความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และความเข้มข้น 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

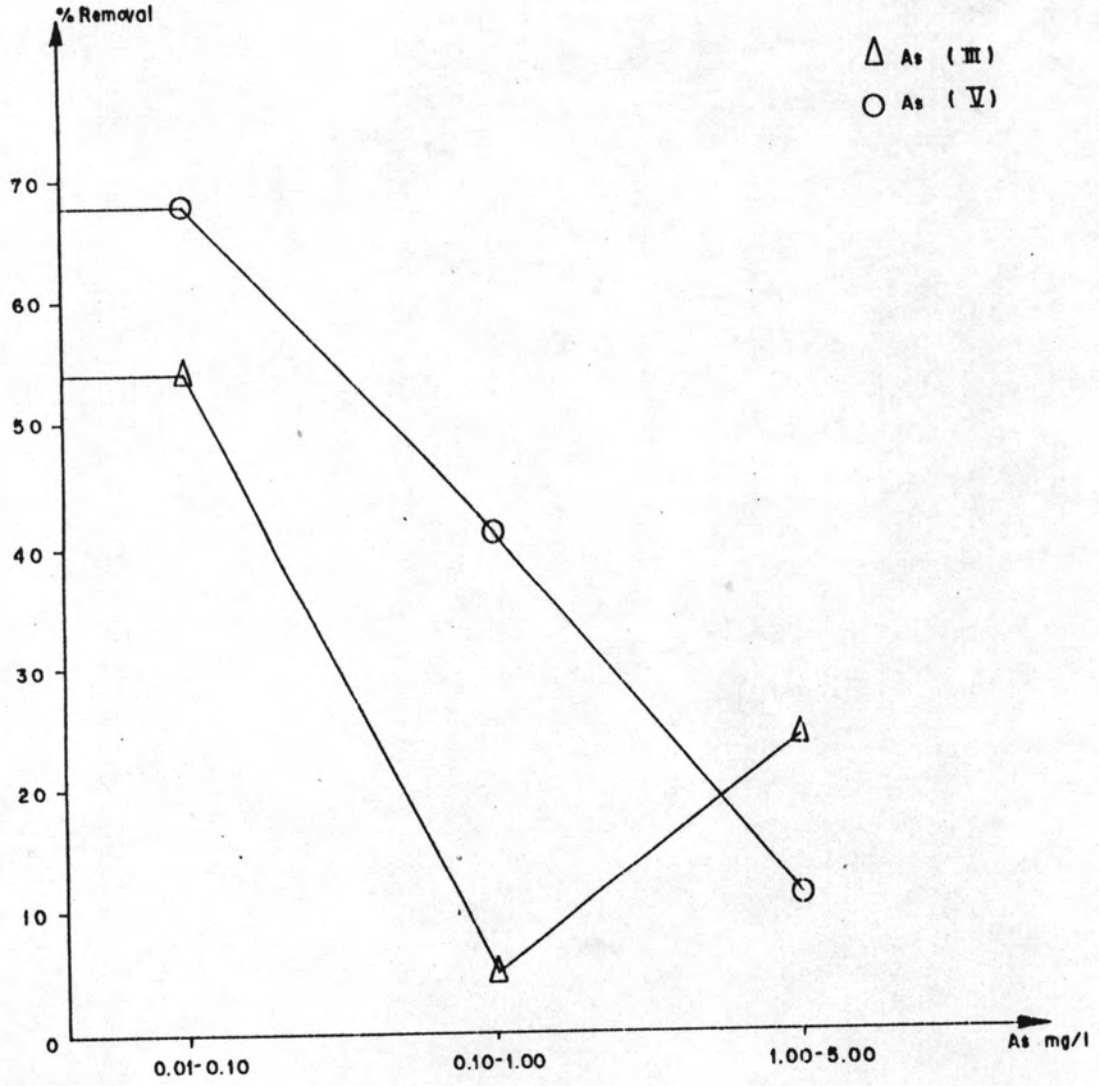
- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ความเข้มข้น 0.10 - 1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กับความเข้มข้น 0.01 - 0.10 และ 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05)

ตาราง 4.5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปและความเข้มข้นสารหนูในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ เมื่อตกตะกอนด้วยสารส้ม

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	P
รูปของสารหนู	1	7,721.516	7,721.516	332.044	<0.001
ความเข้มข้นของสารหนู	2	4,320.931	2,160.465	92.905	<0.001
รูป X ความเข้มข้น	2	3,785.618	1,892.809	81.395	<0.001
ความแปรปรวนที่เหลือ	12	279.054	23.255		
ความแปรปรวนทั้งหมด	17	16,107.119	947.478		

4.3.2 <u>เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์</u>

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนู กับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ และอาร์เซเนต พบว่า เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ กำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ที่ความเข้มข้นต่ำจะกำจัดได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูง ส่วนสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ กำจัดได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นต่ำเช่นเดียวกัน แต่กำจัดได้น้อยที่สุดที่ความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูในรูป As (III), As (V) กับประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อตกตะกอนด้วย เฟอร์ริคคลอไรด์

4.3.2.1 รูปของสารหนู

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตได้ดีกว่าในรูปอาร์เซไนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$)

4.3.2.2 ความเข้มข้นของสารหนู

การใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ จะกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้นต่างกันได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison ปรากฏว่า การกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้น 0.01-0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะกำจัดได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยเฟอร์ริคคลอไรด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.6 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison ที่ $\alpha = 0.05$ ปรากฏผลดังนี้

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสารหนู ในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตทั้ง 3 ความเข้มข้น พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- การกำจัดสารหนู ในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.01 - 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ทั้ง 3 ความเข้มข้น

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เมื่อกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตความเข้มข้น 0.01-0.10 และ 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้นเท่ากัน แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้น 0.01-0.10 และ 0.10-1.00.มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ความเข้มข้น 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ตาราง 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปและความเข้มข้นสารหนูในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
รูปของสารหนู	1	651.244	651.244	41.695	<0.001
ความเข้มข้นของสารหนู	2	6,744.951	3,372.476	215.921	<0.001
รูป X ความเข้มข้น	2	1,807.075	903.537	57.848	<0.001
ความแปรปรวนที่เหลือ	12	187.429	15.619		
ความแปรปรวนทั้งหมด	17	9,390.698	552.394		

4.3.3 เฟอร์ริคซัลเฟต เป็นโคแอกกูแลนต์

จากกราฟรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูในรูปอาร์เซไนต์กับอาร์เซเนต กับประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู เมื่อใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ พบว่า จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อมีสารหนูความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ส่วนการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อมีสารหนูความเข้มข้น 0.01-0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร แล้วประสิทธิภาพจะลดลงตามลำดับเมื่อมีสารหนูเข้มข้นมากขึ้น

4.3.3.1 รูปของสารหนู

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ เพื่อกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์และอาร์เซเนตนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.073$)

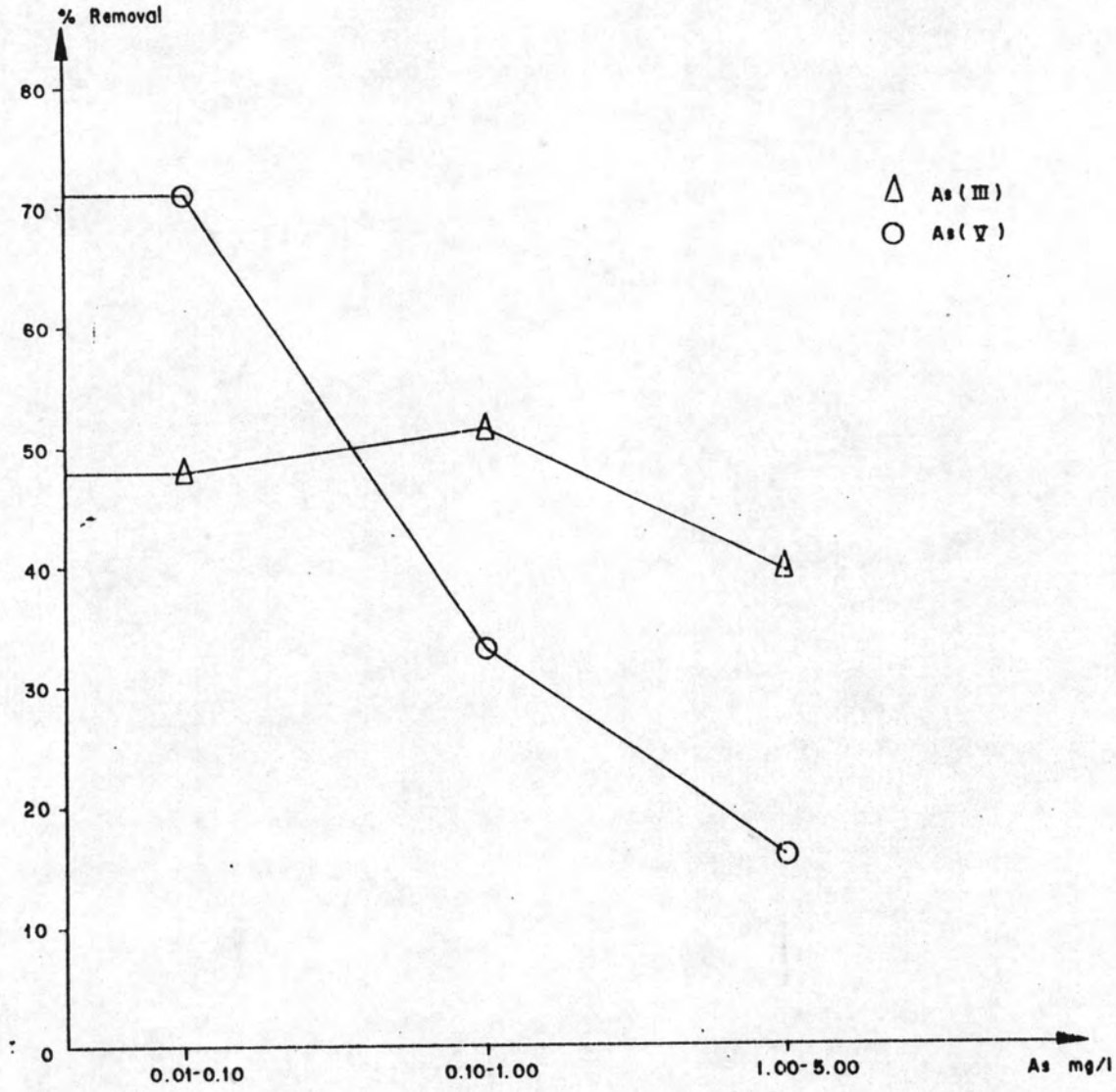
4.3.3.2 ความเข้มข้นของสารหนู

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ เมื่อมีสารหนูความเข้มข้นต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison ปรากฏว่า การกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้น 0.01-0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการกำจัดสารหนูที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารหนูที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดได้ดีกว่าน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

4.3.3.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปและความเข้มข้นของสารหนู ในการกำจัดโดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์นั้น มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) จึงนำข้อมูลมาทดสอบต่อด้วยวิธี Multiple Comparison ปรากฏผลดังนี้

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.01-0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูในรูป As (III), As (V) กับประสิทธิภาพการกำจัดเมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ที่ความเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีประสิทธิภาพดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ที่ความเข้มข้น 0.10-1.00 และ 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ความเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร จะกำจัดออกได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ทั้ง 2 ความเข้มข้น และอาร์เซไนต์ ความเข้มข้น 1.00-5.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ความเข้มข้น 0.01-0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร มีประสิทธิภาพดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ทั้ง 3 ความเข้มข้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ความเข้มข้น 0.10-1.00 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ตาราง 4.7 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปและความเข้มข้นสารหนูในการกำจัดสารหนูออกจากน้ำ เมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
รูปของสารหนู	1	168.056	168.056	3.857	0.073
ความเข้มข้นของสารหนู	2	3,020.815	1,510.407	34.662	<0.001
รูป X ความเข้มข้น	2	1,975.598	987.799	22.669	<0.001
ความแปรปรวนที่เหลือ	12	522.899	43.575		
ความแปรปรวนทั้งหมด	17	5,687.368	334.551		

4.4 <u>ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด</u> (ดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.8, 4.8.1, 4.8.2, 4.9, 4.9.1, 4.9.2, 4.10, 4.10.1, 4.10.2)

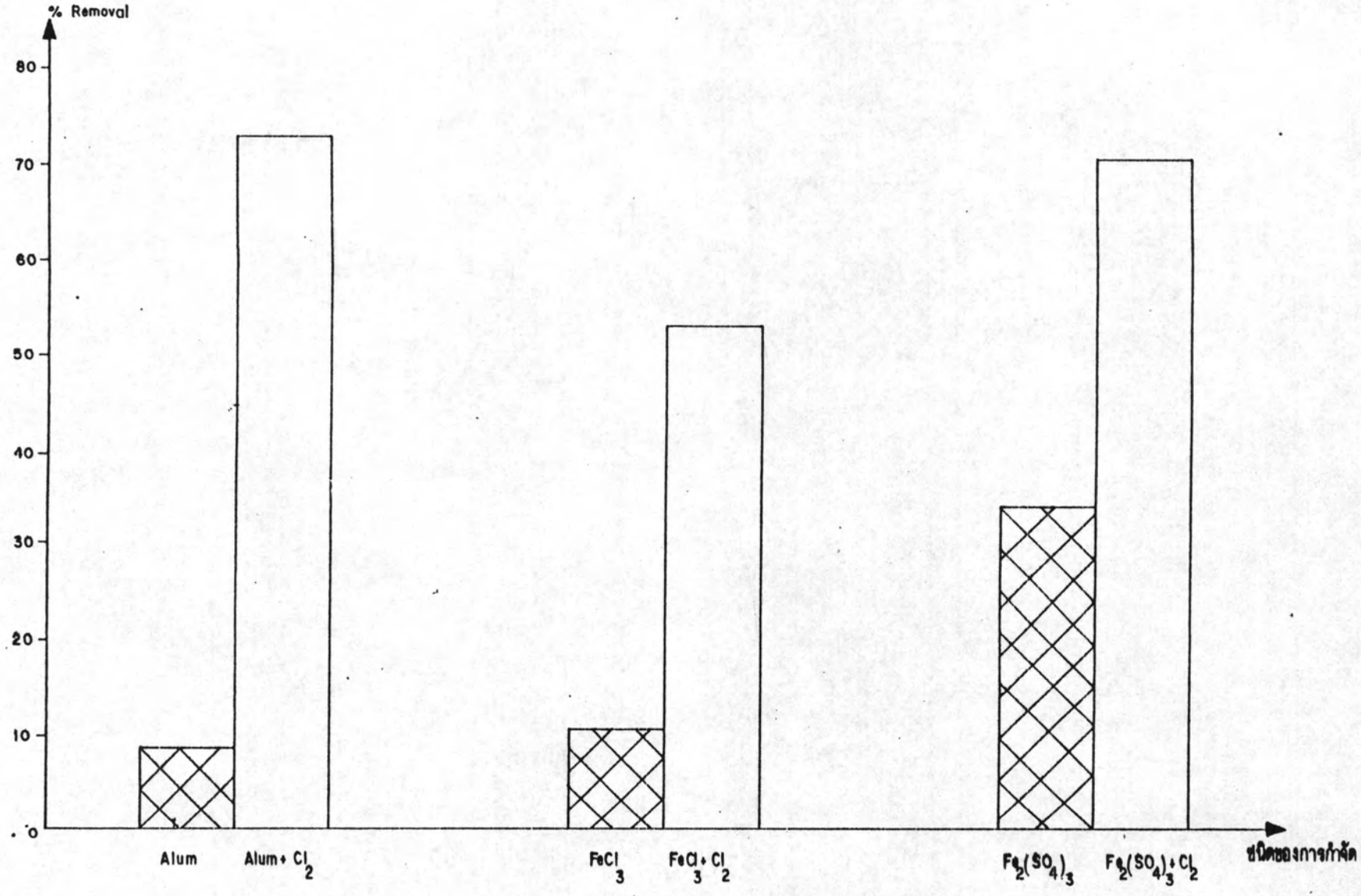
การทดลองนี้ เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าการเติมและไม่เติมคลอรีนก่อนแล้วตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ (สารส้ม, เฟอร์ริคคลอไรด์, เฟอร์ริคซัลเฟต) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูออกจากน้ำหรือไม่ กำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ที่พีเอช 7.0 และ ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร สรุปได้ว่า เมื่อเติมคลอรีนก่อน แล้วจึงตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ จะมีความสามารถในการกำจัดสารหนูได้ดีกว่า การตกตะกอนเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังรายละเอียดและแสดงในกราฟรูปที่ 4.8

4.4.1 <u>การตกตะกอนด้วยสารส้ม</u>

จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วย t-test ดังตารางที่ 4.8 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.130$) ดังตารางที่ 4.8.1 จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อโดยใช้ Pooled Variance ดังตารางที่ 4.8.2 แสดงให้เห็นว่า การเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม จะสามารถกำจัดสารหนูได้ดีกว่าการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตารางที่ 4.8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ของการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยสารส้ม

กลุ่มข้อมูล	n	mean	Standard Deviation	Standard Error
ไม่เติมคลอรีน	30	8.812	10.49	1.91
เติมคลอรีน	30	73.225	13.96	2.54



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูโดยการตกตะกอน และการเติมคลอรีนร่วมกับการตกตะกอนของโคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ

ตาราง 4.8.1 ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวน

F Value	2 - Tail Prob.
1.17	0.130

ตาราง 4.8.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Pooled Variance

t Value	df	p
- 20.20	58	<0.001

4.4.2 <u>การตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์</u>

จากตารางที่ 4.9 เป็นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วย t-test เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ดังตารางที่ 4.9.1 แล้วจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อโดยใช้ Separated Variance Estimate ดังตารางที่ 4.9.2 พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูระหว่างการเติมและไม่เติมคลอรีน โดยการเติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ จะกำจัดสารหนูได้ดีกว่าการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ($p <0.001$)

ตารางที่ 4.9 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ของการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์

กลุ่มข้อมูล	n	mean	Standard Deviation	Standard Error
ไม่เติมคลอรีน	30	10.883	5.59	1.02
เติมคลอรีน	30	53.410	13.60	2.48

ตาราง 4.9.1 ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวน

F Value	2 - Tail Prob.
5.90	< 0.001

ตาราง 4.9.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Separated Variance

t Value	df	p
- 15.84	38.55	<0.001

4.4.3 <u>การตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต</u>

จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วย t-test ดังตารางที่ 4.10 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ดังแสดงในตารางที่ 4.10.1 แล้วจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อโดยใช้ Separated Variance Estimate ดังแสดงในตารางที่ 4.10.2 พบว่าการกำจัดสารหนูโดยการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p <0.001$)

ตารางที่ 4.10 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ของการกำจัดสารหนูโดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

กลุ่มข้อมูล	n	mean	Standard Deviation	Standard Error
ไม่เติมคลอรีน	30	30.450	14.37	2.62
เติมคลอรีน	30	71.324	6.29	1.15

ตาราง 4.10.1 ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวน

F Value	2 - Tail Prob.
5.21	< 0.001

ตาราง 4.10.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Separated Variance

t Value	df	P
- 14.24	39.74	<0.001

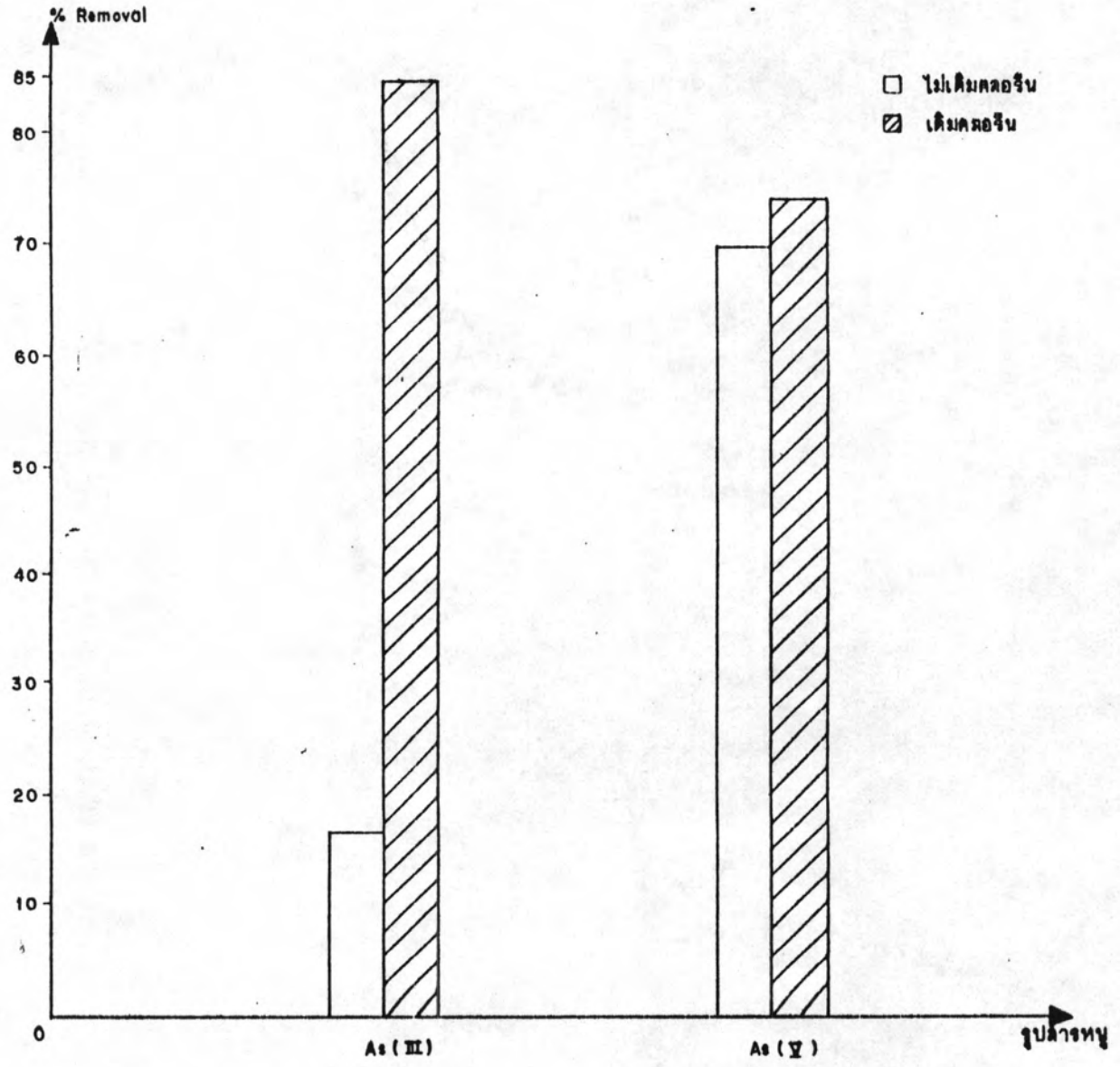
4.5 <u>ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ และอาร์เซเนต โดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด</u> (ดังรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11, และตารางที่ 4.11, 4.12, 4.13)

การทดลองนี้เป็นการทดลอง เพื่อศึกษาการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ และอาร์เซเนต โดยการเติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ เปรียบเทียบกับการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียว การทดลองนี้ใช้สภาวะที่กำจัดสารหนูเฉลี่ยมากที่สุดจากการทดลองที่ 4.1 ดังนี้ เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ จะปรับให้สารละลายมีพีเอช 8.0 และสารส้มมีความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปรับให้สารละลายมีพีเอช 7.5 และใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปรับให้สารละลายมีพีเอช 8.0

สรุปผลการทดลองได้ว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์และอาร์เซเนต โดยการเติมคลอรีน แล้วจึงตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้ง 3 ชนิด นั้น จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ดังรายละเอียด

4.5.1 <u>การตกตะกอนด้วยสารส้ม</u>

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต โดยการตกตะกอนด้วยสารส้มจะมีประสิทธิภาพดีกว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ และเมื่อเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูทั้ง 2 รูป แต่การเติมคลอรีนเมื่อกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตนั้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูกับประสิทธิภาพการกำจัด
โดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยสารส้ม

4.5.1.1 รูปของสารหนู

จากตารางที่ 4.11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์ พบว่าเมื่อตกตะกอนด้วยสารส้ม โดยการเติมและไม่เติมคลอรีนก่อนนั้น มีผลให้การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต ได้ดีกว่าอาร์เซไนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$)

4.5.1.2 การเติมคลอรีน

จากตาราง 4.11 เมื่อพิจารณาว่าการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม กับการตกตะกอนด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว พบว่า เมื่อมีการออกซิไดส์ด้วยคลอรีนก่อนแล้วตกตะกอน จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู เมื่อเปรียบเทียบกับ การตกตะกอนอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$)

4.5.1.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูและการเติมและไม่เติมคลอรีน

จากตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูและการเติมและไม่เติมคลอรีนพบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ดังนี้

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนและอาร์เซเนตที่ตกตะกอนด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ที่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม จะมีประสิทธิภาพดีกว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่เติมและไม่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม
- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ที่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยสารส้ม จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

ตาราง 4.11 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปสารหนูและการเติมคลอรีน เมื่อตกตะกอนด้วยสารส้ม

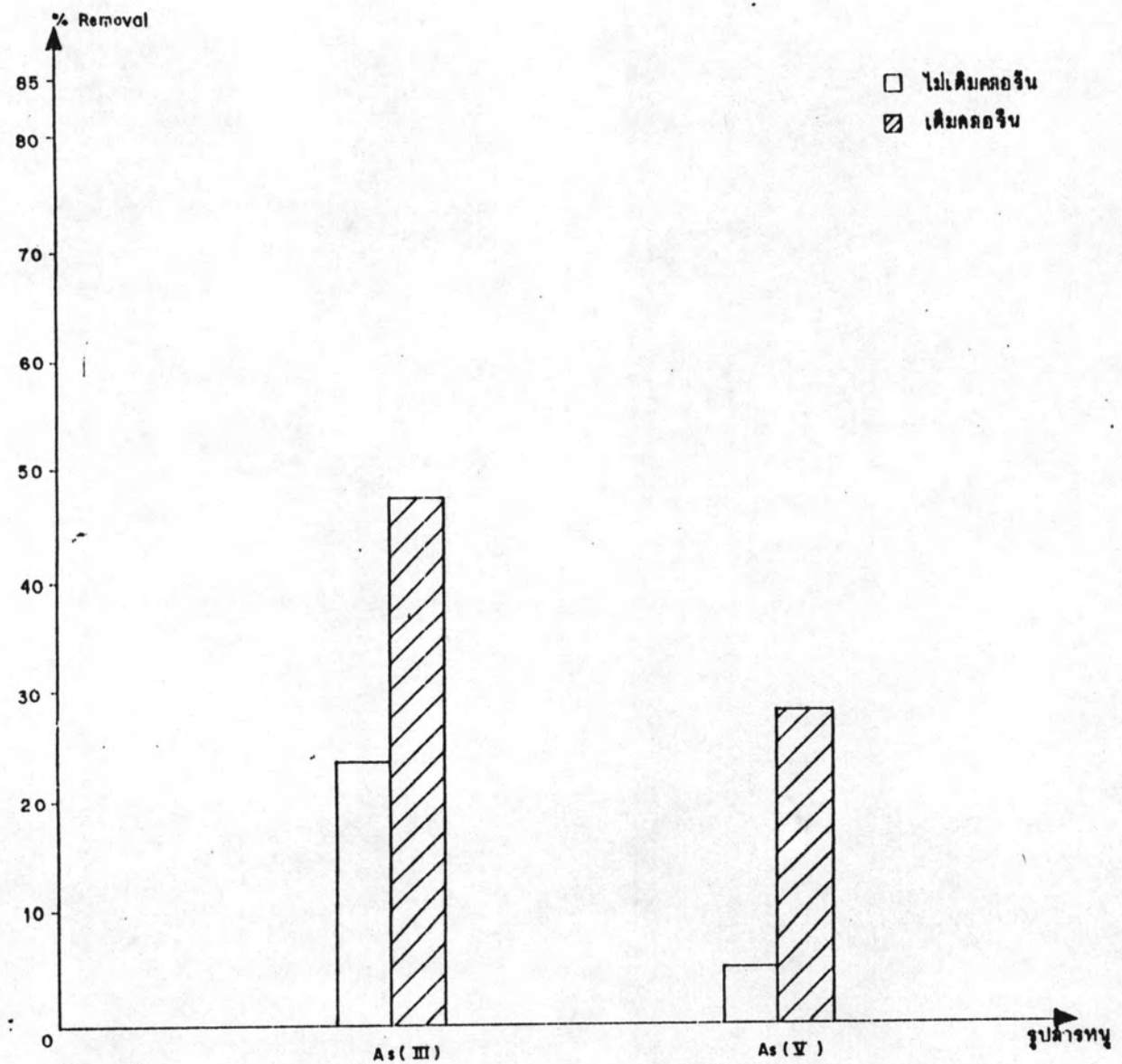
Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
รูปของสารหนู	1	1,305.419	1,305.419	104.772	<0.001
การเติมคลอรีน	1	3,872.895	3,872.895	310.836	<0.001
รูปสารหนูxการเติมคลอรีน	1	3,080.326	3,080.326	247.225	<0.001
ความแปรปรวนที่เหลือ	8	99.677	12.460		
ความแปรปรวนทั้งหมด	11	8,358.316	759.847		

4.5.2 <u>การตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์</u>

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์เพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพดีกว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต และการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูทั้งในรูปอาร์เซไนต์และอาร์เซเนต

4.5.2.1 รูปของสารหนู

จากตารางที่ 4.12 เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแตกต่างในการกำจัดสารหนูด้วยเงื่อนไขต่างๆ เมื่อพิจารณาถึงสารหนูในรูปอาร์เซไนต์และอาร์เซเนต จะพบว่าเมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ได้ดีกว่าในรูปอาร์เซเนตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.001$)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูกับประสิทธิภาพการกำจัด
โดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์

4.5.2.2 การเติมและไม่เติมคลอรีน

จากตารางที่ 4.12 เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู โดยการเติมและไม่เติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ พบว่าการเติมคลอรีนก่อนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

4.5.2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูและการเติมหรือไม่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอน

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนู และการเติมหรือไม่เติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.875$)

ตาราง 4.12 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปสารหนูและการเติมคลอรีนเมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
รูปของสารหนู	1	1,073.521	1,073.521	24.137	0.001
การเติมคลอรีน	1	1,666.635	1,666.635	37.473	<0.001
รูปสารหนูxการเติมคลอรีน	1	1.178	1.178	0.026	0.875
ความแปรปรวนที่เหลือ	8	355.805	44.476		
ความแปรปรวนทั้งหมด	11	3,097.139	281.558		

4.5.3 การตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารหนู โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตนั้น จะกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ ได้ดีกว่าในรูปอาร์เซเนต และการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูทั้งในรูปอาร์เซไนต์ และอาร์เซเนต

4.5.3.1 รูปของสารหนู

จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

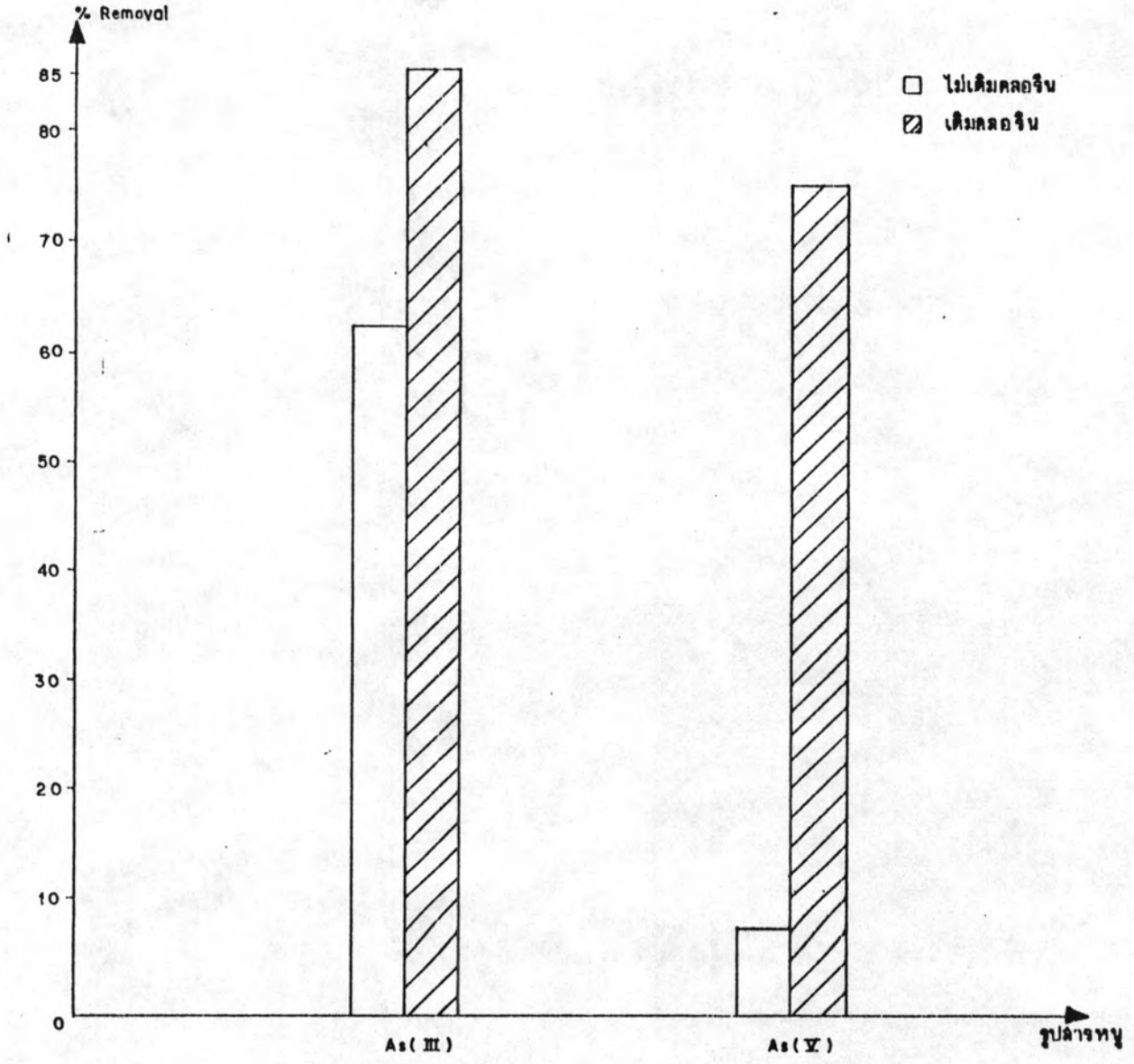
4.5.3.2 การเติมหรือไม่เติมคลอรีน

จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาถึงการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) เมื่อเปรียบเทียบกับการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

4.5.3.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูและการเติมหรือไม่เติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอน

เมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูและการเติมหรือไม่เติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารหนู มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ดังตารางที่ 4.13 จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อ โดยวิธี Multiple Comparison ที่ $\alpha = 0.05$ พบว่า

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ และอาร์เซเนตที่มีการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต
- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าการกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต โดยการตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟตเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปของสารหนูกับประสิทธิภาพการกำจัด โดยการเติมและไม่เติมคลอรีน แล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซไนต์ โดยการเติมคลอรีนแล้วจึงตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่า การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนตที่ตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และการเติมคลอรีนก่อนแล้วจึงตกตะกอน

- การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซเนต โดยการเติมคลอรีนแล้วตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต จะมีประสิทธิภาพดีกว่าในการกำจัดอาร์เซเนตโดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

ตาราง 4.13 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปสารหนูและการเติมคลอรีนเมื่อตกตะกอนด้วยเฟอร์ริคซัลเฟต

Source of Variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	p
รูปของสารหนู	1	3,288.154	3,288.154	1,203.211	<0.001
การเติมคลอรีน	1	6,262.728	6,262.728	2,291.675	<0.001
รูปสารหนูxการเติมคลอรีน	1	1,539.068	1,539.068	563.180	<0.001
ความแปรปรวนที่เหลือ	8	21.863	2.733		
ความแปรปรวนทั้งหมด	11	11,111.812	1,010.165		

4.6 ผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารหนูในน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำต่างๆ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม เฟอร์ริคคลอไรด์ และเฟอร์ริคซัลเฟต หรือการออกซิไดส์ด้วยคลอรีนร่วมกับการตกตะกอนด้วยโคแอกกูแลนต์ทั้งสามชนิด

การทดลองนี้เป็นการนำน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนตามน้ำธรรมชาติมาทดลองกำจัดโดยวิธีการตกตะกอน และการออกซิเดชั่นร่วมกับการตกตะกอน ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดลองเป็นตัวอย่างจากอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงรายละเอียดตัวอย่างน้ำและปริมาณสารหนูที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

ตัวอย่าง	รายละเอียด	ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)
1	น้ำจากเหมืองวัดจีบ อ.ร่อนพิบูลย์	0.96
2	น้ำจากหลุมเหมืองร้าง อ.ร่อนพิบูลย์	0.63
3	น้ำจากบ่อน้ำสาธารณะ อ.ร่อนพิบูลย์	1.1
4	น้ำจากห้วยร่อนนา อ.ร่อนพิบูลย์	0.81

การทดลองนี้เป็นประยุกต์ผลการศึกษาน้ำสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มาทดลองกับน้ำที่มีการปนเปื้อนสารหนูตามธรรมชาติว่า สามารถกำจัดสารหนูได้มากน้อยเพียงใด โดยกำหนดให้น้ำที่ปรับคุณภาพแล้วมีพีเอชระหว่าง 6.5 - 8.0 และใช้สารส้มเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เฟอร์ริคซัลเฟตและเฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ เพียงอย่างเดียวกำจัดสารหนูจากน้ำเหมือง ที่มีสารหนูเข้มข้น 0.96 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดได้เพียง 16.7 เปอร์เซนต์ แต่เมื่อทดลองกับน้ำบ่อซึ่งมีสารหนู 1.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่ากำจัดได้ถึง 31.8 เปอร์เซนต์ และการเติมคลอรีนก่อนตกตะกอนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดได้จากการทดสอบกับน้ำจากหลุมเหมืองร้างที่มีสารหนู 0.63 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร กำจัดได้ 30.1 และ 42.0 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

2. ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ กำจัดสารหนูจากน้ำเหมืองที่มีสารหนูเข้มข้น 0.96 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่ากำจัดได้ถึง 89.1 เปอร์เซนต์ และเมื่อเติมคลอรีนก่อนตกตะกอนจะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นเป็น 91.4 เปอร์เซนต์

3. ใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นโคแอกกูแลนต์ กำจัดสารหนูได้มาก ทั้งการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว หรือจากการเติมคลอรีนร่วมด้วย จนมีปริมาณสารหนูต่ำกว่ามาตรฐาน (0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร) จากการทดสอบกับน้ำห้วยร่อนมา โดยใช้เฟอร์ริคซัลเฟตอย่างเดียวกำจัดได้ 94.7 เปอร์เซนต์ (จากสารหนูเริ่มต้น 0.81 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร) และการเติมคลอรีนจะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเพียงเล็กน้อยจากการทดสอบกับน้ำบ่อที่มีสารหนู 1.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อใช้เฟอร์ริคซัลเฟตจะกำจัดได้ 96.4 เปอร์เซนต์ และเมื่อเติมคลอรีนร่วมกับเฟอร์ริคซัลเฟตจะกำจัดได้ 96.6 เปอร์เซนต์