



บทที่ ๕

สรุปผลการทดลอง และขอเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

๑. สำหรับสรุปผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ในการขจัดกากกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๑ ซึ่งจะแยกพิจารณาสำหรับกากกัมมันตรังสีแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

ก. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ก. ในตารางที่ ๕.๑ นั้น หมายถึง กากกัมมันตรังสีเทียมจากข้อ ๕.๑ จากตารางนี้ จะเห็นได้ว่าชุดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการขจัดรังสีสูงสุดได้แก่ สารส้ม โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมเรียม คลอไรด์ ซึ่งให้ค่า D.F. สูงถึง ๒๒.๕๑ และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการตกตะกอนในเวลาเท่ากันทั้ง ๓ ชุดแล้ว ชุดนี้ยังตกได้เร็วที่สุดด้วย ส่วนอิทธิพลของโคแอกกูแลนต์ เอค คือ ออร์กาโทท์ และเซพาราน นั้น นับว่ามีส่วนช่วยในการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนได้ดีมาก ส่วนปริมาณที่ใช้ขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วจะใช้ปริมาณของออร์กาโทท์น้อยกว่าปริมาณของเซพาราน สำหรับค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการขจัดนั้น แต่ละชุดของสารเคมี มีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้

ข. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ข. ในตาราง ๕.๑ นั้น หมายถึง กากกัมมันตรังสีเทียมในข้อ ๕.๒ ซึ่งในตอนแรกได้ทำการทดลองวัดปริมาณรังสีอัลฟาของกากกัมมันตรังสีชนิดที่เป็นของเหลวในการสกัดทางเคมีของแรมโมนาโซท์ แต่ไม่สามารถวัดได้ ดังในตารางที่ ๕.๑ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไม่มีสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีอัลฟาที่จะทำการขจัด

ต่อมาได้ทำการทดลองเติมสารละลายมาตรฐาน เรเดียม - ๒๒๖ ลงไปจนมีความแรงรังสี ๑๐๘๖๖.๖๘ พิโคคูรีต่อลิตร ก็ยังไม่สามารถวัดได้ดังในตารางที่ ๕.๔ แสดงให้เห็นถึงการกำบังรังสีอัลฟาของเกลือโซเดียม คลอไรด์ ที่เกิดจากการนำเอากากของเหลวไประเหยให้แห้งด้วยหลอดไฟอินฟราเรด ทำให้วัดไม่ได้ ดังนั้นในการทดลองเพื่อหาปริมาณของสารละลายมาตรฐาน เรเดียม - ๒๒๖ ที่จะใช้เติมลงไป ในกากของเหลวเพื่อให้สามารถวัดรังสีได้โดยไม่ถูกกำบังรังสีจากเกลือโซเดียม คลอไรด์ ดังในตารางที่ ๕.๔ ซึ่งจากตารางนี้จึงได้เลือกเติมสารละลายมาตรฐาน เรเดียม - ๒๒๖ ลงไปในกากของเหลวโดยให้ความแรงรังสี ๑๐๘๖๖.๖๘ พิโคคูรีต่อลิตร และได้ทำการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมกับชุดของสารเคมี คือ สารส้ม กรดซัลฟูริก และแบเรียมคลอไรด์ ดังที่ได้สรุปผลไว้ในตารางที่ ๕.๑ นี้ ซึ่งให้ค่า D.F. เท่ากับ ๑๐.๒๕ ส่วนค่า pH ที่เหมาะสมเท่ากับ ๕.๕ ส่วนการใช้โคแอกกูแลนต์ เอค นั้น ผลปรากฏว่าไม่ช่วยให้เกิดการตกตะกอนเร็วขึ้นเลย ดังในตารางที่ ๕.๑๑ และเนื่องจากปริมาณของกากของเหลวมีไม่พอเพียงที่จะทดลองกับชุดของสารเคมีอื่น ๆ จึงได้ทดลองเพียงชุดเดียว

ค. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ก. ในตารางที่ ๕.๑ นั้น หมายถึงกากกัมมันตรังสีเทียมในข้อ ๕.๓ ชุดที่มีประสิทธิภาพในการขจัดสูงสุดได้แก่ ชุดที่ใช้ สารส้ม กรดซัลฟูริก เหล็ก (III) คลอไรด์ และแบเรียม คลอไรด์ โดยให้ค่า D.F. เท่ากับ ๒๐.๐๖ และ pH ที่เหมาะสมเท่ากับ ๕.๕ และจะเห็นได้ว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับชุดของสารเคมีต่าง ๆ ที่เลือกมาใช้นั้นมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง ๕.๕ - ๖.๐ ซึ่งแสดงว่าเมื่อเติมเหล็ก (III) คลอไรด์ลงไป จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดรังสีให้สูงขึ้นมาก ส่วนการใช้โคแอกกูแลนต์ เอค นั้น

ปรากฏว่า ทั้งออร์กาไทท์ และเซพาราน ใช้ปริมาณเท่ากันทั้ง ๔ ชุด แสดงว่ามีส่วนช่วยในการตกตะกอนได้เท่ากัน และเมื่อเทียบความเร็วในการตกตะกอนก็มีค่าใกล้เคียงกันด้วย

ง. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ง. ในตารางที่ ๕.๑ นั้น หมายถึง กากกัมมันตรังสีในข้อ ๕.๕ ซึ่งกากของเหลวชุดนี้เป็นชุดเดียวที่มีปริมาณรังสีอัลฟาสูง สามารถวัดได้โดยไม่ต้องเติมสารกัมมันตรังสีลงไป สำหรับชุดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการขจัดสูงสุดได้แก่ สารส้ม โซเดียม ไฮดรอกไซด์ และแบริยม คลอไรด์ และมีค่า D.F. เท่ากับ ๒๐.๑ ส่วน pH ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ ๕.๕ ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับชุดของสารเคมีที่นำมาใช้ทั้ง ๔ ชุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันคือ ๕.๕ - ๖.๐ สำหรับการใส่โคแอกกูเลชัน เอด ทั้งออร์กาไทท์ และเซพาราน ก็ใช้ปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ชุดที่ใช้ สารส้ม คัลเซียม ไฮดรอกไซด์ และแบริยม คลอไรด์นั้นจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงสุด ส่วนค่า D.F. มีค่าเท่ากับ ๑๖.๑๕ ต่ำกว่าชุดที่ดีที่สุดไม่มากนัก

๒. ค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ในการขจัดกากกัมมันตรังสีนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๕.๒ ซึ่งคิดเป็นราคาต่อกากของเหลว ๑ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะแยกพิจารณาสำหรับกากกัมมันตรังสีแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

ก. สำหรับกากของเหลวชนิด ก. จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นกับชนิดของด่างที่ใช้ เนื่องจากคัลเซียมไฮดรอกไซด์ มีราคาถูกที่สุด ดังนั้นชุดที่ใช้คัลเซียม ไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยปรับ pH จะมีความราคาถูกที่สุด และเมื่อเทียบกับชุดที่มีโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ปรากฏว่าค่า D.F. ก็ไม่ต่างกันมากนัก สรุปได้ว่าเมื่อคำนึงถึงราคา และประสิทธิภาพในการขจัดรังสีแล้ว ควรเลือกชุดที่ใช้ สารส้ม คัลเซียม ไฮดรอกไซด์ และ แบริยม คลอไรด์

ข. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ข. เนื่องจากได้ทำการทดลองเพียงชุดเดียว จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบราคาได้

ค. สำหรับกากกัมมันตรังสีชนิด ค. ชุดที่ใช้กรดซัลฟูริก ปรับค่า pH จะมีประสิทธิภาพในการขจัดรังสีสูงกว่าชุดที่ใช้กรดไนตริก และยังมีราคาถูกกว่าอีกด้วย ส่วนเหล็ก (III) คลอไรด์นั้น มีส่วนช่วยเพิ่มค่า D.F. ได้มาก จึงสรุปได้ว่า ควรจะเลือกใช้ชุดของ สารส้ม กรดซัลฟูริก เหล็ก (III) คลอไรด์ และแบเรียม คลอไรด์ ในการขจัดกากกัมมันตรังสีชนิดนี้

ง. สำหรับกากของเหลวชนิด ง. คล้ายกับกากของเหลวชนิด ก. แต่แตกต่างกันในค่าราคา ตามชนิดของด่างที่ใช้ สรุปได้ว่า ชุดที่ใช้ สารส้ม คัลเซียม ไฮดรอกไซด์ แบเรียม คลอไรด์ นั้น เหมาะสมที่สุดที่จะเลือกใช้ เนื่องจากมีค่า D.F. ต่างกับชุดที่ดีที่สุดไม่มากนัก แต่ราคาถูกกว่าชุดอื่น ๆ มาก

ข้อเสนอแนะ

๑. กากกัมมันตรังสีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่ทำเทียมขึ้นมา ในการขจัดกากกัมมันตรังสีจริง ๆ แล้ว สารเคมีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ข้อมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของกากกัมมันตรังสีชนิดนั้น ๆ ดังนั้น ควรจะใช้วิธีการทดลองด้วยจาร์ เทส เพื่อให้ได้ปริมาณ และชนิดของสารเคมีที่แท้จริง

๒. ควรจะได้มีการทดลองใช้ โคแอกกูแลนท์ เอค ให้มากขึ้นกว่าเดิม เพราะว่าแต่ละชนิดอาจจะเหมาะสมสำหรับกากกัมมันตรังสีแต่ละอย่าง แตกต่างกันไป

๓. ควรจะได้มีการศึกษาการขจัดกากกัมมันตรังสีของพลูโตเนียมในน้ำทิ้ง

ตารางที่ 5.1

สรุปผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีต่าง ๆ ในการ
ขจัดกากกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	ความ เข้มข้น (ppm)	ออร์กาไนท์ (ppm)	เซพาราน (ppm)	pH		ประสิทธิภาพการ ขจัดรังสี		%ตะกอน
					ก่อน	หลัง	%การขจัด	D.F	
ก	สารส้ม	200							
	NaOH	600			3.85	8.90	95.53	22.41	80
	BaCl ₂	700	6	-					24
			-	10					34
ก	สารส้ม	200							
	Na ₂ CO ₃	800			3.85	5.60	88.26	8.52	90
	BaCl ₂	700	6	-					84
			-	12					50
ก	สารส้ม	200							
	Ca(OH) ₂	0.5 (กรัม)			3.85	7.40	95.25	21.07	86
	BaCl ₂	700	8	-					24
			-	8					24

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	ความ เข้มข้น (ppm)	ออร์กาไนท์ (ppm)	เซพาราน (ppm)	pH		ประสิทธิภาพการ ขจัด		%ตะกอน
					ก่อน	หลัง	%การขจัด	D.F.	
ข	สารส้ม	200							
	H ₂ SO ₄	400			11.5	5.5	90.24	10.25	2.1
	BaCl ₂	500							
ค	สารส้ม	200							
	H ₂ SO ₄	100			7.0	5.5	81.95	5.54	4.0
	BaCl ₂	100	2	-					1.3
			-	2					1.3
ค	สารส้ม	200							
	HNO ₃	200			7.0	6.0	87.0	7.69	5.0
	BaCl ₂	100	2	-					1.4
			-	2					1.4
ค	สารส้ม	100							
	H ₂ SO ₄	100			7.0	5.5	95.01	20.06	8.0
	FeCl ₃	100							
	BaCl ₂	100	2	-					5.2
			-	2					5.2

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	ความ เข้มข้น (ppm)	ออร์กาไนท์ (ppm)	เซพาราน (ppm)	pH		ประสิทธิภาพการ กำจัดรังสี		% ตะกอน
					ก่อน	หลัง	%การ กำจัด	D.F.	
ค	สารส้ม	200							
	HNO ₃	200			7.0	6.0	94.65	18.70	6.1
	FeCl ₃	100							
	BaCl ₂	100							
			2	-					5.0
			-	2					5.0
ง	สารส้ม	200							
	NaOH	2400			<1	5.5	95.02	20.1	80.0
	BaCl ₂	300							
				5	-				
			-	5					60.0
จ	สารส้ม	200							
	Na ₂ CO ₃	2700			<1	6.0	81.23	5.33	80.0
	BaCl ₂	300							
				5	-				
			-	5					50.0

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	ความ เข้มข้น (ppm)	ออร์กาไนท์ (ppm)	เซพาราน (ppm)	pH		ประสิทธิภาพการ ขจัดรังสี		% ตะกอน
					ก่อน	หลัง	%การ ขจัด	D.F.	
ง	สารส้ม	200							
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	2.0 (กรัม)			<1	6.0	93.80	16.15	60.0
	BaCl_2	300	3	-					40.0
			-	5					40.0
ง	NaOH	1600							
	Na_3PO_4	500			<1	6.0	94.28	17.5	70.0
	BaCl_2	300	3	-					56.0
			-	5					50.0

หมายเหตุ

- ก หมายถึง กากกัมมันตรังสีเทียม จากผลการทดลองในข้อ 4.1
- ข หมายถึง กากกัมมันตรังสีเทียม จากผลการทดลองในข้อ 4.2.2
- ค หมายถึง กากกัมมันตรังสีเทียม จากผลการทดลองในข้อ 4.3
- ง หมายถึง กากกัมมันตรังสี จากผลการทดลองในข้อ 4.4

ตารางที่ 5.2

สรุปค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ในการขจัดกากกัมมันตรังสี
ชนิดต่าง ๆ โดยคิดเป็นราคาสารเคมีต่อกากของเหลว 1 ลูกบาศก์เมตร

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กก. (บาท)	รวม (บาท)	ราคาต่อ:ม ^๓ (บาท)
ก	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	50.00
	NaOH	1.2	15.00	18.00	
	BaCl ₂	1.4	20.00	28.00	
	ออร์กาไทท์	0.012	220.00	2.64	
	* เซฟาราน	0.02	-	-	
ก	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	41.60
	Na ₂ CO ₃	1.6	6.00	9.60	
	BaCl ₂	1.4	20.00	28.00	
	ออร์กาไทท์	0.012	220.00	2.64	
	* เซฟาราน	0.024	-	-	
ก	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	36.38
	Ca(OH) ₂	1.0	3.50	3.50	
	BaCl ₂	1.4	20.00	28.00	
	ออร์กาไทท์	0.016	220.00	3.52	
	* เซฟาราน	0.016	-	-	

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กก. (บาท)	รวม (บาท)	ราคาต่อ ๓ ^๓ (บาท)
ข	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	
	H ₂ SO ₄	0.832	7.00	5.82	
	BaCl ₂	1.0	20.00	20.00	27.18
ค	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	
	H ₂ SO ₄	0.208	7.00	1.46	
	BaCl ₂	0.2	20.00	4.00	
	ออร์กาไทท์	0.004	220.00	0.88	7.70
	* เซพาราน	0.004	-	-	-
ค	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	
	HNO ₃	0.288	14.00	4.03	
	BaCl ₂	0.2	20.00	4.00	
	ออร์กาไทท์	0.004	220.00	0.88	10.27
	* เซพาราน	0.004	-	-	-
ค	สารส้ม	0.2	3.40	0.68	
	H ₂ SO ₄	0.208	7.00	1.46	
	FeCl ₃	0.2	15.00	3.00	
	BaCl ₂	0.2	20.00	4.00	
	ออร์กาไทท์	0.004	220.00	0.88	10.02
	* เซพาราน	0.004	-	-	-

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

กาก ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กก. (บาท)	รวม (บาท)	ราคาต่อ ม ^๓ (บาท)
ค	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	17.30
	HNO ₃	0.576	14.00	8.06	
	FeCl ₃	0.2	15.00	3.00	
	BaCl ₂	0.2	20.00	4.00	
	ออร์กาไทท์	0.004	220.00	0.88	
	* เชพาราน	0.004	-	-	-
ง	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	87.56
	NaOH	4.8	15.00	72.00	
	BaCl ₂	0.6	20.00	12.00	
	ออร์กาไทท์	0.01	220.00	2.20	
		* เชพาราน	0.01	-	
จ	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	47.96
	Na ₂ CO ₃	5.4	6.00	32.40	
	BaCl ₂	0.6	20.00	12.00	
	ออร์กาไทท์	0.01	220.00	2.20	
		* เชพาราน	0.01	-	

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ภาค ของเหลว	ชนิดของ สารเคมี	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กก. (บาท)	รวม (บาท)	ราคาต่อ ลบ.ม. (บาท)
ง	สารส้ม	0.4	3.40	1.36	
	Ca(OH)_2	4.0	3.50	14.00	
	BaCl_2	0.6	20.00	12.00	
	ออร์กาไทท์	0.006	220.00	1.32	28.68
	* เซพาราน	0.01	-	-	-
ง	NaOH	3.2	15.00	48.00	
	Na_3PO_4	1.0	14.00	14.00	
	BaCl_2	0.6	20.00	12.00	
	ออร์กาไทท์	0.006	220.00	1.32	75.32
	* เซพาราน	0.01	-	-	-

หมายเหตุ

* ไม่รวมราคา

ราคานี้เป็นราคาในเกรดอุตสาหกรรม