

ภาคผนวก ก.

—

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง

ตารางภาคผนวก ก-1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินและวัสดุก่อนทดลอง

พารามิเตอร์	วัสดุคลุมดิน																								
	ดินหิมองเม่					ดินลูกรัง					หินปูนฝุ่น					ปูนขาว					เถ้าลอย				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
pH	7.60	7.56	7.64	7.60	0.03	5.04	4.93	5.08	5.02	0.06	8.96	9.00	8.99	8.98	0.02	12.57	12.55	12.61	12.58	0.02	12.10	12.13	12.08	12.10	0.02
EC	78.50	70.60	73.60	74.23	3.26	20.50	19.90	19.20	19.87	0.53	157.10	155.90	156.40	156.47	0.49	9630.00	9840.00	10070.00	9850.00	179.69	37600.00	39600.00	37900.00	38366.00	880.66
OM	0.55	0.57	0.56	0.56	0.01	0.59	0.57	0.58	0.58	0.01	4.06	4.21	4.15	4.14	0.06	18.18	18.49	18.15	18.27	0.15	5.15	4.95	4.88	4.99	0.11
Total As	77.76	78.32	78.04	78.04	0.23	20.96	21.12	21.02	21.03	0.07	13.08	13.01	13.03	13.04	0.03	1.23	1.14	1.20	1.19	0.04	12.98	13.15	12.87	13.00	0.12
Total Fe	3513.29	3492.3	3506.29	3503.96	8.73	15503.2	15356.98	15313.99	15391.38	80.98	20.48	18.26	22.70	20.48	1.81	1.60	1.03	1.20	1.28	0.24	3870.50	3884.92	3858.00	3871.14	11.00
Total Ca	280.85	278.27	274.83	277.98	2.47	52.00	53.00	51.50	52.17	0.62	101022.90	101191.03	101192.46	101135.46	79.60	112450.47	112643.32	112531.92	112541.90	79.05	75742.9	75906.99	75763.4	75804.43	73.00

ตารางภาคผนวก ค-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูเมื่อผสมวัสดุคลุมดินต่อดินเหมืองแร่

อัตราส่วนผสม (%w/w)	ซ้ำ	วัสดุคลุมดิน (มก./กก.)			
		ดินลูกรัง	หินปูนฝุ่น	ปูนขาว	เถ้าลอย
0	1	3.40	2.88	3.24	3.28
	2	4.12	3.28	2.96	3.60
	3	3.68	3.84	3.80	4.40
	\bar{X}	3.73	3.33	3.33	3.76
	SD	0.30	0.39	0.35	0.47
2	1	3.36	3.40	2.56	2.64
	2	3.40	3.56	2.88	2.52
	3	3.64	2.80	2.48	2.48
	\bar{X}	3.47	3.25	2.64	2.55
	SD	0.12	0.33	0.17	0.07
4	1	2.92	3.36	2.48	2.00
	2	2.36	3.12	2.44	2.24
	3	2.40	3.48	2.52	2.08
	\bar{X}	2.56	3.32	2.48	2.11
	SD	0.26	0.15	0.03	0.10
6	1	2.12	2.96	2.44	1.96
	2	2.80	3.40	2.48	1.68
	3	2.52	2.92	1.96	1.96
	\bar{X}	2.48	3.09	2.29	1.87
	SD	0.28	0.22	0.24	0.13
8	1	2.16	2.76	2.32	1.24
	2	2.56	3.36	2.00	1.12
	3	2.24	3.04	2.36	1.04
	\bar{X}	2.32	3.05	2.23	1.13
	SD	0.17	0.25	0.16	0.08
10	1	1.52	3.16	2.04	0.60
	2	1.76	3.28	1.92	0.60
	3	1.16	3.44	2.24	0.56
	\bar{X}	1.48	3.29	2.07	0.59
	SD	0.25	0.11	0.13	0.02

ตารางภาคผนวก ก-3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูโดยวัสดุกลุ่มดินทั้ง 4 ชนิด (ร้อยละ)

วัสดุกลุ่มดิน	อัตราส่วนผสมดินเหนืองแร่และวัสดุกลุ่มดิน (%w/w)				
	2	4	6	8	10
ดินลูกรัง	6.97	31.37	33.51	37.80	60.32
หินปูนฝุ่น	2.40	0.30	7.21	8.41	1.20
ปูนขาว	20.72	25.53	31.23	33.03	37.84
เถ้าลอย	32.18	43.88	50.27	69.95	84.31

ตารางภาคผนวก ก-4 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยดินลูกรัง (มก./ก.)

เวลา (นาที)	pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
10	1.91	2.27	2.10	2.09	0.15	1.75	1.91	1.81	1.85	0.07	0.87	1.12	1.02	1.00	0.10
30	2.31	2.15	1.96	2.14	0.15	1.87	1.93	2.00	1.91	0.05	1.19	1.10	1.11	1.14	0.04
60	1.91	2.42	2.32	2.22	0.22	2.04	1.87	1.91	1.93	0.07	1.21	1.06	1.20	1.16	0.07
90	2.30	2.38	2.25	2.31	0.05	2.07	1.93	2.10	1.97	0.07	1.19	1.17	1.21	1.19	0.02
120	2.36	2.36	2.36	2.36	0.00	1.86	2.21	1.90	2.09	0.16	1.31	1.24	1.27	1.27	0.03
240	2.47	2.32	2.35	2.38	0.06	2.20	2.13	2.38	2.15	0.11	1.35	1.29	1.27	1.30	0.03
360	2.40	2.30	2.45	2.38	0.06	2.09	2.32	2.14	2.24	0.10	1.36	1.32	1.30	1.33	0.02
480	2.31	2.35	2.48	2.38	0.07	2.30	2.20	1.43	2.23	0.39	1.30	1.33	1.26	1.30	0.03
900	2.50	2.40	2.36	2.42	0.06	2.31	2.15	2.28	2.20	0.07	1.24	1.31	1.27	1.27	0.03
1440	2.49	2.36	2.40	2.41	0.05	2.07	2.27	1.99	2.20	0.12	1.28	1.30	1.32	1.30	0.02

ตารางภาคผนวก ก-5 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยถ้ำลอย (มก./ก.)

เวลา (นาที)	pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
10	1.20	1.02	1.08	1.10	0.08	1.36	1.39	1.43	1.39	0.03	2.30	2.23	2.28	2.27	0.03
30	0.95	0.80	0.79	0.85	0.08	1.51	1.42	1.49	1.47	0.04	2.36	2.43	2.38	2.39	0.03
60	0.92	0.97	0.95	0.95	0.02	1.53	1.57	1.49	1.53	0.04	2.40	2.47	2.43	2.44	0.03
90	0.99	0.83	0.96	0.93	0.07	1.79	1.72	1.75	1.75	0.03	2.49	2.41	2.44	2.45	0.03
120	0.94	0.87	1.11	0.97	0.10	1.90	1.85	1.92	1.89	0.03	2.50	2.43	2.45	2.46	0.03
240	1.28	1.25	1.41	1.31	0.07	2.27	2.12	2.20	2.20	0.06	2.42	2.47	2.53	2.47	0.04
360	1.62	1.71	1.54	1.62	0.07	2.51	2.46	2.42	2.46	0.03	2.49	2.40	2.47	2.46	0.04
480	1.47	1.53	1.51	1.50	0.03	2.45	2.51	2.49	2.48	0.03	2.47	2.45	2.51	2.48	0.02
900	1.54	1.43	1.50	1.49	0.05	2.45	2.40	2.43	2.43	0.02	2.50	2.47	2.45	2.47	0.02
1440	1.50	1.40	1.46	1.45	0.04	2.50	2.40	2.41	2.43	0.05	2.45	2.50	2.49	2.48	0.02

ตารางภาคผนวก ก-6 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Freundlich ของดินลูกรัง

ตัวอย่างที่	log (Cf)															log q														
	pH 4					pH 7					pH 12					pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
1	0.47	0.40	0.42	0.43	0.03	0.68	0.64	0.63	0.65	0.02	1.02	0.92	0.95	0.97	0.04	2.80	2.70	2.77	2.75	0.04	2.75	2.66	2.73	2.71	0.04	2.66	2.50	2.61	2.59	0.07
2	0.74	0.68	0.70	0.70	0.02	0.96	0.92	0.97	0.95	0.02	1.44	1.51	1.48	1.48	0.03	3.04	3.01	3.11	3.05	0.04	3.09	3.00	2.95	3.01	0.06	2.72	2.63	2.77	2.70	0.06
3	1.20	1.11	1.26	1.19	0.06	1.35	1.42	1.38	1.38	0.03	1.78	1.69	1.70	1.72	0.04	3.38	3.29	3.33	3.33	0.03	3.31	3.25	3.27	3.28	0.02	3.12	2.98	3.10	3.07	0.06
4	1.44	1.41	1.49	1.45	0.03	1.66	1.64	1.71	1.67	0.03	1.81	1.91	1.89	1.87	0.04	3.42	3.47	3.55	3.48	0.05	3.46	3.38	3.40	3.41	0.03	3.35	3.21	3.29	3.28	0.06
5	1.66	1.62	1.60	1.62	0.02	1.78	1.73	1.71	1.74	0.03	2.10	1.99	2.01	2.03	0.05	3.65	3.52	3.63	3.60	0.06	3.62	3.50	3.56	3.56	0.05	3.31	3.42	3.39	3.37	0.05

ตารางภาคผนวก ก-7 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Freundlich ของถ้ำลอย

ตัวอย่างที่	log (Cf)															log q														
	pH 4					pH 7					pH 12					pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
1	1.18	1.10	1.08	1.12	0.04	0.71	0.60	0.68	0.67	0.05	0.06	0.01	0.03	0.03	0.02	2.52	2.48	2.40	2.47	0.05	2.68	2.73	2.60	2.71	0.05	2.80	2.75	2.79	2.78	0.02
2	1.38	1.25	1.29	1.31	0.05	0.89	0.81	0.98	0.89	0.07	0.50	0.41	0.47	0.46	0.04	2.90	2.84	2.87	2.87	0.02	3.09	2.98	3.00	3.02	0.05	3.12	3.02	3.07	3.07	0.04
3	1.60	1.68	1.59	1.62	0.04	1.24	1.27	1.20	1.24	0.03	0.86	0.78	0.80	0.81	0.03	3.24	3.13	3.10	3.16	0.06	3.35	3.29	3.20	3.31	0.06	3.43	3.31	3.38	3.37	0.05
4	1.83	1.76	1.72	1.77	0.05	1.31	1.38	1.40	1.36	0.04	1.04	0.94	1.02	1.00	0.04	3.44	3.30	3.35	3.36	0.06	3.57	3.47	3.40	3.50	0.07	3.59	3.52	3.50	3.54	0.04
5	1.95	2.12	1.90	1.99	0.09	1.67	1.59	1.57	1.61	0.04	1.34	1.22	1.28	1.28	0.05	3.41	3.48	3.35	3.41	0.05	3.53	3.63	3.59	3.60	0.04	3.68	3.70	3.61	3.66	0.04

ตารางภาคผนวก ค-8 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Langmuir ของดินลูกรัง

ตัวอย่างที่	1/q															1/Cf														
	pH 4					pH 7					pH 12					pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
1	1.84	1.74	1.77	1.79	0.04	1.99	1.91	1.96	1.95	0.03	2.51	2.55	2.66	2.57	0.07	0.41	0.32	0.38	0.37	0.04	0.21	0.20	0.25	0.22	0.02	0.17	0.10	0.07	0.11	0.04
2	0.89	0.92	0.86	0.89	0.02	1.03	0.93	1.00	0.98	0.04	2.06	2.03	1.99	2.02	0.03	0.20	0.25	0.14	0.20	0.04	0.19	0.09	0.05	0.11	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02
3	0.54	0.40	0.46	0.47	0.06	0.48	0.50	0.57	0.52	0.04	0.87	0.80	0.85	0.84	0.03	0.07	0.06	0.04	0.06	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01
4	0.30	0.33	0.37	0.33	0.03	0.43	0.40	0.35	0.39	0.03	0.51	0.52	0.56	0.53	0.02	0.02	0.06	0.05	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
5	0.29	0.26	0.20	0.25	0.04	0.29	0.27	0.24	0.27	0.02	0.48	0.40	0.42	0.43	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

ตารางภาคผนวก ก-9 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Langmuir ของถ้ำลอย

ตัวอย่างที่	1/q															1/Cf														
	pH 4					pH 7					pH 12					pH 4					pH 7					pH 12				
	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD	1	2	3	\bar{X}	SD
1	3.45	3.30	3.35	3.37	0.06	2.01	1.94	1.96	1.97	0.03	1.72	1.68	1.62	1.67	0.04	0.10	0.06	0.09	0.08	0.02	0.19	0.25	0.20	0.21	0.02	0.98	0.89	0.91	0.93	0.04
2	1.41	1.29	1.38	1.36	0.05	1.03	0.94	0.88	0.95	0.06	0.81	0.90	0.84	0.85	0.04	0.06	0.03	0.07	0.05	0.02	0.13	0.18	0.09	0.13	0.04	0.37	0.35	0.29	0.34	0.03
3	0.66	0.72	0.69	0.69	0.02	0.49	0.41	0.52	0.48	0.04	0.46	0.41	0.42	0.43	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.04	0.07	0.08	0.06	0.02	0.19	0.13	0.16	0.16	0.02
4	0.47	0.41	0.45	0.44	0.02	0.38	0.30	0.25	0.31	0.05	0.31	0.21	0.35	0.29	0.06	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.08	0.04	0.03	0.09	0.10	0.10	0.10	0.00
5	0.34	0.44	0.39	0.39	0.04	0.28	0.21	0.25	0.25	0.03	0.20	0.21	0.25	0.22	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.08	0.04	0.03	0.05	0.02

ตารางภาคผนวก ค-10 ผลการทดสอบการชะละลาย (column leaching test)

เวลา (ชั่วโมง)	ชะละลายด้วย deionized water												ชะละลายด้วย K ₂ SO ₄ 0.05 โมล											
	pH												pH											
	ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย				ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย			
	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD
3	8.45	8.21	8.33	0.12	8.22	7.98	8.10	0.12	11.95	11.89	11.92	0.03	8.20	8.31	8.26	0.06	8.32	8.29	8.31	0.02	11.48	11.57	11.53	0.04
6	7.91	7.69	7.80	0.11	8.27	8.41	8.34	0.07	11.80	11.75	11.78	0.03	8.20	8.26	8.23	0.03	8.46	8.57	8.52	0.05	11.69	11.47	11.58	0.11
9	8.74	8.68	8.71	0.03	7.57	7.59	7.58	0.01	11.79	11.73	11.76	0.03	8.70	8.41	8.56	0.14	8.41	8.50	8.46	0.04	11.54	11.87	11.71	0.17
12	7.80	7.75	7.78	0.02	7.71	7.64	7.68	0.04	12.02	12.09	12.06	0.04	8.42	8.57	8.50	0.08	8.21	8.27	8.24	0.03	11.78	12.02	11.90	0.12
15	7.68	7.79	7.74	0.06	7.38	7.26	7.32	0.06	12.12	11.98	12.05	0.07	7.44	7.27	7.36	0.09	8.05	8.14	8.10	0.04	11.79	12.05	11.92	0.13
18	7.04	7.21	7.13	0.08	7.39	7.33	7.36	0.03	12.12	11.99	12.06	0.06	7.56	7.88	7.72	0.16	8.01	7.68	7.85	0.17	11.84	12.01	11.93	0.09
24	7.69	7.71	7.70	0.01	7.21	7.29	7.25	0.04	12.10	12.06	12.08	0.02	7.47	7.36	7.42	0.05	7.51	7.47	7.49	0.02	11.97	12.08	12.03	0.05
30	7.32	7.27	7.30	0.03	7.19	7.21	7.20	0.01	12.14	12.03	12.09	0.06	7.61	7.68	7.65	0.03	7.62	7.59	7.61	0.02	11.98	12.09	12.04	0.05
36	7.39	7.41	7.40	0.01	7.09	7.23	7.16	0.07	11.97	12.06	12.02	0.04	8.26	8.30	8.28	0.02	7.09	7.41	7.25	0.16	12.02	12.10	12.06	0.04
42	7.24	7.32	7.28	0.04	7.10	7.14	7.12	0.02	12.10	11.96	12.03	0.07	8.27	8.16	8.22	0.05	7.74	7.54	7.64	0.10	12.11	12.15	12.13	0.02
48	7.07	7.01	7.04	0.03	7.18	7.14	7.16	0.02	12.04	12.19	12.12	0.08	8.24	8.39	8.32	0.08	7.41	7.50	7.46	0.04	12.12	12.02	12.07	0.05
54	7.02	6.87	6.95	0.07	7.53	7.50	7.52	0.02	12.10	12.13	12.12	0.02	8.30	8.34	8.32	0.02	7.22	7.31	7.27	0.04	12.06	12.10	12.08	0.02
60	7.37	7.16	7.27	0.10	7.32	7.41	7.37	0.04	12.12	12.16	12.14	0.02	8.25	8.37	8.31	0.06	7.20	7.11	7.16	0.04	11.91	12.01	11.96	0.05
66	7.41	7.43	7.42	0.01	7.22	7.09	7.16	0.06	12.11	12.21	12.16	0.05	8.24	8.29	8.27	0.02	7.14	7.09	7.12	0.02	12.07	12.16	12.12	0.04

ตารางภาคผนวก ก-8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ชะละลายด้วย deionized water												ชะละลายด้วย K ₂ SO ₄ 0.05 โมล											
	EC (µs/cm)												EC (µs/cm)											
	ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย				ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย			
	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD
3	1421	1407	1414	7	1604	1638	1621	17	72749	72651	72700	49	25040	24960	25000	40	11780	11620	11700	80	424100	425900	425000	900
6	1466	1484	1475	9	1421	1371	1396	25	114110	113890	114000	110	25900	25700	25800	100	16730	16690	16710	20	302200	301800	302000	200
9	1187	1169	1178	9	1104	1120	1112	8	110120	110080	110100	20	26100	25900	26000	100	18460	18300	18380	80	229500	230500	230000	500
12	1109	1095	1102	7	754	728	741	13	41350	41250	41300	50	25950	26050	26000	50	23860	23940	23900	40	191900	191300	191600	300
15	1091	1099	1095	4	515	531	523	8	36400	35600	36000	400	26290	26110	26200	90	25200	25000	25100	100	162000	161400	161700	300
18	841	829	835	6	369	355	362	7	39690	39710	39700	10	26450	26350	26400	50	25800	26200	26000	200	141000	139200	140100	900
24	679	689	684	5	244	262	253	9	31700	31500	31600	100	26700	26500	26600	100	25950	26250	26100	150	125900	127100	126500	600
30	579	597	588	9	184	168	176	8	37400	37600	37500	100	26590	26410	26500	90	26000	26200	26100	100	113000	114600	113800	800
36	369	357	363	6	143	151	147	4	47450	47350	47400	50	26500	26300	26400	100	26100	25900	26000	100	104900	103900	104400	500
42	361	347	354	7	157	131	144	13	47100	46900	47000	100	26420	26180	26300	120	26000	25800	25900	100	95900	94700	95300	600
48	318	328	323	5	156	142	149	7	28700	28900	28800	100	26620	26380	26500	120	26100	25900	26000	100	90500	89700	90100	400
54	310	302	306	4	152	146	149	3	28810	28590	28700	110	26490	26310	26400	90	25900	26100	26000	100	82300	79900	81100	1200
60	300	284	292	8	156	146	151	5	24490	24310	24400	90	26440	26360	26400	40	26100	25900	26000	100	74120	72280	73200	920
66	250	232	241	9	122	113	117	5	22440	22360	22400	40	26490	26310	26400	90	25950	26050	26000	50	75700	75300	75500	200

ตารางภาคผนวก ค-8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ชะละลายด้วย deionized water												ชะละลายด้วย K ₂ SO ₄ 0.05 โมล											
	As (mg/L)												As (mg/L)											
	ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				แฉะลอย				ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				แฉะลอย			
	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD
3	0.66	0.60	0.63	0.03	0.41	0.38	0.40	0.01	0.56	0.46	0.51	0.05	0.60	0.53	0.57	0.03	0.25	0.17	0.21	0.04	7.01	5.53	6.27	0.74
6	0.92	0.81	0.87	0.06	0.40	0.47	0.44	0.04	0.69	0.73	0.71	0.02	0.31	0.18	0.25	0.07	0.19	0.14	0.16	0.02	4.19	3.01	3.60	0.59
9	1.08	1.12	1.10	0.02	0.61	0.55	0.58	0.03	0.70	0.74	0.72	0.02	0.09	0.20	0.15	0.06	nd	nd	nd	nd	4.01	3.02	3.52	0.49
12	1.30	1.28	1.29	0.01	0.78	0.68	0.73	0.05	0.35	0.23	0.29	0.06	0.19	0.11	0.15	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	2.19	2.07	2.13	0.06
15	1.30	1.36	1.33	0.03	0.92	0.88	0.90	0.02	0.40	0.30	0.35	0.05	0.14	0.11	0.13	0.01	nd	nd	nd	nd	3.05	1.81	2.43	0.62
18	1.37	1.47	1.42	0.05	1.09	0.99	1.04	0.05	0.38	0.34	0.36	0.02	0.14	0.11	0.12	0.01	nd	nd	nd	nd	2.04	1.62	1.83	0.21
24	1.19	1.09	1.14	0.05	1.02	0.93	0.97	0.05	0.20	0.17	0.19	0.02	0.10	0.14	0.12	0.02	nd	nd	nd	nd	2.12	1.85	1.99	0.13
30	1.19	1.31	1.25	0.06	0.81	0.78	0.80	0.02	0.20	0.27	0.24	0.04	0.20	0.07	0.13	0.07	nd	nd	nd	nd	1.97	1.72	1.85	0.13
36	1.17	1.26	1.22	0.05	1.10	0.91	1.01	0.10	0.21	0.26	0.24	0.02	0.19	0.09	0.14	0.05	nd	nd	nd	nd	1.08	1.25	1.17	0.09
42	1.40	1.57	1.48	0.08	0.87	0.94	0.90	0.03	0.38	0.21	0.29	0.08	0.19	0.16	0.17	0.02	nd	nd	nd	nd	1.40	1.85	1.63	0.22
48	1.48	1.53	1.50	0.02	0.77	0.90	0.83	0.07	0.20	0.26	0.23	0.03	0.24	0.28	0.26	0.02	nd	nd	nd	nd	1.56	1.32	1.44	0.12
54	1.52	1.60	1.56	0.04	0.91	0.89	0.90	0.01	0.07	0.03	0.05	0.02	0.17	0.12	0.14	0.02	nd	nd	nd	nd	1.19	1.28	1.24	0.04
60	1.71	1.80	1.76	0.04	1.21	0.99	1.10	0.11	0.02	0.01	0.02	0.01	0.21	0.28	0.25	0.04	nd	nd	nd	nd	1.18	1.30	1.24	0.06
66	1.60	1.65	1.62	0.03	0.92	0.86	0.89	0.03	0.05	0.06	0.05	0.01	0.14	0.24	0.19	0.05	nd	nd	nd	nd	1.04	1.21	1.13	0.08

nd = non detected

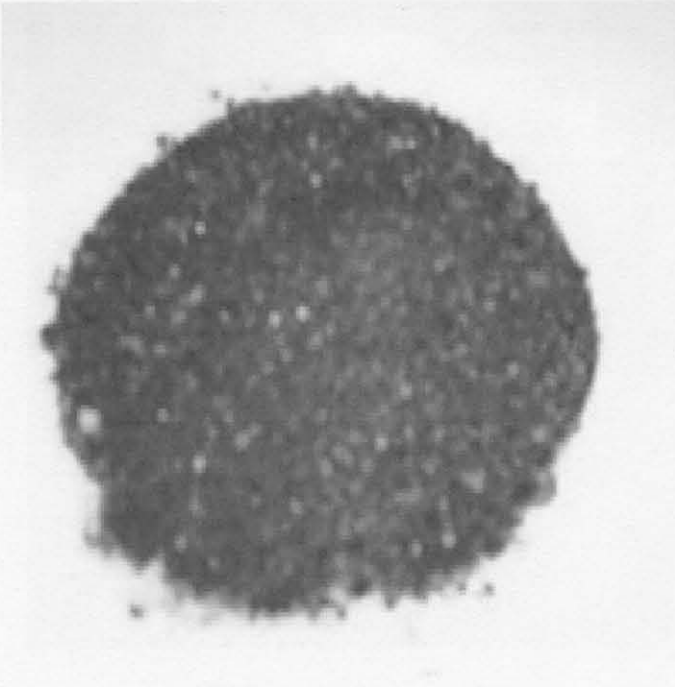
ตารางภาคผนวก ก-8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ชะละลายด้วย deionized water												ชะละลายด้วย K ₂ SO ₄ 0.05 โมล											
	Fe (mg/L)												Fe (mg/L)											
	ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				เด้าลอย				ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				เด้าลอย			
	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD
3	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	nd	nd	/	/	0.06	0.04	0.05	0.01	0.04	0.02	0.03	0.01	nd	nd	/	/
6	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	nd	nd	/	/	0.07	0.11	0.09	0.02	0.05	0.03	0.04	0.01	nd	nd	/	/
9	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	nd	nd	/	/	0.05	0.03	0.04	0.01	0.04	0.03	0.04	0.00	nd	nd	/	/
12	0.01	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	nd	nd	/	/	0.05	0.08	0.06	0.01	0.05	0.02	0.04	0.01	nd	nd	/	/
15	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	nd	nd	/	/	0.05	0.07	0.06	0.01	0.03	0.05	0.04	0.01	nd	nd	/	/
18	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	nd	nd	/	/	0.08	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	nd	nd	/	/
24	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	nd	nd	/	/	0.08	0.12	0.10	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	nd	nd	/	/
30	0.07	0.03	0.05	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	nd	nd	/	/	0.10	0.09	0.09	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	nd	nd	/	/
36	0.09	0.17	0.13	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	nd	nd	/	/	0.09	0.08	0.08	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	nd	nd	/	/
42	0.08	0.09	0.09	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	nd	nd	/	/	0.14	0.09	0.12	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	nd	nd	/	/
48	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	nd	nd	/	/	0.21	0.18	0.19	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	nd	nd	/	/
54	0.02	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	nd	nd	/	/	0.15	0.23	0.19	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	nd	nd	/	/
60	0.02	0.07	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	nd	nd	/	/	0.28	0.14	0.21	0.07	0.01	0.00	0.01	0.00	nd	nd	/	/
66	0.03	0.07	0.05	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	nd	nd	/	/	0.18	0.25	0.21	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	nd	nd	/	/

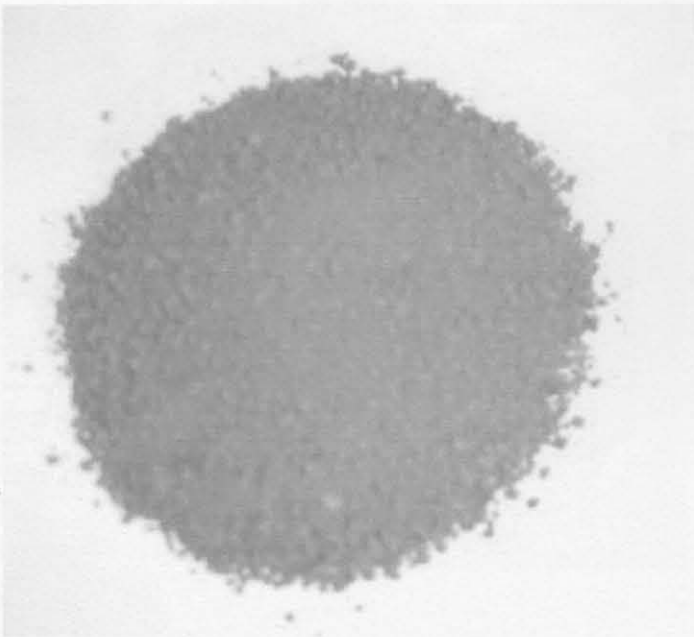
nd = non detected

ตารางภาคผนวก ค-8 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ชะละลายด้วย deionized water												ชะละลายด้วย K ₂ SO ₄ 0.05 โมล											
	Ca (mg/L)												Ca (mg/L)											
	ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย				ดินเหมืองแร่				ดินลูกรัง				ถ้ำลอย			
	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD	1	2	\bar{X}	SD
3	12.0	10.4	11.2	0.8	20.4	22.9	21.6	1.2	795.0	723.0	759.0	36.0	54.0	49.1	51.5	2.5	70.5	65.5	68.0	2.5	2450.0	2378.0	2414.0	36.0
6	13.5	11.2	12.3	1.2	31.4	32.9	32.1	0.7	1150.0	1300.0	1225.0	75.0	39.1	42.4	40.8	1.6	65.1	60.9	63.0	2.1	1320.0	1174.0	1247.0	73.0
9	11.0	10.2	10.6	0.4	25.2	21.7	23.5	1.8	1335.0	1525.0	1430.0	95.0	32.6	36.6	34.6	2.0	61.1	65.0	63.0	2.0	1012.0	878.0	945.0	67.0
12	11.4	9.8	10.6	0.8	15.0	10.4	12.7	2.3	455.0	367.0	411.0	44.0	31.0	34.8	32.9	1.9	40.2	30.2	35.2	5.0	820.0	712.0	766.0	54.0
15	9.3	7.1	8.2	1.1	23.0	31.1	27.0	4.1	378.0	240.0	309.0	69.0	32.9	37.0	34.9	2.0	19.3	12.0	15.7	3.6	1320.0	1404.0	1362.0	42.0
18	7.1	7.5	7.3	0.2	4.6	2.0	3.3	1.3	360.0	250.0	305.0	55.0	30.4	28.0	29.2	1.2	10.3	6.4	8.4	2.0	605.0	505.0	555.0	50.0
24	5.9	4.6	5.3	0.7	3.7	2.0	2.9	0.9	390.0	286.0	338.0	52.0	28.3	34.2	31.3	3.0	20.1	12.6	16.3	3.7	550.0	414.0	482.0	68.0
30	4.8	2.6	3.7	1.1	2.1	1.1	1.6	0.5	400.0	374.0	387.0	13.0	29.6	33.9	31.7	2.1	9.9	11.1	10.5	0.6	460.0	390.0	425.0	35.0
36	3.2	2.2	2.7	0.5	2.1	1.4	1.7	0.3	510.0	422.0	466.0	44.0	29.3	26.5	27.9	1.4	10.2	6.2	8.2	2.0	345.0	423.0	384.0	39.0
42	3.3	2.5	2.9	0.4	3.5	2.0	2.8	0.7	530.0	446.0	488.0	42.0	24.6	20.0	22.3	2.3	24.3	25.4	24.8	0.5	506.0	426.0	466.0	40.0
48	2.5	4.0	3.2	0.7	1.8	1.1	1.4	0.4	345.0	245.0	295.0	50.0	24.0	29.0	26.5	2.5	29.9	27.2	28.5	1.3	340.0	316.0	328.0	12.0
54	3.0	2.7	2.8	0.1	6.5	9.8	8.2	1.7	322.0	184.0	253.0	69.0	24.6	27.2	25.9	1.3	20.5	12.6	16.5	3.9	764.0	680.0	722.0	42.0
60	2.7	1.8	2.2	0.4	2.2	1.0	1.6	0.6	290.0	340.0	315.0	25.0	26.9	24.0	25.4	1.4	11.1	8.4	9.7	1.3	312.0	274.0	293.0	19.0
66	2.4	1.8	2.1	0.3	1.9	1.3	1.6	0.3	260.0	292.0	276.0	16.0	20.1	22.3	21.2	1.1	9.5	6.8	8.1	1.4	272.0	240.0	256.0	16.0



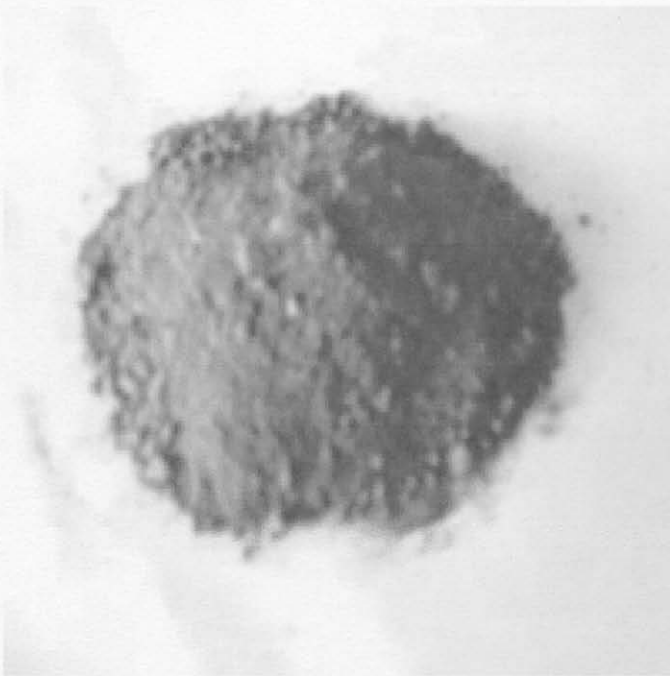
ภาพประกอบภาคผนวก ค-1 ดินปนปุ๋ยอินทรีย์



ภาพประกอบภาคผนวก ค-2 ดินลูกรัง



ภาพประกอบภาคผนวก ค-3 หินปูนฝุ่น



ภาพประกอบภาคผนวก ค-4 เถ้าลอย



ภาพประกอบภาคผนวก ค-5 ปุ๋นขาว



กองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

30 พฤศจิกายน 2549

เรื่อง ตอบรับคั่นฉบับเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เรียน นางสาวละออง วุฒิพันธุ์

ตามที่ท่านส่งคั่นฉบับ เรื่อง การดูดซับสารหนูของดินอุร้ง หินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอยในดินที่ปนเปื้อนสารหนู มายังกองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อพิจารณาตีพิมพ์นั้น กองบรรณาธิการฯ ได้ตรวจสอบตามกระบวนการตรวจสอบของกองบรรณาธิการฯ และท่านก็ได้แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและชี้แจงประเด็นที่ไม่แก้ไขแล้ว กองบรรณาธิการฯ จึงรับบทความของท่านลงตีพิมพ์ในวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวทท. ฉบับพิเศษ (ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา) ปี 2550

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล)

หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การดูดซับสารหนูของดินลูกรัง หินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอยในดินที่ปนเปื้อนสารหนู

ละออง วุฒิพันธุ์¹ ประวิทย์ โคววัฒน์² สุรพล อารีย์กุล³ และวีระศักดิ์ จงสูวิวัฒน์วงศ์⁴

Abstract

Wuthiphun, L.,¹ Towatana, P.,² Arrykul, S.³ and Chongsuvivatwong, V.⁴

Arsenic Adsorption of Lateritic Soil, Limestone Powder, Lime and Fly Ash on Arsenic Contaminated Soil

Arsenic adsorption efficiency of soil covering materials (lateritic soil, limestone powder, lime and fly ash) on arsenic contaminated soil obtained from Ronpiboon District, Nakhon Sri Thammarat Province to solve arsenic air pollution problem was investigated using batch experiments. The four types of the aforementioned soil covering materials were examined to determine their arsenic adsorption efficiency, equilibrium time as well as adsorption isotherms.

The results revealed that soil covering materials mixed with arsenic contaminated soil at 10 % w/w, the efficiency of arsenic adsorption of fly ash, lateritic soil, lime and limestone powder were 84, 60, 38 and 1 % respectively. The equilibrium time for lateritic soil at pH 4 was achieved within 4 hrs, whereas pH 7 and 12, the equilibrium time was 6 hrs. For fly ash, 2 hrs were required to reach the equilibrium at pH 12, while the equilibrium time was attained within 6 hrs at pH 4 and 7. Furthermore, lateritic soil possessed the high arsenic adsorption efficiency at pH 7 and 4 and best fit with the Langmuir isotherm. The fly ash showing the high arsenic adsorption efficiency at pH 12 and 7 fit the Freundlich isotherm at pH 12 and Langmuir isotherm at pH 7.

¹Department of Environmental Management, Faculty of Environmental Management, Tel : 06-8545784, e-mail : la_nall@yahoo.com ²Department of Earth Science, Faculty of Natural resources, ³Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, ⁴Epidemiology Unit, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112.

¹นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทรศัพท์ : 06-8545784, e-mail : la_nall@yahoo.com ²Ph.D.(Geochemistry) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, ³Ph.D.(Applied Geology) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์, ⁴Ph.D.(Epidemiology) ศาสตราจารย์นายแพทย์ หน่วยระบาดวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

This indicated that lateritic soil was suitable for arsenic adsorption at low pH, whilst the high pH, arsenic was well adsorbed by fly ash. The Freundlich and Langmuir isotherm could be used to determine quantities of soil covering materials for arsenic adsorption to prevent arsenic air pollution from arsenic contaminated soils.

Key words: arsenic, soil covering materials, contamination, adsorption, isotherm

บทคัดย่อ

ละออง วัสดุพันธุ' ประวิทย์ ไคว้คณะ' สุรพล อารีย์กุล' และวีระศักดิ์ จงสู่วิวัฒน์วงศ์'
การดูดซับสารหนูของดินลูกรัง หินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอยในดินที่ปนเปื้อนสารหนู

การศึกษานี้เป็นการหาประสิทธิภาพของดินลูกรัง หินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอยในการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินจาก อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช เพื่อลดผลกระทบของสารหนูที่สะสมอยู่ในดินไม่ให้ฟุ้งกระจายออกสู่อากาศ โดยใช้การทดลองแบบแบทช์ เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูของวัสดุทั้ง 4 ชนิด และหาเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุล ตลอดจนไอโซเทอมของการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนการผสมระหว่างวัสดุคลุมดินและดินเหมืองแร่ ที่ 10 % w/w ประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินในการดูดซับสารหนู จากมากไปหาน้อย ดังนี้ เถ้าลอย, ดินลูกรัง, ปูนขาว และ หินปูนฝุ่น โดยมีประสิทธิภาพ 84 %, 60 %, 38 % และ 1 % ตามลำดับ และจากการศึกษาเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของดินลูกรังพบว่าที่พีเอช 4 จะเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนที่พีเอช 7 และ 12 จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง สำหรับเถ้าลอยที่พีเอช 12 จะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนที่พีเอช 4 และ 7 จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง นอกจากนั้นพบว่าดินลูกรังมีสมมูลของการดูดซับสูงสุดที่ พีเอช 7 และ 4 และลักษณะการดูดซับเป็นแบบ Langmuir ส่วนเถ้าลอยมีสมมูลของการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 12 และ 7 และลักษณะการดูดซับที่พีเอช 12 เป็นแบบ Freundlich และพีเอช 7 เป็นแบบ Langmuir

จากผลการวิจัยบ่งชี้ได้ว่าดินลูกรังมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ดูดซับสารหนูได้ดีในสภาวะที่มีพีเอชต่ำ ส่วนเถ้าลอยมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ดูดซับสารหนูได้ดีในสภาวะที่มีพีเอชสูง นอกจากนี้ไอโซเทอม (Isotherm) ของ Langmuir และ Freundlich สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณวัสดุคลุมดินที่จะใช้ในการป้องกันการฟุ้งกระจายของสารหนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูสู่อากาศได้

สารหนูหากมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากเกินไปเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ อาจก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์ ทั้งโดยตรงและทางอ้อม ดังเช่น บริเวณ ค.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ซึ่งเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุก ทำให้มีเศษแร่อาร์เซนไพไรต์ (Arsenopyrite) ปะปนในดินและแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในดินบริเวณเหมืองแร่และบริเวณที่เขตที่กากแร่มีการเคลื่อนที่สู่อากาศและสามารถปนเปื้อนไปสู่อากาศโดยรอบในรูปของฝุ่นละออง เนื่องจากพื้นที่เหล่านั้นไม่มีพืชหรือสิ่งปกคลุมพื้นผิวดินในช่วงฤดูแล้ง เมื่อผิวดินแห้งและมีลมพัดผ่าน อากาศดินที่มีสารหนูปนเปื้อนเหล่านี้จะถูกลมพัดพาและฟุ้งกระจายไปทั่ว บางส่วนสามารถตกลงบนหลังคา และเมื่อฝนตกฝุ่นสารหนูที่สะสมอยู่บนหลังคาจะถูกชะล้างลงมายังภาชนะเก็บน้ำฝน ทำให้น้ำฝนมีการปนเปื้อนสารหนูด้วย นอกจากนี้สารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ดิน และน้ำฝน สามารถแพร่เข้าสู่ร่างกายประชาชนในบริเวณ ค.ร่อนพิบูลย์ และอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ (กิตติยา, 2542) ซึ่งการปนเปื้อนของสารหนูดังกล่าว มีแหล่งที่มาที่สามารถระบุได้ 2 บริเวณ คือ (1) พื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองแร่ดีบุกบนเขาร่อนมา-สวนจันทร์ และ โรงแต่งแร่ซึ่งมีกองกากแร่ สารหนู ที่เกิดจากการแยกแร่จะมีสารหนูเจือปนสูง 1-30 % กองกากแร่เหล่านี้ถูกทิ้งไว้ใน 7 บริเวณ คิดเป็นปริมาณรวมประมาณ 2,500 ต.ม. และ (2) พื้นที่ราบตะกอนเชิงเขาและตะกอนน้ำพา ซึ่งมีสารหนูปนเปื้อนในระดับสูงกว่า 50 มก./กก. ถึง 80 % ของพื้นที่สำรวจ และยังพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายของประชาชนใน ค.ร่อนพิบูลย์ อ. ร่อนพิบูลย์ คือ หมู่ที่ 1, 2, 12 และ 13 นอกจากนี้ความเสี่ยงต่อการได้รับสารหนู เกิดจากการทำกิจกรรมในบริเวณที่มีฝุ่นสารหนู การสัมผัสดินโดยตรง และการดื่มน้ำฝนที่มีสารหนูปนเปื้อน (อนงค์, 2540 และ กิตติยา, 2542) ดังนั้นหากมีมาตรการเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารหนูในดิน ไม่ให้เคลื่อนที่ขึ้นสู่อากาศและกลายเป็นฝุ่นที่มีสารหนูปนเปื้อน ก็อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบ รวมถึงลดความเสี่ยงต่อการได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายของประชาชนได้

งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินซึ่งได้แก่ ดินลูกรัง หินปูนฝุ่น ปูนขาว และถ่านขี้ ใน การดูดซับสารหนูและอ้างว่าวัสดุชนิดใดมีความสามารถในการดูดซับสารหนูได้ดี แล้วจะดูนำไปใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของสารหนูสู่อากาศ โดยการตรึงสารหนูไว้กับดินเพื่อป้องกันการปนเปื้อนไปสู่อากาศและสิ่งแวดล้อม โดยรอบในรูปของฝุ่นละออง

วิธีการทดลอง

การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินที่มีสารหนูปนเปื้อนจากบริเวณ โรงแต่งแร่เก่า อ.ร่อนพิบูลย์ และดินลูกรังจากบ่อกักน้ำขวด อ.ชะอวด จ.นครศรีธรรมราช โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample จากผิวดินจนถึงระดับความลึก 30 ซม. มาหลายๆ จุด แล้วมาผสมกัน และเก็บถ่านขี้มาจากเตาเผาขยะจังหวัดภูเก็ต นำตัวอย่างดินเหมืองแร่และดินลูกรังมาผึ่งลมจนแห้ง ส่วนหินปูนฝุ่น ปูนขาวและถ่านขี้นำไปอบที่ 103 – 105 °C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 2 มม. เก็บส่วนที่ผ่านตะแกรง (ขนาดเล็กกว่า 2 มม.) ไว้ในภาชนะ polyethylene เพื่อป้องกันการปนเปื้อน จนกว่าจะทำการวิเคราะห์พีเอช (ดิน : น้ำ = 1:5), ค่าความนำไฟฟ้า (ดิน : น้ำ = 1:5), ปริมาณสารอินทรีย์ (Walkley & Black Method), ปริมาณเหล็กทั้งหมดและปริมาณแคลเซียมทั้งหมด วิเคราะห์ตามมาตรฐานของ Method of Soil Analysis แล้ววัดปริมาณ โดยใช้ Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) ของ Varian รุ่น Spectra 220, Australia (Klute, 1986 and Page *et al.*, 1982) ส่วนปริมาณสารหนูทั้งหมดวิเคราะห์ตาม method 200.9 ของ US.EPA ซึ่งสกัดโดยใช้

(1+1) HNO₃ : (1+4) HCl เท่ากับ 4 : 10 แล้วนำไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มล. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำน้ำส่วนใสไปวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดด้วย Graphite Atomic Absorption Spectrophotometer (GASS) ของ PerkinElmer รุ่น Optima 2000 DV, USA (Creed *et al.*, 1994)

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุคลุมดิน

การวางแผนการทดลองจะใช้(วัสดุคลุมดิน+ดินเหมืองแร่): น้ำ = 1:4 ดัง Table 1 และกำหนดให้อัตราส่วนการผสมระหว่างวัสดุคลุมดินแต่ละชนิด และดินเหมืองแร่เป็นดังนี้คือ 2 4 6 8 และ 10 (%w/w) แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มล. นำไปเขย่า 48 ชม. จากนั้นกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C นำน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์พีเอช, ค่าความนำไฟฟ้า, ปริมาณสารอินทรีย์, ปริมาณเหล็ก, ปริมาณแคลเซียม และปริมาณสารหนู เพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินทั้ง 4 ชนิดในการดูดซับสารหนู ทั้งนี้เพื่อคัดเลือกวัสดุคลุมดินที่มีประสิทธิภาพสองชนิดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

Table 1 The experimental design for the determination of arsenic adsorption efficiency of soil covering materials (4 types)

Treatment	Treatment Description
1	As contaminated Soil(25 g) + Deionized Water(100 ml)
2	(Lateritic soil+ As contaminated Soil)* 25 g + Deionized Water(100 ml)
3	(Limestone powder + As contaminated Soil)* 25 g + Deionized Water(100 ml)
4	(Lime+ As contaminated Soil)* 25 g + Deionized Water(100 ml)
5	(Fly ash+ As contaminated Soil)* 25 g + Deionized Water(100 ml)

Note : * The amounts of soil covering materials in the As contaminated soil were 2, 4, 6, 8 and 10% (w/w) for each treatment.

การศึกษาระยะเวลาสัมพัทธ์เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับสารหนู

จากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนูบนวัสดุคลุมดินชนิดต่างๆ ทำให้ทราบว่าดินลูกรังและเถ้าลอย มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับสารหนู ดังนั้นจึงใช้ดินลูกรังและเถ้าลอยมาทำการศึกษาโดยการทดลอง ได้ใช้ปริมาณวัสดุคลุมดิน 2 ก/สารละลายสารหนู 50 มล. (ความเข้มข้นของสารละลายสารหนู (Na₂HAsO₄·7H₂O) เท่ากับ 100 มก. สารหนู/ล.) และเติมโซเดียมคลอไรด์(NaCl) 0.05 โมลาร์ เพิ่ม ionic strength เพื่อให้สารละลายที่ใช้ทดลองมีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับน้ำที่อยู่ในช่องว่างของเม็ดดินตามธรรมชาติ (Mopoung and Thavornyutikam, 2004) และทำการทดลองที่ พีเอช 4, 7 และ 12 (±0.05) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปเขย่าภายใต้อุณหภูมิ 25 °C และเก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดไว้ เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 - 24 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างที่เขย่าแล้วไปทำการห้วงที่ความเร็ว 16,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที (Pierce and Moore, 1980) แล้วนำตัวอย่างน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู โดยวิธี Colorimetry Molybdenum Blue (Johnson and Pilson, 1972)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนูบนวัสดุคลุมดิน

ใช้ปริมาณวัสดุคลุมดิน 2 ก./สารละลายสารหนู 50 มล. ซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายสารหนู ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เริ่มต้นเท่ากับ 25, 50, 100, 150 และ 200 มก.สารหนู/ล. ทำการทดลองที่ พีเอช 4, 7 และ 12 (± 0.05) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปเขย่าภายใต้อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำตัวอย่างที่เขย่าแล้วไปทำการหะวียงที่ความเร็ว 16,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำตัวอย่างน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู โดยวิธี Colorimetry Molybdenum Blue (Johnson and Pilson, 1972)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษสมบัติของดินเหมืองแร่และวัสดุคลุมดิน

ตัวอย่างของดินเหมืองแร่ที่นำมาศึกษา (Table 2) มีปริมาณทั้งหมดของสารหนูและเหล็กสูงมากเนื่องจากเป็นตัวอย่างดินเหมืองแร่ที่นำมาจากบริเวณโรงแต่งแร่เก่าของบริษัทแห่งหนึ่งที่ อ.ร่อนพิบูลย์ โดยสารหนูที่พบอยู่เป็นผลจากการสลายตัวของแร่อาร์เซนไพไรต์ ตัวอย่างดินนี้จึงสามารถใช้เป็นตัวแทนของดินเหมืองแร่ที่พบอยู่ทั่วไปในอ. ร่อนพิบูลย์ ได้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าดินเหมืองแรมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.60 ซึ่งไม่เป็นกรดตามที่คาดว่าจะพบอยู่ในดินเหมืองแร่ทั่วไป ที่มีการปนเปื้อนของแร่อาร์เซนไพไรต์และการที่พีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้นนี้ อาจเนื่องมาจากในภาคใต้มีอากาศร้อนชื้นและฝนตกชุก เมื่อดินเหมืองแร่ถูกน้ำฝนชะล้างเป็นระยะเวลานานหลายๆ ปี ไฮโดรเจนไอออน ที่อยู่ในดินจะถูกชะล้างออกไปจากหน้าตัดดินทำให้พีเอชของดินสูงขึ้น สำหรับดินลูกรังมีค่า พีเอชเท่ากับ 5.02 เมื่อใส่ลงในดินเหมืองแร่ จะทำให้ดินเหมืองแรมีพีเอชลดลง และดินลูกรังยังมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำ นอกจากนั้นปริมาณเหล็กที่มีอยู่สูงจะทำให้สามารถดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินได้มากขึ้น(สุรพล, 2531) สำหรับหินปูนฝุ่น ปูนขาวและเถ้าลอย นอกจากจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่สูงมาก ยังมีพีเอชและค่าความนำไฟฟ้าสูง เมื่อใส่ลงในดินเหมืองแร่จะมีผลทำให้ดินเหมืองแรมีพีเอชสูงมาก เป็นผลทำให้ดินมีสมบัติไม่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการปลูกพืชคลุมดินที่จะถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของดินที่มีสารหนูปนเปื้อน

Table 2 The chemical properties of arsenic contaminated soil collected from Rongpiboon District, Nakhon Sri Thammarat Province and soil covering materials.

Parameters	As contaminated soil	Lateritic soil	Limestone powder	Lime	Fly ash
pH	7.60±0.03	5.02±0.06	8.98±0.02	12.58±0.02	12.10±0.02
Electric Conductivity (µs/cm)	74±3.26	20±0.53	156±0.49	9,850±179.69	38,366±880.66
Organic Matter (%)	0.56±0.01	0.58±0.01	4.14±0.06	18.27±0.15	4.99±0.11
Total As (mg/kg)	78±0.23	21±0.07	13±0.03	17±0.04	13±0.12
Total Fe (mg/kg)	3,504±8.73	15,391±80.98	20±1.81	1±0.24	3,871±11.00
Total Ca (mg/kg)	278±2.47	52±0.62	101,135±79.60	112,542±79.05	75,804±73.00

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุคลุมดิน

ผลการศึกษาวัสดุคลุมดินสำหรับดินเหมืองแร่ที่มีสารหนูปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินที่สามารถดูดซับสารหนูได้มากที่สุดที่ 10% w/w จากมากไปน้อย ได้แก่ แฉาลอย ดินลูกรัง ปูนขาว และ หินปูนฝุ่น โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนู 84%, 60%, 38% และ 1% ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งแสดงว่าแฉาลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูสูงสุดและหินปูนฝุ่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูน้อยที่สุด

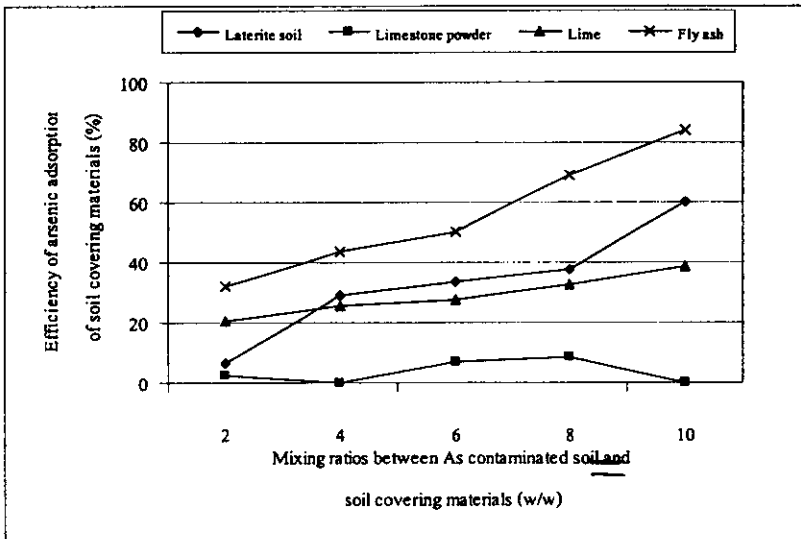


Figure 1 Efficiency of arsenic adsorption of soil covering materials (4 types)

ผลการศึกษาระยะเวลาสัมพัทธ์เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับสารหนู

ผลการทดลองปรากฏอยู่ในกราฟแสดงระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยดินลูกรัง และ แฉาลอย (Figure 2 และ 3) โดยพบว่าที่พีเอช 4 ดินลูกรังจะเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลาประมาณ 240 นาที ที่พีเอช 7 และ 12 จะใช้เวลาประมาณ 360 นาที ส่วนแฉาลอยที่พีเอช 12 จะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลาประมาณ 120 นาที ที่พีเอช 4 และ 7 จะใช้เวลาประมาณ 360 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับของสารหนู โดยพบว่าที่พีเอชต่ำ ดินลูกรังจะสามารถดูดซับสารหนูได้ดีกว่าแฉาลอย เนื่องจาก $Fe(OH)_3$ ในดินลูกรังจะทำปฏิกิริยาร่วมกันกับสารหนูที่อยู่ในรูป $HAsO_4^{2-}$ และเกิดการตกตะกอนได้ $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$ (scorodite) (Wilson and Hawkin, 1987) แต่ที่พีเอชสูง แฉาลอยจะสามารถดูดซับสารหนูได้ดีกว่าดินลูกรัง เนื่องจากในแฉาลอยจะมี $Ca(OH)_2$ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถดูดซับหรือรวมตัวกับสารหนูแล้วเกิดการตกตะกอนและการตกตะกอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Ca-As-O เช่น $Ca_3(OH)_2(AsO_4)_2 \cdot 4H_2O$ และ $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 3/2 H_2O$ (Moon et al., 2004 และ Nishimura et al., 1985)

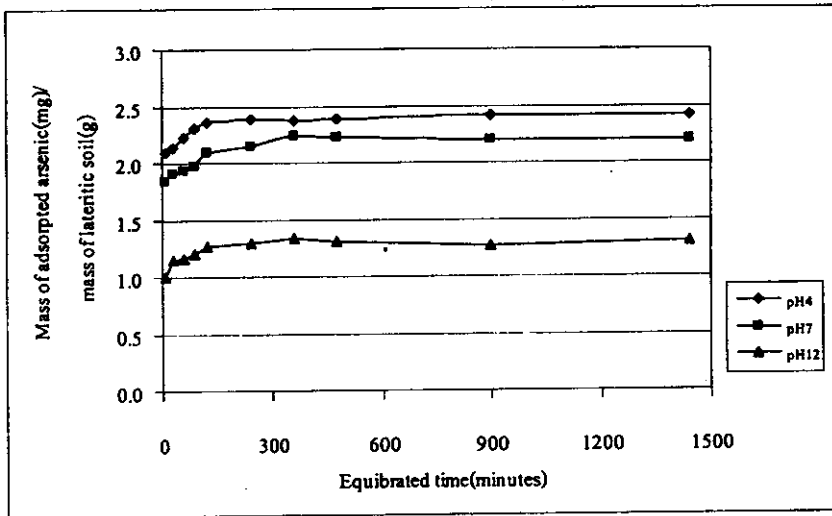


Figure 2 Reaction time for arsenic adsorbed by lateritic soil to achieve equilibrium

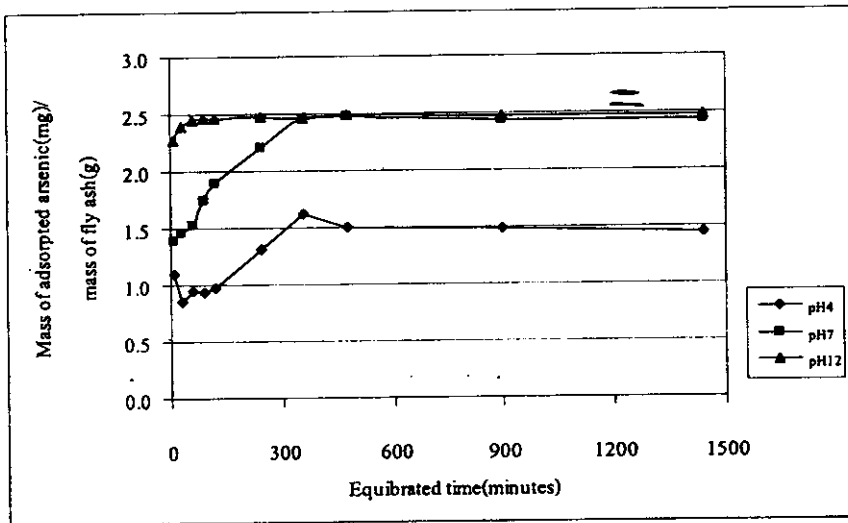


Figure 3 Reaction time for arsenic adsorbed by fly ash to achieve equilibrium

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนูบนวัสดุคลุมดิน

ความสามารถในการดูดซับของสารหนูสามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอมของการดูดซับ ซึ่งก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักหรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ยังคงเหลืออยู่ที่จุดสมดุลของการดูดซับ (Schuliger, 1978) โดยการพิจารณาเลือกไอโซเทอมนั้นจะพิจารณาจากค่าคงที่ของการดูดซับควบคู่กับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-1 โดยค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่ามีความน่าเชื่อถือต่ำสุด ส่วนค่าที่เข้าใกล้ 1 หมายความว่ามีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด แบบจำลองที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ที่มีอยู่สองรูปแบบคือ Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm ดังสมการที่ (1) และ สมการที่ (2)

Freundlich Isotherm $q = x/m = KC_r^{1/n}$ (1)

Langmuir Isotherm $1/q = (1/C_r)(K_A * q_m) + (1/q_m)$ (2)

- เมื่อ q คือ มวลของสารหนูที่ถูกดูดซับต่อมวลของวัสดุคลุมดิน
 C_r คือ ความเข้มข้นของสารหนูที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล, มก./ล.
 x คือ มวลของสารหนูที่ถูกดูดซับ, มก.
 m คือ มวลของวัสดุคลุมดิน, มก.
 K, n, q_m และ K_A คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

เมื่อพิจารณาผลการศึกษานี้ตามสภาวะพีเอชที่ทดลองดัง Table 3 (Figure 5 และ Figure 7) พบว่าที่ พีเอช 7 และ 4 ความสามารถในการดูดซับสารหนูของดินลูกรังจะสูงที่สุด เนื่องจากที่พีเอช 4 ถึง 7 มีการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีกว่าพีเอชอื่น เพราะดินที่ใช้ศึกษานั้นเป็นดินธรรมชาติ ซึ่งมีค่า pH_{pzc} อยู่ที่พีเอชประมาณ 4 ถึง 5 ดังนั้นที่พีเอช 4 หรือต่ำกว่า ประจุรวมบนผิวหน้าจะเป็นประจุบวกทำให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น ในขณะที่พีเอชที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ประจุรวมที่ผิวหน้าดินจะเป็นลบมากขึ้น ดังนั้นการดูดซับของสารหนูจึงเกิดได้น้อยลง (ธนัษฐพร และคณะ, 2548; Sabine, 2002 และ Mopoung and Thavornmyutikam, 2004) และจากค่า R^2 (Linear Regression) ของ ไอโซเทอมการดูดซับทั้งสองจะพบว่าสมมูลของการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบ Langmuir มากกว่า Freundlich แต่ทั้งนี้ค่า R^2 มีค่าสูงใกล้เคียงกันมากทั้งสองสมการจึงถือว่าทั้งสองสมการก็มีความเหมาะสมที่จะนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของดินลูกรังกับความสามารถในการดูดซับสารหนูภายใต้สภาวะที่ทำการทดลองได้

จาก Table 4 (Figure 4 และ Figure 6) พบว่าที่พีเอช 12 และ 7 ความสามารถในการดูดซับสารหนูของ แฉาลอยจะสูงที่สุดเนื่องจากในแฉาลอยจะมีองค์ประกอบของ $Ca(OH)_2$ อยู่สูงมาก นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางแร่วิทยาซึ่งประกอบไปด้วยผลึกแร่ของ $KCl, NaCl, CaCO_3, Ca(OH)_2, CaSO_4, CaCl_2, CaClOH, CaSO_4 \cdot 2H_2O$ และ $K_{86.5}Al_{86.5}Si_{105.5}O_{384}$ (พจนินัย, 2545) และ $Ca(OH)_2$ จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง (Ricou *et al.*, 1999) จึงทำให้สามารถดูดซับสารหนูได้ดีมาก รวมถึงสารหนูที่ละลายอยู่ในน้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนและมีพีเอชสูง สารหนูจะอยู่ในรูปของ AsO_4^{3-} จึงสามารถทำปฏิกิริยาร่วมกันกับ $Ca(OH)_2$ แล้วตกตะกอนได้ $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 3^{2/3} H_2O$ (Ferguson and Gavis, 1972 และ Nishimura *et al.*, 1985) และจากค่า R^2 (Linear Regression) ของ ไอโซเทอมการดูดซับทั้งสอง จะพบว่าสมมูลของการดูดซับที่พีเอช 12 มีแนวโน้มเป็นแบบ Freundlich แต่ขณะเดียวกันที่ พีเอช 7 จะพบว่าสมมูลของการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบ Langmuir

Table 3 Freundlich Isotherm for arsenic adsorption of lateritic soil and fly ash

Lateritic soil	$q = KC_f^{1/n}$	Slope	n	K	R ²
pH 4	$q = 322.62C_f^{0.6801}$	0.6801	1.47	322.62	0.983
pH 7	$q = 189.37C_f^{0.7182}$	0.7182	1.39	189.37	0.979
pH 12	$q = 52.97C_f^{0.7916}$	0.7916	1.26	52.97	0.883
Fly ash					
pH 4	$q = 23.27C_f^{1.0739}$	1.0739	0.93	23.27	0.936
pH 7	$q = 132.34C_f^{0.9592}$	0.9592	1.04	132.34	0.967
pH 12	$q = 569.38C_f^{0.7386}$	0.7386	1.35	569.38	0.989

Table 4 Langmuir Isotherm for arsenic adsorption of lateritic soil and fly ash

Lateritic soil	$1/q = (1/C_p)(K_A * q_m) + (1/q_m)$	Slope	q_m	K_A	R ²
pH 4	$1/q = (1/C_p)4.2689 + 0.1522$	4.2689	<u>6.57</u>	0.04	0.987
pH 7	$1/q = (1/C_p)7.9051 + 0.1657$	7.9051	6.04	0.02	0.994
pH 12	$1/q = (1/C_p)4.2689 + 0.1522$	4.2689	1.95	0.02	0.772
Fly ash					
pH 4	$1/q = (1/C_p)44.6180 - 0.3192$	44.6180	-3.13	-0.01	0.936
pH 7	$1/q = (1/C_p)9.0709 - 0.0550$	9.0709	-18.18	-0.01	0.977
pH 12	$1/q = (1/C_p)1.6508 + 0.1672$	1.6508	5.98	0.10	0.988

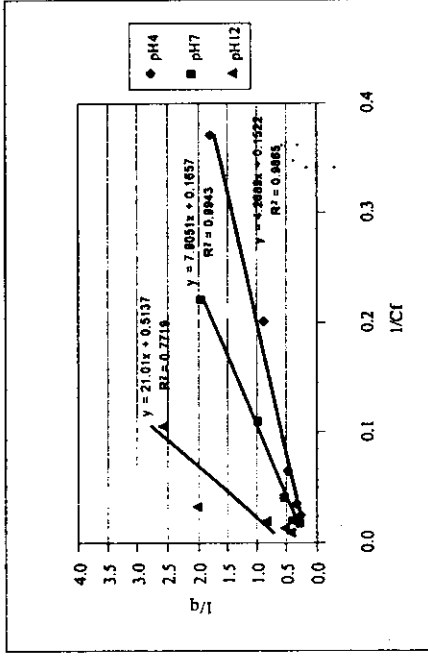


Figure 4 Langmuir isotherm of lateritic soil for arsenic adsorption

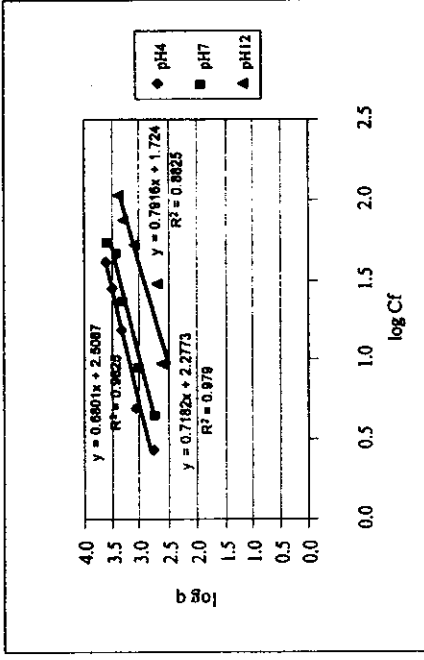


Figure 5 Freundlich isotherm of lateritic soil for arsenic adsorption

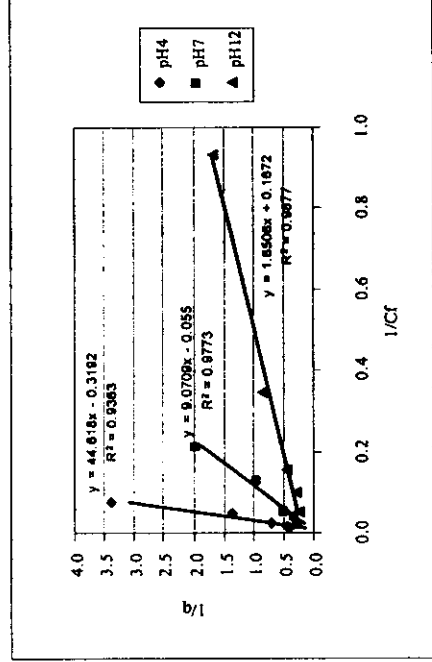


Figure 6 Langmuir isotherm of fly ash for arsenic adsorption

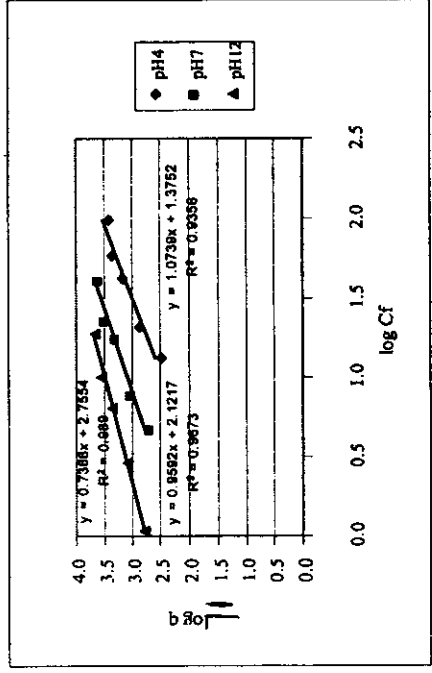


Figure 7 Freundlich isotherm of fly ash for arsenic adsorption

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดิน 4 ชนิด ที่นำมาใช้ดูดซับสารหนูเพื่อตรึงสารหนูไม่ให้เคลื่อนที่สู่ผิวดิน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพของวัสดุคลุมดินในการดูดซับสารหนูในดินเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ใ้ถ้อย ดินลูกรัง ปูนขามและ หินปูนฝุ่น ตามลำดับ
- 2) ดินลูกรังมีระยะเวลาสัมผัสเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลภายในเวลาประมาณ 240 นาที ที่พีเอช 4 และ 360 นาที ที่พีเอช 7 และ 12 ส่วนใ้ถ้อยจะเข้าสู่ภาวะสมดุลภายในเวลาประมาณ 120 นาที ที่พีเอช 12 และ 360 นาที ที่พีเอช 4 และ 7
- 3) ดินลูกรังมีความสามารถในการดูดซับสารหนูสูงสุดที่พีเอช 7 และ 4 และ สมดุลของการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบ Langmuir ส่วนใ้ถ้อยพบว่ามีความสามารถในการดูดซับสารหนูสูงสุดที่พีเอช 12 และ 7 และสมดุลของการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบ Freundlich และ Langmuir ตามลำดับ นอกจากนี้ ไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณวัสดุคลุมดินที่จะใช้ในการป้องกันการฟุ้งกระจายของสารหนูสู่อากาศในดินที่ปนเปื้อนสารหนูได้
- 4) ดินลูกรังและใ้ถ้อยเป็นวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายในจังหวัดนครศรีธรรมราช และมีความสามารถในการดูดซับสารหนู ได้ค่อนข้างดี จึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินในพื้นที่ที่ปนเปื้อนสารหนูในอำเภอรัตนัญญ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของสารหนูสู่ผิวดินและอากาศ
- 5) ถึงแม้ว่าใ้ถ้อยจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนู ในดิน ได้สูงกว่าดินลูกรัง แต่หากนำใ้ถ้อยไปเป็นวัสดุคลุมดินจะทำให้พีเอช และค่าความนำไฟฟ้าของดินที่ปนเปื้อนสารหนุมีค่าสูง ทำให้ดินมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชคลุมดิน ดังนั้นดินลูกรังที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้รองลงมา จึงมีความเหมาะสมมากที่สุดในการเป็นวัสดุคลุมดินที่ปนเปื้อนสารหนูเนื่องจากดินลูกรัง จะทำให้พีเอชของดินเป็นกลางมากขึ้น และดินลูกรังยังมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำเมื่อใส่ลงไปดินจะไม่ไปเพิ่มความเค็มให้กับดินทำให้สมบัติของดินมีความเหมาะสมสำหรับปลูกพืชคลุมดิน โดยพืชคลุมดินก็เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่มีสารหนูปนเปื้อนไปสู่อากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาสุขภาพภาคใต้ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติยา รัชวงศ์. 2542. พฤติกรรมเสี่ยงและแหล่งที่มาของการได้รับสารหนูในเด็กในนักเรียน ตำบลรัตนัญญ์ อำเภอรัตนัญญ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
2. ชนัชพร อยู่ยังยืน และคณะ. 2548. พฤติกรรมการดูดดื่มและเคลื่อนที่ของอาร์เซนดในชั้นน้ำใต้ดิน. ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย วันที่ 19-21 มกราคม 2548 โรงแรมแอมบาซาตราเคอร์ จีดี จอมเทียน พัทยา.

3. พงนิษฐ์ แสนเจริญ. 2545. การนำเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วน.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ตำนาน)
4. สุรพล อารีย์กุล. 2531. การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อม. ในเอกสารการประชุมวิชาการผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ต่อสิ่งแวดล้อม. วันที่ 12-13 พฤษภาคม 2531. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ จังหวัดเชียงใหม่
5. อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์. 2540. สถานการณ์ปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. ในการประชุมเสนอผลงานการแก้ไขปัญหาการแพร่กระจายของสารหนู อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. จัดโดยกรมทรัพยากรธรณี วันที่ 2 กรกฎาคม 2540 โรงแรมนิวกี๊ กรุงเทพมหานคร.
6. Creed, J.T., Matin, T.D. and O'Dell, J.W. 1994. **Method 200.9 Determination of Trace Elements by Stabilized Temperature Graphite Furnace Atomic Absorption.** Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio.
7. Eisenberg, S.H., Tittlebaum, M.E., Eaton, H.C. and Soroczack, M.M. 1986. Chemical Characteristics of Selected Fly Ash Leachates. **J. Environ. Sci. Health A21**, 383-402.
8. Ferguson, J.F. and Gavis, J. 1972. A Review of the Arsenic Cycle in Natural Waters. **Wat. Res.** 6, 1259-1274.
9. Johnson, D.L. and Pilson, M.E.Q. 1972. Spectrophotometric Determination of Arsenic, Arsenate and Phosphate in Natural Water. **Anal. Chim. Acta.** 58, 289-298.
10. Moon, H. D., Dermatas, D. and Menounou, N. 2004. Arsenic Immobilization by Calcium-Arsenic Precipitates in Lime Treated Soils. **J. Sci. Tot. Env.** 330, 171-185.
11. Mopoung, S. and Thavornyutikarn, P. 2004. Adsorption of Arsenate on Clays. **NU Sci.J.** 1(1), 1-10.
12. Nishimura, T. C. T., Tozawa, K. and Robins, R.G. 1985. The Calcium-Arsenic-Water-Air System. In 15th **Annual Hydrometallurgical Meeting of CIM.** Proceedings of Impurity Control and Disposal, Vancouver, Canada. August 1985. pp. 2/1-2/19.
13. Klute, A. 1986. **Methods of Soil Analysis Part 1 ; Physical and Mineralogical Methods 2nd ed.**, American Society of Agronomy & Soil Science Society of America Publisher, Wisconsin, USA.
14. Page, A.L., Miller, R.H. and Keemey, D.R. 1982. **Methods of Soil Analysis Part 2 ; Chemical and Microbiological Properties 2nd ed.**, American Society of Agronomy & Soil Science Society of America Publisher, Wisconsin, USA.
15. Pierce, M.L. and Moore, C.B. 1980. Adsorption of Arsenic on Amorphous Iron Hydroxide from Dilute Aqueous Solution. **Environ. Sci. Technol.** 14, 214-216.
16. Ricou, P., Hequet, V., Lecuyer, I. and Le Clorirec, P. 1999. Influence of Operating Condition on Heavy Metal Cation Removal by Fly Ash in Aqueous Solutions. In **international Ash Utilization Symposium**, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, pp. 42 .

17. Sabine, G. 2002. Competitive Adsorption of Arsenate Arsenite on Oxide and Clay Minerals. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, 66, 413-421.
18. Schuliger, W.G. 1978. Purification of Industrial Liquids with Granular Activated Carbon : Techniques for Obtaining and Interpreting Data and Electing the Type of Commercial System. In **Carbon Adsorption**. pp. 56-58.
19. Wilson, F.H. and Hawkin, D.B. 1987. Arsenic in Stream Sediments and Groundwater (Fairbank Area Alaska). **Environ. Geo.** 2, 195-202.