

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	2
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารหนู	2
1.2.2 ปฏิกิริยาทางเคมีของสารหนูในธรรมชาติ	2
1.2.3 การสลายตัวของแร่ที่มีสารหนู	4
1.2.4 กระบวนการทางเคมีของสารหนูที่แพร่กระจายลงสู่ดิน	4
1.2.5 ไดอะแกรม Eh-pH ของสารหนู	5
1.2.6 การปนเปื้อนของสารหนูในอากาศ	7
1.2.7 เทคโนโลยีการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู	7
1.2.8 การดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ	9
1.2.9 คุณสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุที่นำมาใช้คลุมดิน	11
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
1.4 วัตถุประสงค์	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
2 วิธีการวิจัย	16
2.1 วัสดุ	16
2.1.1 วัสดุที่นำมาใช้คลุมดินที่ปนเปื้อนสารหนู	16
2.1.2 ตัวอย่างดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู	16
2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	16
2.2 อุปกรณ์	17
2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบดตัวอย่างดิน	17
2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการทางเคมี	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารหนู เหล็กและแคลเซียม	18
2.2.4 อุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองแบบคอสมันน์	18
2.3 ขอบเขตและวิธีการวิจัย	18
2.3.1 ขอบเขตการวิจัย	18
2.3.2 วิธีการวิจัย	19
2.3.3 เปรียบเทียบข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ได้จากห้องปฏิบัติการ	24
2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	24
3 ผลการทดลองและการอภิปราย	28
3.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน	28
3.2 การทดลองแบบกะ	29
3.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูด้วยวัสดุคลุมดิน	29
3.2.2 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสเพื่อเข้าสู่สถานะสมดุลของการดูดซับสารหนู	30
3.2.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารหนุบนวัสดุคลุมดิน	32
3.3 การทดลองแบบต่อเนื่อง	36
3.3.1 การบดอัดดิน	36
3.3.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน	38
3.3.3 การทดสอบการชะละลาย	39
3.3.4 ความสัมพันธ์ทางสถิติของตัวแปรที่ทำการศึกษา	50
4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
4.1 สมบัติของดินที่ปนเปื้อนสารหนูและวัสดุคลุมดิน	67
4.2 การทดลองแบบกะ	67
4.3 การทดลองแบบต่อเนื่อง	68
4.4 ข้อเสนอแนะด้านการวิจัย	69
บรรณานุกรม	70

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	75
ก การวัดปริมาณสารหนู โดยวิธี colorimetry molybdenum blue	76
ข ผลการทดสอบความหนาแน่นแบบมาตรฐาน	80
ค ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง	85
ประวัติผู้เขียน	103

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1-1 ความเข้มข้นของอาร์ซีเนตในสารละลายที่อยู่ในสภาพสมดุลกับ calcium arsenate magnesium arsenate และ iron (III) arsenate	13
2-1 การวางแผนการทดลอง	20
3-1 สมบัติของดินเหนืองแร่และวัสดุกลุ่มดิน	28
3-2 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Freundlich	33
3-3 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Langmuir	33
3-4 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน	38
3-5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตัวแปรในชุดการทดลองแบบกะ	52

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 โคออร์ดิเนต Eh-pH ของสารหนู	5
1-2 โคออร์ดิเนต Eh-pH ของสารหนูและเหล็ก	6
1-3 กราฟของ Freundlich Isotherm เพื่อหาค่า $K$ และ $n$	10
1-4 กราฟของ Langmuir Isotherm เพื่อหาค่า $K_A$ และ $q_m$	11
2-1 พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนู	17
2-2 การทดลองแบบกะ (batch adsorption test)	21
2-3 Proctor mold	22
2-4 Rammer	22
2-5 Column leaching test (constant head test)	25
2-6 แสดงชุดการทดลอง column leaching test	25
2-7 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	26
2-8 ขั้นตอนดำเนินการทดลองแบบกะ	27
3-1 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู โดยวัสดุคลุมดินทั้ง 4 ชนิด	30
3-2 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยดินลูกรัง	31
3-3 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยถ่านลอย	31
3-4 กราฟ Freundlich Isotherm ของดินลูกรัง	34
3-5 กราฟ Freundlich Isotherm ของถ่านลอย	34
3-6 กราฟ Langmuir Isotherm ของดินลูกรัง	35
3-7 กราฟ Langmuir Isotherm ของถ่านลอย	35
3-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความหนาแน่นของชุดดินเหมืองแร่ 100% w/w	37
3-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความหนาแน่นของชุดดินเหมืองแร่ผสมดินลูกรัง 20% w/w	37
3-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความหนาแน่นของชุดดินเหมืองแร่ผสมถ่านลอย 10% w/w	38
3-11 ปริมาณสารหนูกับเวลาของ T1 และ T2 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	41
3-12 ปริมาณสารหนูกับเวลาของ T1 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	41
3-13 ปริมาณสารหนูกับเวลาของ T1 T2 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	42
3-14 ปริมาณสารหนูสะสมเมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	42

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-15 พีเอชกับเวลาของ T1 และ T2 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	44
3-16 พีเอชกับเวลาของ T1 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	44
3-17 พีเอชกับเวลาของ T1 T2 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	45
3-18 ค่าการนำไฟฟ้ากับเวลาของ T1 และ T2 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	46
3-19 ค่าการนำไฟฟ้ากับเวลาของ T1 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	46
3-20 ค่าการนำไฟฟ้ากับเวลาของ T1 T2 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	47
3-21 ปริมาณเหล็กกับเวลาของ T1 และ T2 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	48
3-22 ปริมาณเหล็กกับเวลาของ T1 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	48
3-23 เหล็กกับเวลา T1 T2 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	49
3-24 ปริมาณแคลเซียมกับเวลาของ T1 และ T2 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	50
3-25 ปริมาณแคลเซียมกับเวลาของ T1 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	50
3-26 ปริมาณแคลเซียมกับเวลาของ T1 T2 และ T3 เมื่อถูกชะละลายด้วย deionized water และ $K_2SO_4$ 0.05 โมล	51
3-27 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณสารหนู ในชุดการทดลองด้วยดินลูกรัง	54
3-28 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณเหล็ก ในชุดการทดลองด้วยดินลูกรัง	54
3-29 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณแคลเซียม ในชุดการทดลองด้วยหินปูนฝุ่น	55
3-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณแคลเซียม ในชุดการทดลองด้วยหินปูนฝุ่น	56
3-31 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าการนำไฟฟ้า ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	57
3-32 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณแคลเซียม ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	57
3-33 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณสารหนู ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	58
3-34 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณเหล็ก ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	58
3-35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณสารหนู ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	59
3-36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณเหล็ก ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	60
3-37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณแคลเซียม ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	60
3-38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับปริมาณสารหนู ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	61
3-39 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับปริมาณเหล็ก ในชุดการทดลองด้วยปูนขาว	62
3-40 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับค่าการนำไฟฟ้า ในชุดการทดลองด้วยถ้ำลอย	63
3-41 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณเหล็ก ในชุดการทดลองด้วยถ้ำลอย	64

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณสารหนูในชุดการทดลองด้วยถ้ำลอย	64
3-43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณแคลเซียมในชุดการทดลองด้วยถ้ำลอย	65
3-44 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมกับปริมาณสารหนูในชุดการทดลองด้วยถ้ำลอย	65

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก	หน้า
ค-1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินและวัสดุก่อนทดลอง	86
ค-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูเมื่อผสมวัสดุคลุมดินต่อดินเหนืองแระ	87
ค-3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูโดยวัสดุคลุมดินทั้ง 4 ชนิด (ร้อยละ)	88
ค-4 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยดินลูกรัง (มก./ก.)	89
ค-5 ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของสารหนูที่ถูกดูดซับด้วยเถ้าลอย (มก./ก.)	90
ค-6 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Freundlich ของดินลูกรัง	91
ค-7 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Freundlich ของเถ้าลอย	92
ค-8 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Langmuir ของดินลูกรัง	93
ค-9 ไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูตามสมการ Langmuir ของเถ้าลอย	94
ค-10 ผลการทดสอบการชะละลาย (column leaching test )	95



## รายการภาพประกอบภาคผนวก

ภาพประกอบภาคผนวก	หน้า
ค-1 ดินปนเปื้อนสารหนู	97
ค-2 ดินลูกรัง	97
ค-3 ปูนขาว	98
ค-4 หินปูนฝุ่น	98
ค-5 ปูนขาว	99