

รายการอ้างอิง

1. บัญชา คำสิงห์. การสกัดยูเรเนียมและทอเรียมจากแร่โมนาไซต์ โดยใช้หอสกัดแบบจานหมุนมีรู. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
2. Ramakul, P. , Pancharoen, U., and Hronec, M., Selective separation of trivalent and tetravalent lanthanide from mixture by hollow fiber supported liquid membrane. Jour of the Chinese Institute Chemical of Engineerings. 36(5) (2005): 1-7.
3. ดวงพร ถนอมงาม. การสกัดยูเรเนียมและทอเรียมจากแร่ซีโนไทม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
4. นัยนา ศรีคารณพ. การสกัดและหาปริมาณของธาตุทอเรียมจากทรายโมนาไซต์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, แผนกวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2517.
5. จีรวัฒน์ อีซอ. ผลของการป้อนเวียนรอบต่อการสกัดแยกธาตุกลุ่มแอสต์ไรต์โดยอุปกรณ์พัลส์คอลัมน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
6. Alegret, S. Developments in solvent extraction. (n.p.): Ellis Horwood Limited, 1988.
7. Perry, R.H., Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
8. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภา, 2546.
9. McCabe,W. L., Smith, J. C., and Harriott, P. Unit operations of chemical engineering. 5th ed. (n.p.): McGraw-Hill. 1993.
10. วรพัฒน์ อรรถยุดิ. การศึกษากระบวนการสกัดของเหลวที่จะเป็นประโยชน์ต่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย. โครงการวิจัย, เลขที่ 25-IE-2521. ทูลเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

11. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม. หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
12. Cusack, R.W., Fremeaux, P., and Glatz, A.D. Fresh look at liquid-liquid extraction. Chemical Engineering: P67-76, 1991.
13. Ramakul, P. and Pancharoen, U., Synergistic Extraction and Separation of Mixture of Lanthanum and Neodymium by Hollow Supported Liquid Membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 20(4), (2003):724-730.
14. Ramakul, P., Nakararueng, K. and Pancharoen, U., One-through Selective Separation of Copper, Chromium and Zinc ions by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. Korean Journal of Chemical Engineering 21(6), (2004) 1212.
15. อัมพิกา อภิชัยบุคคล. การสกัดซีเรียมจากแร่โมนาไซต์ด้วยตัวสกัดชนิดที่เป็นกรดและตัวสกัดชนิดที่เป็นกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
16. Treybal, R.E. Mass-transfer operation. 3 re ed. New York: McGraw-Hill, 1981.
17. Patthaveekongka, W., Ramakul, P., Assabumrungrat, S., and Pancharoen, U., Transport of Cerium, Lanthanum, Neodymium and Palladium via Hollow Fiber Supported Liquid membrane Base on Equilibrium Theory . Jour of the Chinese Institute Chemical of Engineerings, (2006) 11-14.



บรรณานุกรม

- Atsushi Takahashi, Yasuo Ueki, Shukuro Igarshi., Homogeneous liquid-liquid extraction of uranium(VI) from acetate aqueous solution. *Analytica Chimica Acta* 387 (1999), 71-75.
- Maysa S. El Sayed., Uranium extraction from gatta sulfate leach liquor using aliquat 336 in a liquid emulsion membrane process. *Hydrometallurgy* 68 (2003), 51-56.
- P. Miranda Jr., L. B. Zinner., Separation of samarium and gadolinium solutions by solvent extraction. *Journal of Alloys and compounds* 249 (1997), 116-118.
- Y.A. El-Nadi, J.A. Daoug, H.F. Aly., Modified leaching and extraction of uranium hydrous oxide cake of Egyptian monazite. *International Journal of Mineral Processing*. 76 (2005), 101-110.

ภาคผนวก

ตาราง ก-1 แสดงความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายากของสารละลายป้อน (Feed) สำหรับการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ ในหอสกัดแบบ pulse sieve plate column

ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายป้อนเข้า (ppm)			
Uranium	Thorium	Rear earth	Total
632.00	13,985.50	4,107.49	18,724.99

ตาราง ก-2 แสดงความเข้มข้นของยูเรเนียม ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5% ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 3, 5, 7 และ 10 ตามลำดับ อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

time (min)	ผลการสกัดยูเรเนียม											
	pulse setting no.3			pulse setting no.5			pulse setting no.7			pulse setting no.10		
	ppm	C/Co	% extrac.	ppm	C/Co	% extrac.	ppm	C/Co	% extrac.	ppm	C/Co	% extrac.
05	70.00	0.1108	11.08	90.00	0.1424	14.24	178.00	0.2816	28.16	176.00	0.2785	27.85
10	76.00	0.1203	12.03	118.40	0.1873	18.73	242.60	0.3839	38.39	238.90	0.3780	37.80
15	116.00	0.1835	18.35	136.00	0.2152	21.52	298.09	0.4717	47.17	331.00	0.5237	52.37
20	123.00	0.1946	19.46	168.40	0.2665	26.65	408.20	0.6459	64.59	389.00	0.6155	63.30
25	147.00	0.2326	23.26	188.30	0.2979	29.79	430.60	0.6813	68.13	420.00	0.6646	66.00
30	179.40	0.2839	28.39	202.45	0.3203	32.03	448.20	0.7092	70.92	430.60	0.6813	64.50
35	184.00	0.2911	29.11	239.40	0.3788	37.88	450.00	0.7120	71.20	433.35	0.6857	66.00
40	198.00	0.3133	31.33	238.00	0.3766	37.66	447.48	0.7080	70.80	432.70	0.6847	64.00
45	199.00	0.3149	31.49	240.10	0.3799	37.99	442.00	0.6994	69.94	436.35	0.6904	64.50
50	198.00	0.3133	32.40	239.00	0.3782	37.82	439.50	0.6954	69.54	434.10	0.6869	64.50

ตาราง ก-3 แสดงความเข้มข้นของทองเตรียม ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5% ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 3, 5, 7 และ 10 ตามลำดับ อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

time (min)	ผลการสกัดทองเตรียม											
	pulse setting no.3			pulse setting no.5			pulse setting no.7			pulse setting no.10		
	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.
05	221.50	0.0158	1.58	228.40	0.0163	1.63	234.70	0.0168	1.68	220.50	0.0158	1.58
10	288.50	0.0206	2.06	357.30	0.0255	2.55	583.26	0.0417	4.17	572.50	0.0409	4.09
15	445.50	0.0319	3.19	495.40	0.0354	3.54	659.03	0.0471	4.71	645.50	0.0462	4.62
20	584.50	0.0418	4.18	658.20	0.0471	4.71	779.40	0.0557	5.57	767.50	0.0549	5.49
25	626.50	0.0448	5.05	896.00	0.0641	6.41	878.90	0.0628	6.28	861.50	0.0616	6.16
30	1,318.50	0.0943	9.43	1,388.83	0.0993	9.93	1,442.40	0.1031	10.31	937.50	0.0670	6.70
35	1,425.50	0.1019	10.19	1,565.29	0.1119	11.19	1,576.40	0.1127	11.27	1,088.50	0.0778	7.78
40	1,555.50	0.1112	11.12	1,567.00	0.1120	11.20	1,603.32	0.1146	11.46	1,223.50	0.0875	8.75
45	1,554.50	0.1112	11.12	1,573.40	0.1125	11.25	1,589.44	0.1136	11.36	1,000.50	0.0715	8.06
50	1,556.50	0.1113	11.13	1,566.08	0.1120	11.20	1,599.30	0.1144	11.44	1,101.50	0.0788	7.88

ตาราง ก-4 แสดงความเข้มข้นของธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5% ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 3, 5, 7 และ 10 ตามลำดับ อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	ผลการสกัดธาตุหายาก											
	pulse setting no.3			pulse setting no.5			pulse setting no.7			pulse setting no.10		
	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.
05	105.29	0.0256	2.56	118.40	0.0288	2.88	120.45	0.0249	2.93	102.26	0.0249	2.49
10	105.18	0.0256	2.56	128.05	0.0312	3.12	134.60	0.0164	3.28	67.46	0.0164	1.64
15	117.22	0.0285	2.85	134.20	0.0327	3.27	441.20	0.1368	10.74	561.72	0.1368	13.68
20	118.20	0.0288	2.88	189.78	0.0462	4.62	1,245.50	0.2789	30.32	1,145.51	0.2789	27.89
25	230.81	0.0562	5.62	256.80	0.0625	6.25	1,628.33	0.3943	39.64	1,619.60	0.3943	39.43
30	315.18	0.0767	7.67	344.50	0.0839	8.39	1,989.40	0.4530	48.43	1,860.76	0.4530	45.30
35	317.29	0.0772	7.72	388.90	0.0947	9.47	2,010.60	0.4443	48.95	1,825.03	0.4443	44.43
40	314.93	0.0767	7.67	398.00	0.0969	9.69	2,011.40	0.4353	48.97	1,787.84	0.4353	43.53
45	307.89	0.0750	7.50	382.43	0.0931	9.31	1,989.50	0.4519	48.44	1,856.00	0.4519	45.19
50	309.04	0.0752	7.52	388.50	0.0946	9.46	2,004.80	0.4306	48.81	1,768.73	0.4306	43.06

ตาราง ก-5 แสดงความเข้มข้นของยูเรเนียม ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	ผลการสกัดยูเรเนียม											
	5% TBP			10% TBP			15% TBP			20% TBP		
	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.
05	178.00	0.2816	28.16	192.44	0.3045	30.45	203.12	0.3214	32.14	205.08	0.3245	32.45
10	242.60	0.3839	38.39	268.47	0.4248	42.48	287.94	0.4556	45.56	258.05	0.4083	40.83
15	298.09	0.4717	47.17	321.37	0.5085	50.85	333.19	0.5272	52.72	329.78	0.5218	52.18
20	408.20	0.6459	64.59	413.45	0.6542	65.42	423.31	0.6698	66.98	419.58	0.6639	66.39
25	430.60	0.6813	68.13	476.84	0.7545	75.45	482.72	0.7638	76.38	482.78	0.7639	76.39
30	448.20	0.7092	70.92	504.72	0.7986	79.86	519.19	0.8215	82.15	510.15	0.8072	80.72
35	450.00	0.7120	71.20	516.60	0.8174	81.74	521.91	0.8258	82.58	511.67	0.8096	80.96
40	447.48	0.7080	70.80	521.02	0.8244	82.44	523.23	0.8279	82.79	514.26	0.8137	81.37
45	442.00	0.6994	69.94	520.01	0.8228	82.28	523.80	0.8288	82.88	514.70	0.8144	81.44
50	439.50	0.6954	69.54	519.25	0.8216	82.16	524.24	0.8295	82.95	515.02	0.8149	81.49

ตาราง ก-6 แสดงความเข้มข้นของทอเรียม ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	ผลการสกัดทอเรียม											
	5%			10%			15%			20%		
	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.
05	234.70	0.0168	1.68	746.83	0.0534	5.34	2,592.91	0.1854	18.54	2,848.85	0.2037	20.37
10	583.26	0.0417	4.17	1,521.62	0.1088	10.88	3,983.07	0.2848	28.48	4,157.89	0.2973	29.73
15	659.03	0.0471	4.71	2,033.49	0.1454	14.54	5,451.55	0.3898	38.98	5,956.42	0.4259	42.59
20	779.40	0.0557	5.57	2,773.32	0.1983	19.83	5,996.98	0.4288	42.88	6,410.95	0.4584	45.84
25	878.90	0.0628	6.28	3,468.40	0.2480	24.80	8,160.54	0.5835	58.35	8,595.49	0.6146	61.46
30	1,442.40	0.1031	10.31	5,153.66	0.3685	36.85	9,068.20	0.6484	64.84	9,068.20	0.6484	64.84
35	1,576.40	0.1127	11.27	5,636.16	0.4030	40.30	10,242.98	0.7324	73.24	10,408.01	0.7442	74.42
40	1,603.32	0.1146	11.46	5,602.59	0.4006	40.06	10,248.57	0.7328	73.28	10,480.73	0.7494	74.94
45	1,589.44	0.1136	11.36	5,610.98	0.4012	40.12	10,272.35	0.7345	73.45	10,473.74	0.7489	74.89
50	1,599.30	0.1144	11.44	5,689.30	0.4068	40.68	10,194.03	0.7289	72.89	10,388.43	0.7428	74.28

ตาราง ก-7 แสดงความเข้มข้นของธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	ผลการสกัดแร่เอิร์ธ											
	5%			10%			15%			20%		
	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.	ppm	C/Co	%extrac.
05	120.45	0.0249	2.93	233.31	0.0568	5.68	446.89	0.1088	10.88	471.54	0.1148	11.48
10	134.60	0.0164	3.28	400.48	0.0975	9.75	625.98	0.1524	15.24	749.21	0.1824	18.24
15	441.20	0.1368	10.74	759.88	0.1850	18.50	844.50	0.2056	20.56	864.21	0.2104	21.04
20	1,245.50	0.2789	30.32	1,623.28	0.3952	39.52	1,579.74	0.3846	38.46	1,654.91	0.4029	40.29
25	1,628.33	0.3943	39.64	1,876.71	0.4569	45.69	1,900.94	0.4628	46.28	1,946.54	0.4739	47.39
30	1,989.40	0.4530	48.43	1,960.09	0.4772	47.72	1,998.29	0.4865	48.65	2,084.14	0.5074	50.74
35	2,010.60	0.4443	48.95	2,043.47	0.4975	49.75	2,072.23	0.5045	50.45	2,169.57	0.5282	52.82
40	2,011.40	0.4353	48.97	2,033.21	0.4950	49.50	2,110.43	0.5138	51.38	2,155.61	0.5248	52.48
45	1,989.50	0.4519	48.44	2,014.31	0.4904	49.04	2,094.00	0.5098	50.98	2,153.97	0.5244	52.44
50	2,004.80	0.4306	48.81	2,034.44	0.4953	49.53	2,075.51	0.5053	50.53	2,131.78	0.5190	51.90

ตาราง ก-8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 5% โดยปริมาตร ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	U			Th			RE		
	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K
5	178.00	454.00	0.39	234.70	13,750.80	0.02	120.45	3,987.04	0.03
10	242.60	389.40	0.62	583.26	13,402.24	0.04	134.60	3,972.89	0.03
15	298.09	333.91	0.89	659.03	13,326.47	0.05	441.20	3,666.29	0.12
20	408.20	223.80	1.82	779.40	13,206.10	0.06	1,245.50	2,861.99	0.44
25	430.60	201.40	2.14	878.90	13,106.60	0.07	1,628.33	2,479.16	0.66
30	448.20	183.80	2.44	1,442.40	12,543.10	0.11	1,989.40	2,118.09	0.94
35	450.00	182.00	2.47	1,576.40	12,409.10	0.13	2,010.60	2,096.89	0.96
40	447.48	184.52	2.43	1,603.32	12,382.18	0.13	2,011.40	2,096.09	0.96
45	442.00	190.00	2.33	1,589.44	12,396.06	0.13	1,989.50	2,117.99	0.94
50	439.50	192.50	2.28	1,599.30	12,386.20	0.13	2,004.80	2,102.69	0.95

ตาราง ก-9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 10% โดยปริมาตร ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	U			Th			RE		
	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K
5	192.44	439.56	0.44	746.83	13,238.67	0.06	233.31	3,874.18	0.06
10	268.47	363.53	0.74	1,521.62	12,463.88	0.12	400.48	3,707.01	0.11
15	321.37	310.63	1.03	2,033.49	11,952.01	0.17	759.88	3,347.60	0.23
20	413.45	218.55	1.89	2,773.32	11,212.18	0.25	1,623.28	2,484.21	0.65
25	476.84	155.16	3.07	3,468.40	10,517.10	0.33	1,876.71	2,230.78	0.84
30	504.72	127.28	3.97	5,153.66	8,831.84	0.58	1,960.09	2,147.39	0.91
35	516.60	115.40	4.48	5,636.16	8,349.34	0.68	2,043.47	2,064.01	0.99
40	521.02	110.98	4.69	5,602.59	8,382.91	0.67	2,033.21	2,074.28	0.98
45	520.01	111.99	4.64	5,610.98	8,374.52	0.67	2,014.31	2,093.17	0.96
50	519.25	112.75	4.61	5,689.30	8,296.20	0.69	2,034.44	2,073.05	0.98

ตาราง ก-10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 15% โดยปริมาตร ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	U			Th			RE		
	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K
5	203.12	428.88	0.47	2,592.91	11,392.59	0.23	446.89	3,660.59	0.12
10	287.94	344.06	0.84	3,983.07	10,002.43	0.40	625.98	3,481.50	0.18
15	333.19	298.81	1.12	5,451.55	8,533.95	0.64	844.50	3,262.99	0.26
20	423.31	208.69	2.03	5,996.98	7,988.52	0.75	1,579.74	2,527.75	0.62
25	482.72	149.28	3.23	8,160.54	5,824.96	1.40	1,900.94	2,206.54	0.86
30	519.19	112.81	4.60	9,068.20	4,917.30	1.84	1,998.29	2,109.19	0.95
35	521.91	110.09	4.74	10,242.98	3,742.52	2.74	2,072.23	2,035.26	1.02
40	523.23	108.77	4.81	10,248.57	3,736.93	2.74	2,110.43	1,997.06	1.06
45	523.80	108.20	4.84	10,272.35	3,713.15	2.77	2,094.00	2,013.49	1.04
50	524.24	107.76	4.87	10,194.03	3,791.47	2.69	2,075.51	2,031.97	1.02

ตาราง ก-11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายาก ในการสกัดด้วยสารละลายอินทรีย์ เข้มข้น 20% โดยปริมาตร ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

Time (min)	U			Th			RE		
	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K	extraced	raffinate	K
5	205.08	426.92	0.48	2,848.85	11,136.65	0.26	471.54	3,635.95	0.13
10	258.05	373.95	0.69	4,157.89	9,827.61	0.42	749.21	3,358.28	0.22
15	329.78	302.22	1.09	5,956.42	8,029.08	0.74	864.21	3,243.27	0.27
20	419.58	212.42	1.98	6,410.95	7,574.55	0.85	1,654.91	2,452.58	0.67
25	482.78	149.22	3.24	8,595.49	5,390.01	1.59	1,946.54	2,160.95	0.90
30	510.15	121.85	4.19	9,068.20	4,917.30	1.84	2,084.14	2,023.35	1.03
35	511.67	120.33	4.25	10,408.01	3,577.49	2.91	2,169.57	1,937.91	1.12
40	514.26	117.74	4.37	10,480.73	3,504.77	2.99	2,155.61	1,951.88	1.10
45	514.70	117.30	4.39	10,473.74	3,511.76	2.98	2,153.97	1,953.52	1.10
50	515.02	116.98	4.40	10,388.43	3,597.07	2.89	2,131.78	1,975.70	1.08

ภาคผนวก ข

คำนิยาม

$$\text{ประสิทธิภาพการสกัด} = \frac{[M]_{in} - [M]_{out}}{[M]_{in}} \times 100$$

หรือ

$$\text{ประสิทธิภาพการสกัด} = \frac{[M]_{ext}}{[M]_{in}} \times 100$$

$[M]_{in}$ = ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายป้อนเข้า

$[M]_{out}$ = ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายป้อนออก

$[M]_{ext}$ = ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายที่สกัดได้

ภาคผนวก ก.

การป้องกันอันตรายจากรังสี

1. การได้รับรังสี

1) เมื่อสารรังสีอยู่ภายนอกร่างกาย

สารรังสีนั้นจะแผ่รังสีต่างๆ เข้าสู่ร่างกาย ผลที่ได้รับนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของรังสี ความแรงของรังสี อายุและเพศ เช่น รังสีแกมมา x-rays มีผลมีผลต่อร่างกายมากกว่ารังสีแอลฟาและเบต้าอายุน้อยมากกว่าอายุมาก เป็นต้น

เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย เช่น เครื่องสำรวจรังสี (Survey Meter) เครื่องบันทึกรังสีประจำตัวบุคคลชนิดฟิล์มแบดจ์ (film badge) เครื่องวัดรังสีประจำตัวชนิดเหน็บที่กระเป๋าเสื้อ (pocket dosimeter) และเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลชนิดเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ โดสิมิเตอร์ (Thermoluminescent Docimeter : TLD) เครื่องวัดรังสีประจำที่ (Radiation Area Monitor) และระบบเครื่องวัดรังสีปริมาณน้อย เป็นต้น

การป้องกันการได้รับรังสี เมื่อสารรังสีอยู่ภายนอกร่างกายให้ได้น้อยที่สุดสามารถทำได้โดย อาศัยหลัก ALARA (As Reasonably Achievable)

2) เมื่อรังสีอยู่ในร่างกาย

ผู้ปฏิบัติงานที่มีโอกาสได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะทำงานเกี่ยวข้องกับต้นกำเนิดรังสีชนิดไม่ปิดผนึก (unsealed source) ที่สามารถระเหยและฟุ้งเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย สารรังสีที่เข้าสู่ร่างกายแล้วทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกายและอวัยวะภายในร่างกายมากที่สุดคือ สารรังสีที่ให้รังสีแอลฟาและเบตา เนื่องจากเมื่อผ่านตัวกลางจะสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่ในการทำให้แตกตัวเป็นไอออนจำเพาะสูง สารรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะมีการส่งผ่าน และสะสมตามอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย สารรังสีแต่ละตัวจะมีการสะสมในอวัยวะต่างๆ ไม่เหมือนกัน เช่น I-131 อวัยวะที่ไปสะสมมากที่สุด (อวัยวะวิกฤติ) คือ ไทรอยด์

2. เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสารกัมมันตรังสี (Entry of Radionuclides into the Body)

สารกัมมันตรังสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางด้วยกัน ได้แก่

1) การหายใจ (Inhalation)

สารสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจและส่งผ่านไปยังส่วนอื่นๆ ในระบบทางเดินหายใจ ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกโดยทางเดินหายใจ และเข้าสู่ระบบย่อยอาหารดูดซึมเข้าสู่ระบบของไหลภายนอกเซลล์ และสะสมภายในอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย โดยกลไกของร่างกาย คุณสมบัติทางเคมีและทางร่างกายภาพของรังสีชนิดนั้นๆ

2) การกิน (Ingestion)

เมื่อสารรังสีเข้าทางปากจะส่งต่อไปยังระบบย่อยอาหาร สารรังสีที่ไม่ดูดซึมในกระเพาะอาหารจะถูกขจัดออกจากร่างกาย โดยทางอุจจาระถ้าสารรังสีนั้นสามารถนำพาไปได้ตามของไหลภายในร่างกาย จะส่งผ่านไปตามส่วนต่างๆ โดยการแพร่ และการรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำหรือคงอยู่ในอวัยวะและเนื้อเยื่อ

3) ซึมผ่านผิวหนัง (Absorption through skin)

การดูดซึมจะสะสมอยู่ในอวัยวะใต้ผิวหนังและเลือด สารรังสีบางตัวจะคงอยู่ที่ผิวหนังก่อนระยะหนึ่งก่อนที่จะดูดซึมเข้าไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ตรีเทียมออกไซด์ที่อยู่ในรูปของของเหลวหรือไอ สามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าไปอยู่ในส่วนต่างๆ ของร่างกายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

4) ทางบาดแผล (Wound)

เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายเช่นเดียวกับทางผิวหนัง

3. การขจัดสารกัมมันตรังสีให้ออกจากร่างกาย (Elimination)

การขจัดสารรังสีออกจากร่างกายเกิดขึ้นได้ทั้งการสลายตัวของรังสีเอง และจากร่างกายขจัดออกโดยการขับถ่ายออกทางปัสสาวะ อุจจาระ หายใจออกและเหงื่อ การขับถ่ายสารรังสีออกทางอุจจาระมาจากการรับรังสีเข้าไปแล้วไม่เกิดการดูดซึมในของไหลภายในร่างกาย ส่วนการขับถ่ายสารรังสีออกทางปัสสาวะนั้นเกิดจากสารรังสีนั้นเกิดการดูดซึมในกระเพาะอาหาร โดยเฉาะท้องหรือลำไส้เล็กแล้วส่งผ่านไปยังระบบของเหลว ลงไปที่ไตและกระเพาะปัสสาวะ สารรังสีที่สะสมในอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายจะส่งกลับไปทีระบบของไหล และกำจัดออกโดยทางปัสสาวะและอุจจาระได้เช่นกัน

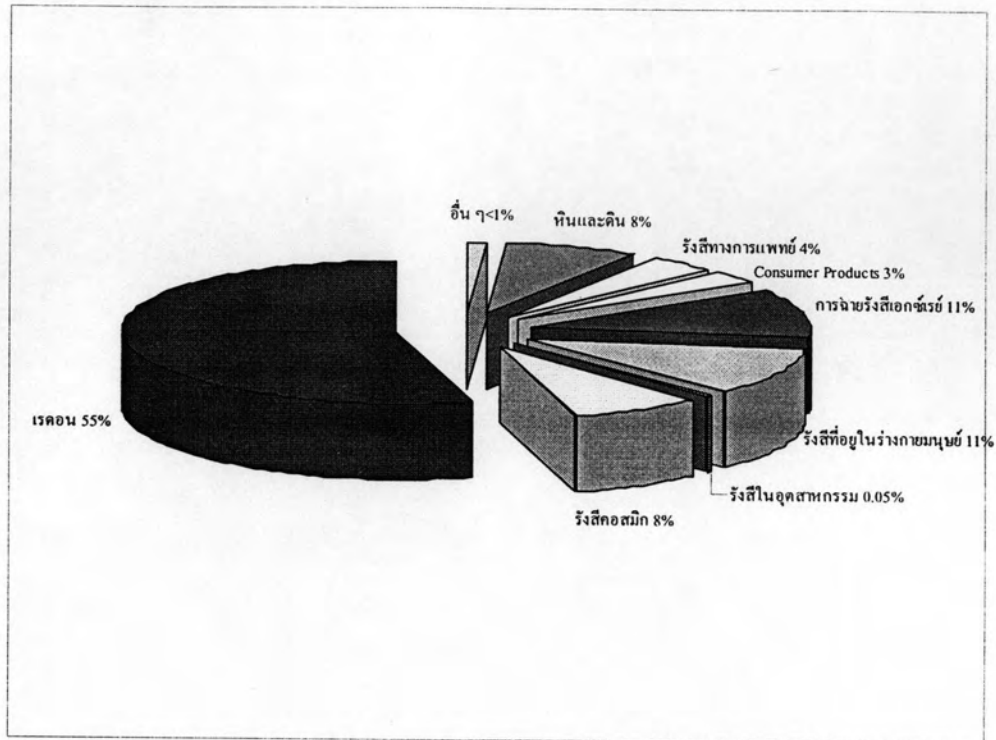
4. แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ (Natural sources of radiation)

แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติมีทั้งแหล่งกำเนิดรังสีที่อยู่นอกโลก คือ รังสีคอสมิก และแหล่งกำเนิดรังสีในพื้นที่กำเนิดขึ้นมาพร้อมกับโลก คือ ในอนุกรมยูเรเนียม และทอเรียม เช่น Th-228, Ra-226, Rn-222 เป็นต้น ซึ่งไอโซโทปรังสีเหล่านี้จะปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นทางผ่านของรังสี ทั้งในบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่เราอาศัยอยู่ ทำให้มนุษย์ได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติทั้งทางตรงและทางอ้อม

แหล่งกำเนิดรังสีประเภทนี้ เป็นแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัว ซึ่งมนุษย์จะหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีประเภทนี้ไม่ได้ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับกิจกรรมในชีวิตประจำวันหรือการประกอบอาชีพต่างๆ การได้รับรังสีมากน้อยต่างกันก็ขึ้นอยู่กับสถานที่อยู่อาศัย ลักษณะนิสัย และอาชีพ

ตารางที่ ก-1 แสดงอนุกรมสลายตัวของยูเรเนียม (U-238 decay series)

Element	Symbol	Half-life	Energy (MeV)			Percent γ occurrence
			α	β	γ	
92 uranium	238U	4.5×10^9 y	4.2	-	0.048	23
90 thorium	234Th	24.1 d	-	0.19	0.09	4
91 protoactinium	234Pa	1.17 m	-	2.29	1.0	0.6
92 uranium	234U	2.5×10^5 y	4.8	-	0.05	28
90 thorium	230Th	7.5×10^4 y	4.8	-	0.068	24
88b radium	226Ra	1600 y	4.8	-	0.186	4
86 radom	222Rn	3.82 d	5.49	-	0.5	0.07
84 polonium	218Po	3.05 m	6.00	-	-	-
82 lead	214Pb	26.8 m	-	0.65	0.24	4
83 bismuth	214Bi	19.9 m	5.5	1.5	0.61	47
84 polonium	214Po	164 μ s	7.7	-	0.8	0.014
82 lead	210Pb	22.3 y	-	0.016	0.046	81
83 bismuth	210Bi	5.0 d	-	1.16	-	-
84 polonium	210Po	138 d	5.30	-	0.80	0.001
82 lead	206Pb			[stable]		



รูปที่ ข-1 สัดส่วนการได้รับรางวัลของมนุษย์จากแหล่งกำเนิดรังสีต่างๆ

ที่มา : การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 หน้า 201

5. ปริมาณสารกัมมันตรังสีสูงสุดที่ยอมให้เปราะเปื้อนบนพื้นผิว

ปริมาณสารกัมมันตรังสีสูงสุดที่ยอมให้เปราะเปื้อนนี้เป็นขีดจำกัดสูงสุด และจะต้องทำให้การเปราะเปื้อนอยู่ในระดับต่ำที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้

ตารางที่ ค-2 แสดงปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้บนพื้นผิวต่างๆ

ชนิดของพื้นผิว	แอลฟา	บีตา-แกรมมา
มือ และเครื่องมือทุกชนิด (ยกเว้นเครื่องวัดรังสี) พื้น โต๊ะ พื้นห้อง พื้นผิวอื่นๆ	0.37 Bq/cm ² 10-5 μ Ci/cm ² หรือ 1.1 x 10 ² Bq/มือ (3 x 10 ⁻³ μ Ci/มือ)	3.7 Bq/cm ² 10-4 μ Ci/cm ² หรือ 1.1 x 10 ³ Bq/มือ (3 x 10 ⁻² μ Ci/มือ)
ชนิดของพื้นผิว	แอลฟา	บีตา-แกรมมา
ร่างกายทั่วไป	0.185 Bq/cm ² 5 x 10 ⁻⁶ μ Ci/cm ² (พื้นที่ไม่ต่ำกว่า 30 cm ²)	3.7 Bq/cm ² 10-4 μ Ci/cm ² (พื้นที่ไม่ต่ำกว่า 30 cm ²)
รองเท้าที่ใช้ ในห้องปฏิบัติการทางรังสี	3.7 Bq/cm ² 10-4 μ Ci/cm ²	37 Bq/cm ² 10-3 μ Ci/cm ²
ชุดคลุมปฏิบัติการทางรังสี	1.85 Bq/cm ² 5 x 10 ⁻⁵ μ Ci/cm ²	37 Bq/cm ² 10-3 μ Ci/cm ²
เสื้อผ้าส่วนตัว	0.37 Bq/cm ² 10-5 μ Ci/cm ²	18.5 Bq/cm ² 5 x 10 ⁻⁴ μ Ci/cm ²

หมายเหตุ 1 μ Ci = 3.7 x 10⁴ Bq/cm²

6. วิธีป้องกันการปนเปื้อนทางรังสี (Prevention of Radioactive Contamination)

เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยทางรังสี ค่าใช้จ่าย เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และความยุ่งยากในการชำระล้างความเปื้อนทางรังสีแล้ว การป้องกันการเปื้อนทางรังสีเป็นแนวทางปฏิบัติที่สำคัญสำหรับผู้ปฏิบัติงานกับสารกัมมันตรังสี ทั้งนี้เพื่อลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการชำระล้างความเปื้อนทางรังสีและการบำรุงรักษาอื่นๆ แนวทางในการป้องกันความเปื้อนทางรังสีประกอบด้วย

1) การออกแบบพื้นที่หรือห้องปฏิบัติการทางรังสีอย่างเหมาะสม โดยกำหนดบริเวณปฏิบัติงานแยกเป็นสัดส่วน จัดเป็นบริเวณควบคุมระดับรังสี เช่น บริเวณระดับรังสีสูงรังสีต่ำ มีการปฏิบัติงานทางรังสีในตู้กวน หรือ Glove Boxes มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกอื่นๆ เช่น อ่างน้ำล้างมือ ห้องอาบน้ำชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสี สารชำระล้างที่เหมาะสม นอกจากนี้พื้นที่ปฏิบัติงานควรเลือกใช้วัสดุที่สามารถชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีออกได้ง่าย เช่น

- พื้นห้องปฏิบัติการทางรังสี ควรทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลาย ตัวทำละลาย และสามารถรับน้ำหนักได้ดี ดังนั้นพื้นที่ปฏิบัติการทางรังสีอาจเลือกใช้วัสดุพวก PVC กระเบื้องยาง กระเบื้องเคลือบ แต่ควรเลือกใช้แผ่นใหญ่เพื่อให้มีรอยต่อที่น้อยที่สุด สำหรับพื้นที่ที่เป็นซีเมนต์ ควรเลือกใช้ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของ Epoxide Resin หรือ Furane Resin

- ผนังห้อง ควรเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม สารเคมี ความร้อน การขีดถู เช่น กระเบื้องเคลือบ แผ่นพลาสติก PVC และควรเลือกใช้วัสดุที่มีส่วนผสมของ Chlorinated Rubber หรือ Epoxide resin หรือ Alkyd – tung Oil Phenolic Resin เมื่อมีการเปรอะเปื้อนทางรังสีเกิดขึ้นควรทำความสะอาดด้วยวิธีที่มีโพลีเมอร์ของ Vinyl Acetate และ Vinyl Chloride เป็นส่วนผสมแล้วลอกออก

- โถงปฏิบัติการทางรังสี ควรเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีรูพรุน และนิยมปกคลุมพื้นผิวด้วยวัสดุที่ไม่ซึมซับน้ำ เช่นแผ่น PVC แผ่น Polyethylene กระดาษเคลือบมันเมื่อมีการเปรอะเปื้อนทางรังสีก็สามารถเปลี่ยนใหม่ได้ทันที และนำวัสดุปกคลุมผิวนั้นส่งเป็นกากของแข็งกัมมันตรังสี

- ระบบท่อน้ำทิ้งทางรังสี ควรเลือกวัสดุที่ทนต่อความดัน อุณหภูมิ และการกัดกร่อน เช่นวัสดุพวกเซรามิก และ Polyethylene สามารถชำระล้างความเปรอะเปื้อนได้ง่ายกว่าพวกยาง การเลือกใช้วัสดุควรคำนึงถึงอค์คิภัยด้วย ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ท่อพลาสติก นอกจากนี้ควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับรอยต่อและรอยโค้งงอของท่อเพราะมักเป็นที่สะสมของความเปรอะเปื้อน และอาจเกิดมีการรั่วซึมได้

พื้นที่ปฏิบัติงานทางรังสีทั้งหมดควรใช้วัสดุปกคลุมผิว โดยวัสดุนั้นต้องมีผิวเรียบมันไม่ซึมซับน้ำส่วนการปฏิบัติการกับดินกัมมันตรังสีแบบไม่ผนึก ควรแยกบริเวณทำงานให้เป็นสัดส่วนและมีระบบระบายอากาศ

2) จัดระเบียบในการปฏิบัติงานทางรังสี เช่น สวมเสื้อคลุมปฏิบัติการทางรังสี ถุงมือ ถุงคลุม รองเท้าหรือใช้รองเท้าที่จัดไว้ใช้เฉพาะบริเวณควบคุม ติดป้ายชื่อและจัดวางสารกัมมันตภาพรังสีไว้เฉพาะที่โดยอาจมีฉากตะกั่วกำบังรังสีกันเอาไว้ การปฏิบัติงานทางเคมีรังสีควรทำในตู้ควัน การเคลื่อนย้ายต้นกำเนิดรังสีแบบไม่ผนึกควรมีภาชนะรองรับ การถ่ายเทสารกัมมันตรังสีควรทำด้วยความระมัดระวัง

3) ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องการป้องกันอันตรายจากรังสี การควบคุมการแผ่ขยายของความเปราะเปื้อนทางรังสีและการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีอย่างถูกต้อง

4) มีการสำรวจและตรวจวัดความเปราะเปื้อนทางรังสีในพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นประจำ โดยอาจกำหนดเป็นสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปราะเปื้อนเกิดขึ้นนานจนยากแก่การชำระล้างหรืออาจมีการเปราะเปื้อนสะสมมากขึ้นและแพร่กระจายไปยังบริเวณอื่น รวมทั้งต้องมีการจดบันทึกการสำรวจทางรังสีไว้ทุกครั้ง

5) มีการวางแผนในการปฏิบัติงานทางรังสีอย่างรัดกุม

7. หลักการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี (Principal of Radioactive Decontamination)

หลักการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี มีดังนี้

การชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีควรเลือกใช้วิธีที่เปียกมากกว่าวิธีแห้งควรเริ่มต้นด้วยวิธีใช้สารละลายที่มีอำนาจการชะล้างอ่อนๆ เสียก่อน แล้วจึงค่อยเลือกใช้สารละลายที่มีอำนาจการชะล้างรุนแรงภายหลัง

ในการปฏิบัติงานชำระล้างความเปราะเปื้อนฯ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการแผ่ขยายของการเปราะเปื้อนทางรังสีเกิดขึ้นหากการเปราะเปื้อนทางรังสีเกี่ยวข้องกับสารกัมมันตรังสีชนิดที่มีครึ่งชีวิตสั้น ควรจะใช้วิธีกำจัดบริเวณเปราะเปื้อนให้เป็นสัดส่วนและทิ้งให้สารกัมมันตรังสีนั้นสลายตัวไปเอง

ในทางทฤษฎีแล้วการเปราะเปื้อนทางรังสีควรถูกชำระล้างออกให้หมด แต่จะต้องพิจารณาตามความจำเป็นว่าสมควรจะชำระล้างวัสดุนั้นหรือไม่ บางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องชำระล้าง และสามารถหาวัสดุใหม่มาทดแทนได้ง่าย จึงควรเก็บวัสดุที่เปราะเปื้อนนั้นทิ้งเป็นกากกัมมันตรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อราคาของวัสดุนั้นน้อยกว่าค่าใช้จ่ายในการชำระล้าง

ก่อนทำการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี ควรทราบอย่างแน่ชัดว่าเป็นการเปราะเปื้อนแบบใด เช่น การเปราะเปื้อนแบบหละหลวมของฝุ่นละออง หรือเป็นการเปราะเปื้อนแบบฝังแน่นของสารละลายที่หกบนพื้นผิว และเกิดการซึมผ่านของสารกัมมันตรังสีเข้าไปในเนื้อวัสดุ ควรพิจารณาต่อว่าวัสดุนั้นมีพื้นผิวแบบใด เช่นเป็นพลาสติกผิวเรียบ หรือเป็นคอนกรีตที่มีผิวขรุขระ มีรูพรุน และควรจะใช้วิธีใด

เมื่อจำเป็นต้องปฏิบัติการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีที่เกิดขึ้น มีข้อควรปฏิบัติดังนี้

- 1) ต้องจำกัดอาณาบริเวณที่เปราะเปื้อน คัดข้อความและเครื่องหมายทางรังสีให้ชัดเจน
- 2) ห้ามบุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าไปในสถานที่นั้น
- 3) ถ้ามีผู้ใดได้รับอุบัติเหตุและมีการเปราะเปื้อนทางรังสีที่ตัวบุคคล ต้องให้ความช่วยเหลือบุคคลที่เปราะเปื้อนรังสีก่อน โดยแยกผู้เปราะเปื้อนไปยังบริเวณที่จัดแยกไว้เฉพาะและดำเนินการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีทันที
- 4) สอบถามข้อมูล ตรวจสอบและประเมินสถานการณ์ พร้อมทั้งสำรวจบริเวณเปราะเปื้อน และตรวจวัดระดับความแรงรังสี โดยต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงานทางรังสีเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 5) กำหนดบริเวณที่มีการเปราะเปื้อนทางรังสี และเส้นทางการเข้าออกในการชำระล้างความเปราะเปื้อน
- 6) คัดเลือกสารชำระล้าง และวิธีการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีที่เหมาะสม

7) จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้งานให้พร้อม ควรห่อหุ้มอุปกรณ์วัดรังสีที่จะใช้ในพื้นที่เพื่อป้องกันการเปราะเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ จัดเตรียมภาชนะเก็บกากกัมมันตรังสีให้พอเพียงกับการใช้งาน และอาจสำรองไว้ในบริเวณที่สะอาด

8) ดำเนินการชำระล้างทันที โดยระวังไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของการเปราะเปื้อนไปยังบริเวณอื่น ชำระล้างควรทำจากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน และควรชำระล้างไปในทิศทางเดียวกันคือวนเป็นก้นหอย

9) ตรวจสอบระดับความแรงรังสีภายหลังการชำระล้าง ความแรงรังสีที่เหลือนบนพื้นผิวควรต่ำกว่าระดับของความเปราะเปื้อน ทางรังสีที่ยอมรับได้บนพื้นผิว ในกรณีที่ไม่สามารถขจัดความเปราะเปื้อนให้ต่ำจนถึงเกณฑ์ที่ปลอดภัยได้ จะต้องหามาตรการหรือแนวทางในการแก้ไขต่อไป

ในทางปฏิบัติเมื่อเกิดการเปราะเปื้อนทางรังสี อาจใช้แผ่นพลาสติกปิดกั้นทิศทางลมเพื่อไม่ให้ลมพัดพาความเปราะเปื้อนไปสู่บริเวณภายนอก ควรแบ่งแยกบริเวณที่เปราะเปื้อนกับบริเวณที่สะอาดให้เห็นอย่างเด่นชัด ควรป้องกันการเปราะเปื้อนของพื้นที่สะอาดโดยการปูทับด้วยแผ่นพลาสติกหรือกระดาษมัน ควรใช้เครื่องแต่งกายหรือชุดที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน เส้นทางเข้า ออกในการปฏิบัติงานชำระล้างความเปราะเปื้อน ควรกำหนดให้ชัดเจนเพื่อไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสับสน จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ สารชำระล้างและภาชนะใส่กากกัมมันตรังสีให้พอเพียง ห่อหุ้มอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีและเครื่องสำรวจรังสีด้วยแผ่นพลาสติกอย่างบาง ในกรณีที่มีการเปราะเปื้อนอย่างรุนแรงของรังสีบีตา-แกมมาอาจต้องใช้เครื่องกำบังรังสี และควรตรวจสอบระดับรังสีในอากาศตรงบริเวณที่สงสัย รวมทั้งบริเวณต่างๆ ไปโดยรอบด้วย

การสอบถามข้อมูลจากผู้ใช้งานในพื้นที่นั้น จะทำให้ทราบถึงบริเวณที่คาดว่าจะมีการเปราะเปื้อนชนิดของไอโซโทปรังสี การใช้สารที่เป็นอันตรายในพื้นที่ สภาพของพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่นระบบท่อน้ำ ก๊อกน้ำ ระบบวาล์วต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี และในพื้นที่นั้นควรมีนักฟิสิกส์สุขภาพ ซึ่งจะแจ้งให้ทราบว่าสิ่งไหนที่จับต้องได้/ไม่ได้ บริเวณใดที่เปราะเปื้อนทางรังสี และไม่เปราะเปื้อนทางรังสี

สิ่งสำคัญ คือ การกำจัดขอบเขตของการเปราะเปื้อนและหลีกเลี่ยงไม่ให้สารกัมมันตรังสีแพร่กระจายไปยังบริเวณที่สะอาด ดังนั้นจึงควรปูทับบริเวณพื้นที่สะอาดใกล้เคียงกับบริเวณที่จะชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี ด้วยแผ่นพลาสติก PVC หรือ Polyethylene หรือกระดาษมันกั้นน้ำเพื่อ

ผู้ปฏิบัติงานจะได้ใช้เครื่องมือวางอุปกรณ์ วัสดุใช้ทำความสะอาดและภาชนะรองรับอื่นๆ บนแผ่นพลาสติกเหล่านี้ได้ ผู้ปฏิบัติงานชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสี จะต้องสวมถุงมือทุกครั้งที่ปฏิบัติงาน และในบางกรณีอาจต้องสวมเสื้อผ้าชุดป้องกันการเปื้อนเปื้อน หน้ากากกรองฝุ่นและเครื่องช่วยหายใจ ถ้าในบริเวณที่เปื้อนเปื้อนมีฝุ่นกัมมันตรังสีก็ควรทำให้ฝุ่นมีความชื้นอยู่บนพื้นผิวก่อนที่จะแพร่กระจายไปบริเวณอื่น แล้วจึงชำระล้าง หรืออาจใช้วิธีการดูดฝุ่นด้วยเครื่องดูดฝุ่นชนิดพิเศษ

ในการชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสี ควรเริ่มต้นชำระล้างที่พื้นห้องตรงจุดที่ใกล้กับทางเข้ามากที่สุดแล้วจึงชำระล้างพื้นห้องด้านใน โต้ะปฏิบัติการ และเครื่องมืออุปกรณ์ ถ้าเครื่องมือนั้นสามารถเคลื่อนย้ายได้ควรห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกแล้วนำไปชำระล้างให้สะอาดภายหลัง

การชำระล้างจะเริ่มต้นด้วยการใช้สารชำระล้างที่มีฤทธิ์อ่อนที่สุด คือ น้ำหรือสารชำระล้างไขมัน ผ้าหรือกระดาษที่ใช้ซับน้ำหรือถูพื้นต้องใช้เพียงครั้งเดียว และไม่นำกลับมาใช้อีก เพราะจะทำให้การเปื้อนแพร่กระจาย หรืออาจทำให้บริเวณที่สะอาดเกิดการเปื้อนเปื้อนได้

ถ้าใช้สารชำระล้างฤทธิ์อ่อนแล้วไม่ได้ผล จึงควรใช้สารชำระล้างที่มีฤทธิ์เข้มข้นมากขึ้น อาจเป็นกรดอ่อนหรือด่าง ไปจนถึงสารชำระล้างที่มีฤทธิ์รุนแรงขึ้น นอกจากนั้นควรตรวจสอบระดับรังสีที่บริเวณเปื้อนเปื้อนในแต่ละขั้นตอนของการชำระล้างเพื่อการประเมินผล และเมื่อการชำระล้างสิ้นสุดลง ควรตรวจสอบระดับรังสีที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน ชุดเสื้อผ้าที่ใช้ในการชำระล้าง เมื่อเปลี่ยนชุดปฏิบัติงานดังกล่าวต้องกระทำโดยไม่ให้การเปื้อนเปื้อนแพร่กระจาย และควรบรรจุชุดในภาชนะห่อหุ้มให้เรียบร้อย เช่น ถุงพลาสติกแล้วจึงส่งไปซักเพื่อชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีก่อนที่จะนำมาใช้ใหม่

กรณีที่ต้องชำระล้างพื้นห้อง โต้ะปฏิบัติการ และผนังห้อง ถ้าพื้นที่บริเวณนั้นกว้าง และมีบุคลากรในการปฏิบัติงานเพียงพอ ควรชำระล้างผนังห้องก่อนที่จะชำระล้างพื้นห้องจะกระทำเสร็จ

8. การชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีออกจากตัวบุคคล

ในกรณีที่เกิดการเปื้อนเปื้อนทางรังสีต่อบุคคล ควรรีบชำระล้างความเปรอะเปื้อน โดยทันที สารทำความสะอาดผิวหนังที่เหมาะสมที่สุดคือ สบู่อ่อนและน้ำ ซึ่งสามารถใช้ได้กับผิวหนังของทุกส่วน

ของร่างกาย สบู่ที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ไม่ทำให้ผิวหนังระคายเคืองหลังจากการใช้ฟอกซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้ง สำหรับมือและเท้า ควรใช้แปรงอ่อนๆ ขัดเล็บและซอกเล็บด้วย

เมื่อเกิดการเปราะเปื้อนทางรังสีที่ใบหน้า ควรจับคราบเปราะเปื้อนจากบริเวณที่เปราะเปื้อน ออกเสียก่อน แล้วใช้สบู่กับน้ำจำนวนมากๆ ชะล้าง โดยใช้มือช่วยถูด้วย เพื่อทำให้เกิดฟองและสารเปราะเปื้อนจะหลุดได้ง่ายขึ้น ขณะที่ทำการชะล้างจะต้องหลับตาและปิดปากให้สนิท หลังจากการชำระล้างให้ใช้น้ำให้แห้งด้วยกระดาษหรือผ้าเช็ดหน้า แต่ห้ามเช็ดหรือถูใบหน้าแรงๆ

การชำระล้างเส้นผมเมื่อเกิดการเปราะเปื้อนทางรังสี กระทำได้โดยวิธีสระด้วยแชมพูสระผม และล้างด้วยน้ำปริมาณมากๆ หลายๆ ครั้ง แต่ต้องระวังมิให้น้ำที่ชำระล้างเข้าไปในช่องหู หรือไหลผ่านใบหน้า

หลังจากชำระล้างตามวิธีขั้นต้นแล้ว หากการเปราะเปื้อนยังคงอยู่ ควรนำตัวบุคคลผู้เปราะเปื้อนรังสีส่งสถานพยาบาลต่อไป

ในกรณีที่มีการเปราะเปื้อนบริเวณบาดแผล หรือบริเวณที่เป็นรอยขีดข่วน จะต้องทำความสะอาดบริเวณที่เปราะเปื้อน โดยเร็ว แล้วคัดเลือกรอกจากบาดแผลนั้นถ้าทำได้ และรีบนำส่งสถานพยาบาลทันที

หากเกิดการเปราะเปื้อนทางรังสี และสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย ให้นำบุคคลผู้เปราะเปื้อนนั้นส่งโรงพยาบาลเพื่อทำการล้างท้องเช่นเดียวกับการเปราะเปื้อนสารเป็นพิษอื่นๆ และให้บุคคลนั้นอยู่ในความดูแลของแพทย์ต่อไป

9. การชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสีบนพื้นผิวด้วยสารชำระต่างๆ

การชำระล้างความเปราะเปื้อนทางรังสี โดยวิธีเปียกนั้น ต้องใช้สารชำระล้างแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของความเปราะเปื้อนที่เกิดขึ้น และความเหมาะสมอื่นๆ ตัวอย่างของสารชำระล้างที่เหมาะสมต่อพื้นผิวต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้

- สบู่และแชมพู เหมาะสมในการชำระล้างความเปรอะเปื้อนออกจากบุคคล
- สารซักล้างใช้ในการชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีของวัสดุพื้นผิวแทบทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเปรอะเปื้อนแบบหละหลวม
- สารละลายของกรด เช่น กรดฟอสฟอริก กรดกำมะถัน และกรดดินประสิว ใช้ชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีจากวัสดุที่เป็นโลหะ
- สารละลายชนิดเกลือคอมเพลกซ์ และ Chelating Agent เช่น กรดซิตริก และ EDTA สามารถใช้ประกอบกับสารชำระล้างอื่นๆ เพื่อดึงเอาสารกัมมันตรังสีที่เปรอะเปื้อนออกมา และคงอยู่ในสารชำระล้างที่ใช้ได้ดี
- สารละลายของ Cleansing Solution (สารละลายโปแตสเซียม ไดโครเมต ที่อิมัลชันในกรดกำมะถันเข้มข้น) ใช้ชำระล้างอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องแก้วและเซรามิกได้ดี
- ตัวทำละลายชนิดอินทรีย์สาร เช่น อาซีโตน แอลกอฮอล์ และพาราฟิน นำมาชำระล้างวัสดุที่มีผิวมัน และมีความทนทานต่อการละลายได้ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ภาคผนวก ง

ตั้งอย่างการคำนวณ

1. ประสิทธิภาพการสกัดยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายาก

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสกัด โดยพิจารณาที่ภาวะการทดลองความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์เข้มข้น 15% โดยปริมาตร ค่าการเขย่า (pulse setting number) เท่ากับ 7 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1 เวลาการสกัด 40 นาที

ตาราง ง-1 แสดงความเข้มข้นของโลหะในสารละลายป้อนเข้าและความเข้มข้นที่สกัดได้

ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายป้อนเข้า (ppm)			ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายที่สกัดได้ (ppm)		
Uranium	Thorium	Rare earth	Uranium	Thorium	Rare earth
632.00	13,985.50	4,107.49	523.23	10,248.57	2,110.43

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การสกัดยูเรเนียม} &= \frac{[M]_{ext}}{[M]_{in}} \times 100 \\ &= \frac{523.23}{632.00} \times 100 \\ &= 82.79\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์การสกัดทอเรียม} &= \frac{[M]_{ext}}{[M]_{in}} \times 100 \\
 &= \frac{10,248.57}{13,985.50} \times 100 \\
 &= 73.28\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์การสกัดธาตุหายาก} &= \frac{[M]_{ext}}{[M]_{in}} \times 100 \\
 &= \frac{2,110.43}{4,107.49} \times 100 \\
 &= 51.38\%
 \end{aligned}$$

2. ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวในวัฏภาคสารสกัด (The distribution coefficient in extracted phase: K_d)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของยูเรเนียม ทอเรียมและธาตุหายากในสายการสกัดสามารถอธิบายได้ถึงประสิทธิภาพของการสกัดยูเรเนียม ทอเรียมและธาตุหายากออกจากกันในภาวะต่างๆ ของการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น ความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ 10% โดยปริมาตร
 ค่าการเขย่า (pulse setting no) เท่ากับ 7
 อัตราส่วนของสารละลายป้อนต่อสารละลายอินทรีย์ เท่ากับ 1:1
 ความเข้มข้นของกรดไนตริก 3 โมลาร์

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K_A) ในวัฏภาคสารสกัดของยูเรเนียม

$$\begin{aligned}
 K_u &= \frac{\text{mass fraction of U in extracted phase}}{\text{mass fraction of U in raffinate phase}} \\
 &= \frac{0.8244}{0.1756} \\
 &= 4.695
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K_A) ในวัฏภาคสารสกัดของทอเรียม

$$\begin{aligned}
 K_{Th} &= \frac{\text{mass fraction of Th in extracted phase}}{\text{mass fraction of Th in raffinate phase}} \\
 &= \frac{0.4006}{0.599} \\
 &= 0.668
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (K_A) ในวัฏภาคสารสกัดของธาตุหายาก

$$\begin{aligned}
 K_{RE} &= \frac{\text{mass fraction of RE in extracted phase}}{\text{mass fraction of RE in raffinate phase}} \\
 &= \frac{0.4950}{0.5049} \\
 &= 0.980
 \end{aligned}$$



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุภัทร สัมมาภสพิงศ์ เกิดวันศุกร์ที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2512 สถานที่เกิด จังหวัดราชบุรี มีพี่น้องทั้งหมดจำนวน 7 คน เป็นบุตรคนที่ 3

สำเร็จการศึกษาระดับชั้นอนุปริญญา สาขาวิชาเทคนิคเคมีอุตสาหกรรม จากวิทยาลัยช่างกล ปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2549

ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 6 สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน สถาบันการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ กรุงเทพมหานคร อายุการทำงานในปัจจุบัน 10 ปี