ความเสี่ยงต่อการได้รับพิษสารหนูเรื้อรังจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

Risk of Chronic Arsenic Poisoning from Shallow Wellwater Consumption in an Area Near Abandoned Tin Mines in Thung Khamin Subdistrict, Na Mom District, Songkhla Province

สอแหละ บางูสัน

Solhae Bangusan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ความเสี่ยงต่อการได้รับพิษสารหนูเรื้อรังจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

Risk of Chronic Arsenic Poisoning from Shallow Wellwater Consumption in an Area Near Abandoned Tin Mines in Thung Khamin Subdistrict, Na Mom District, Songkhla Province

สอแหละ บางูสัน
Solhae Bangusan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความเสี่ยงต่อการได้รับพิษสารหนูเรื้อรังจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
ผู้เขียน นายสอแหละ บางูสัน
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธินุ่น)

.....กรรมการ
(ดร.พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์สิทธิ์ ศิริวงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายสอแหละ บางูสัน)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายสอแหละ บางูสัน)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความเสี่ยงต่อการได้รับพิษสารหนูเรื้อรังจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
ผู้เขียน นายสอแหละ บางูสัน
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากการได้รับสารหนู ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษามีความเข้มข้นของสารหนู อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - 0.1337 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาที่มีความเข้มข้นของสารหนูเกินค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) จำนวน 14 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 35 ของจำนวนตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (40 ตัวอย่าง) สำหรับผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาของแต่ละครัวเรือน พบว่า ครัวเรือนที่ใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นเพื่อกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว มีจำนวน 22 ครัวเรือน ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร มีจำนวน 3 ครัวเรือน และใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหารและดื่ม มีจำนวน 15 ครัวเรือน ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการได้รับสารหนูในน้ำบ่อตื้นมีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยเท่ากับ 1.13×10^{-4} ซึ่งบ่งชี้ว่าอาจมีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งได้ ดัชนีอันตรายจากการได้รับสารหนูในน้ำบ่อตื้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ USEPA การศึกษานี้พบ 4 ครัวเรือนที่อาจมีความเสี่ยงที่จำเป็นต้องเข้าไปจัดการความเสี่ยงโดยการให้ความรู้ถึงพิษภัยของสารหนูและแจ้งให้งดบริโภคน้ำบ่อตื้นของครัวเรือน

Thesis Title	Risk of Chronic Arsenic Poisoning from Shallow Wellwater Consumption in an Area Near Abandoned Tin Mines in Thung Khamin Subdistrict, Na Mom District, Songkhla Province
Author	Solhae Bangusan
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2017

Abstract

Arsenic levels in artesian wellwater and shallow wellwater in an area near abandoned tin mines were studied in Thung Khamin subdistrict, Na Mom district, Songkhla province. Health risk from arsenic exposure was assessed. The arsenic concentrations in all artesian wellwater were within the WHO's standard limit for drinking water (0.01 mg/l). In shallow wellwater, however, the arsenic concentrations were in a range from not detected – 0.1337 mg/l. Fourteen samples out of a total of 40 samples (35%) had arsenic levels exceeding 0.01 mg/l. The pattern of water usage in each household could be divided into three categories: (1) use wellwater for washing only, (2) use wellwater for washing and cooking, and (3) use wellwater for washing, cooking and drinking. The number of households with pattern 1, 2 and 3 were 22, 3 and 15 households, respectively. The carcinogenic risks from drinking artesian wellwater were found acceptable. The hazard indices from drinking artesian wellwater were < 1, indicating that the noncarcinogenic risks were also acceptable. The average carcinogenic risks from drinking shallow wellwater were 1.13×10^{-4}. The mean hazard index from drinking shallow wellwater was 0.54. Therefore, drinking shallow wellwater might pose unacceptable carcinogenic risk. A total of 4 households were found having unacceptable risk. Risk management was needed to educate them of arsenic poisoning and tell them to stop consuming shallow wellwater from their household.

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ ช่วยเหลือตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธินุ่น ประธานกรรมการสอบ ดร.พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล และรองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์สิทธิ์ ศิริวงศ์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่เสียสละเวลา พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์ รวมทั้งอาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและห้องปฏิบัติการสำหรับเก็บรักษาตัวอย่าง ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา รวมทั้งเจ้าหน้าที่สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณผู้ใหญ่บ้านและชาวบ้านหมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 5 ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่อำนวยความสะดวกสำหรับการลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

ขอบคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ขอบคุณเพื่อนนักศึกษาร่วมชั้นเรียน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมล้อม และขอบคุณน้องนักศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ค่อยช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง

สุดท้ายนี้ ข้อน้อมระลึกถึงคุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งทุกคนในครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือและให้เป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา

สอแหละ บางูสัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	29
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย	29
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	29
1.6 ขอบเขตการวิจัย	29
บทที่ 2 วิธีวิจัย	31
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
2.2 การเตรียมภาชนะเก็บตัวอย่าง	32
2.3 สารเคมี	32
2.4 การเตรียมสารเคมี	32
2.5 วิธีวิเคราะห์	33
2.6 เครื่องมือวิเคราะห์	34
2.7 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์	36
2.8 ผลการประกันคุณภาพการวิเคราะห์	37
2.9 ขั้นตอนการศึกษา	37
บทที่ 3 ผลการศึกษาและอภิปราย	45
3.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น	45
3.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้น	50
3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	51
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	59
4.1 สรุปความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น	59
4.2 สรุปพฤติกรรมการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้น	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 สรุปการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	59
ข้อเสนอแนะ	60
ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	70
ภาคผนวก ค	72
ภาคผนวก ง	74
ภาคผนวก จ	76
ภาคผนวก ฉ	79
ภาคผนวก ช	83
ประวัติผู้เขียน	85

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณสารหนูในตัวอย่างน้ำ	32
ตารางที่ 2.2	สภาวะการทำงานของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Analytikjena รุ่น NovAA 350 คู่กับเทคนิคไฮไดรด์เจนเนอเรชัน รุ่น HS 60	35
ตารางที่ 2.3	ค่าคงที่สำหรับคำนวณการรับสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกาย	44
ตารางที่ 2.4	ค่า Slope Factor และค่า Reference Dose ของสารหนูจากการได้รับเข้าสู่ร่างกาย	44
ตารางที่ 3.1	ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	47
ตารางที่ 3.2	ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	47
ตารางที่ 3.3	ค่าความเสี่ยงเฉลี่ยในการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนู โดยการดื่มน้ำบ่อตื้น	53
ตารางที่ 3.4	ค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้น ในพื้นที่ศึกษา	53
ตารางที่ 3.5	ค่าเฉลี่ยดัชนีอันตรายจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้น	57
ตารางที่ 3.6	ค่าดัชนีอันตรายจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา	57

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	ศักยภาพแหล่งแร่ดีบุกที่สัมพันธ์กับหินอัคนีแซกซอนในประเทศไทย	3
ภาพที่ 1.2	แหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทย	4
ภาพที่ 1.3	แผนที่แสดงที่ตั้งตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	11
ภาพที่ 1.4	วัฏจักรของสารหนูในแหล่งน้ำธรรมชาติ	16
ภาพที่ 2.1	อะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรมิเตอร์ เครื่องยี่ห้อ Analytikjena รุ่น NovAA 350 คู่กับเทคนิคไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน รุ่น HS 60	34
ภาพที่ 2.2	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล	40
ภาพที่ 2.3	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น	41
ภาพที่ 3.1	แผนที่แสดงความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล	48
ภาพที่ 3.2	แผนที่แสดงความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น	49
ภาพที่ 3.3	แผนที่แสดงความเสี่ยงในเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนู	54
ภาพที่ 3.4	แผนที่แสดงความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนู	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

สารหนูจัดเป็นธาตุหนึ่งที่สำคัญในการก่อให้เกิดมลพิษในน้ำใต้ดินและน้ำดื่มทั่วโลก พบว่า บ่อน้ำใต้ดินบางแห่งไม่สามารถใช้การได้เนื่องจากความเป็นพิษของสารหนูสูงมาก เช่น ในประเทศอาร์เจนตินา (1-7,500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ชิลี (100-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) เม็กซิโก (8-620 มิลลิกรัมต่อลิตร) จีน (40-750 มิลลิกรัมต่อลิตร) ฮังการี (2-176 มิลลิกรัมต่อลิตร) อินเดีย (10-3,200 มิลลิกรัมต่อลิตร) บังคลาเทศ (0.5-3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเวียดนาม (1-3,050 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Smedley and Kinniburgh, 2002) โดยเฉพาะในแถบลุ่มแม่น้ำเบงกอลประเทศบังคลาเทศและอินเดียมีประชากรหนึ่งล้านคนป่วยเนื่องจากพิษเรื้อรังของสารหนูจากการดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารหนูเป็นเวลานาน 20-30 ปี นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินของประเทศแถบลุ่มแม่น้ำโขง เช่น ประเทศเวียดนาม ไทย และกัมพูชา อีกด้วย แหล่งน้ำดื่มที่สำคัญของประเทศเหล่านี้คือน้ำใต้ดิน สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แหล่งน้ำผิวดิน และมีระบบการประปาที่ทันสมัย (ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, 2551) แต่พบว่าในพื้นที่ชนบทหลายแห่งยังมีปัญหาการขาดแคลนน้ำดื่มที่ใช้สำหรับการอุปโภคและบริโภค ประชาชนจึงนิยมขุดเจาะน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค อย่างไรก็ดีน้ำใต้ดินในประเทศไทยหลายแห่งมีการปนเปื้อนของสารหนูจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นกรณีที่มีการกล่าวถึงมากที่สุดกรณีหนึ่งในประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา

ในปี พ.ศ. 2530 ได้มีการตรวจพบโรคพิษสารหนูเรื้อรังเกิดขึ้นกับประชาชนจำนวนมากในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบผู้ป่วยมีอาการทางผิวหนัง ได้แก่ ผิวหนังมีสีกระดำกระด่างทั่วร่างกาย เมื่อคลำที่บริเวณฝ่ามือฝ่าเท้าจะรู้สึกคล้ายมีปุ่มแข็งเล็กๆ จำนวนมากอยู่ใต้ผิวหนัง ในรายที่มีอาการรุนแรงจะเกิดโรคมะเร็งผิวหนังด้วย อาการอื่นๆ ที่อาจพบในผู้ป่วย ได้แก่ โลหิตจาง ดีซ่าน เหน็บชาตามปลายมือปลายเท้า มีไข้ต่ำๆ ความดันโลหิตสูง เป็นต้น สาเหตุการเกิดโรคนี้ได้รับการวินิจฉัยว่ามาจากการที่ชาวบ้านได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายอย่างเรื้อรังจากการดื่มน้ำบ่อตื้นที่ปนเปื้อนสารหนูในระดับสูง (ธาดา เปี่ยมพงศ์สานต์, 2531) ปัจจุบันแม้ว่าระยะเวลาการทำเหมืองแร่ดีบุกจะผ่านไปประมาณ 30 ปีแล้ว แต่ยังคงมีการตรวจพบสารหนูเกินค่ามาตรฐานในบ่อน้ำตื้นในหลายพื้นที่ โดยพบว่าน้ำจากบ่อน้ำตื้นหมู่ที่ 12 ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณสารหนูปนเปื้อน 1.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินที่ยินยอมให้มีได้ (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) (ทิพย์นภา เตะหมาน, 2558)

ด้วยลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีความเหมาะสมสำหรับกิจกรรมเหมืองแร่ดีบุก ทำให้พื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ได้มีการประกอบกิจกรรมเหมืองแร่ 2 ประเภท คือ การทำเหมืองหาบและการทำเหมืองสูบมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 และมีการพัฒนากิจการอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนเป็นระยะเวลานานหลายปี

(เล็ก สีคง, 2527) ถึงแม้ว่าปัจจุบันได้มีการหยุดกิจกรรมการทำเหมืองแร่ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มาเป็นระยะเวลานานแล้วก็ตาม ในปี พ.ศ. 2552 กรมทรัพยากรธรณีได้รายงานการปนเปื้อนของสารหนูจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา โดยพบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่ยินยอมให้มีได้ขององค์การอนามัยโลก (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมทรัพยากรธรณี, 2552) แต่ยังไม่มีการศึกษาในเชิงลึกว่ามีการแพร่กระจายของสารหนูอย่างไร อีกทั้งยังไม่มีการนำข้อมูลไปประเมินความเสี่ยงให้กับประชาชนได้รับทราบ และในปัจจุบันประชาชนในพื้นที่ยังมีการใช้น้ำจากน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ในการดำเนินชีวิต โดยเฉพาะกิจกรรมสำหรับการซักล้าง เช่น ซักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ เป็นต้น กิจกรรมสำหรับปรุงอาหาร และดื่ม ซึ่งหากมีการใช้น้ำเป็นเวลานานอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีการประเมินการสัมผัสสารหนูจากการบริโภคน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นของแต่ละครัวเรือนเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อพิษสารหนูที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง เพื่อวางแผนการจัดการความเสี่ยงให้ความเสี่ยงลดลงสู่ระดับที่ยอมรับได้

จากเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับยังมีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เป็นจำนวนน้อยมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา รวมทั้งประเมินการสัมผัสสารหนูจากน้ำดื่มและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากพิษสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการความเสี่ยงให้ความเสี่ยงของประชาชนในพื้นที่ลดลงสู่ระดับที่ยอมรับได้ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

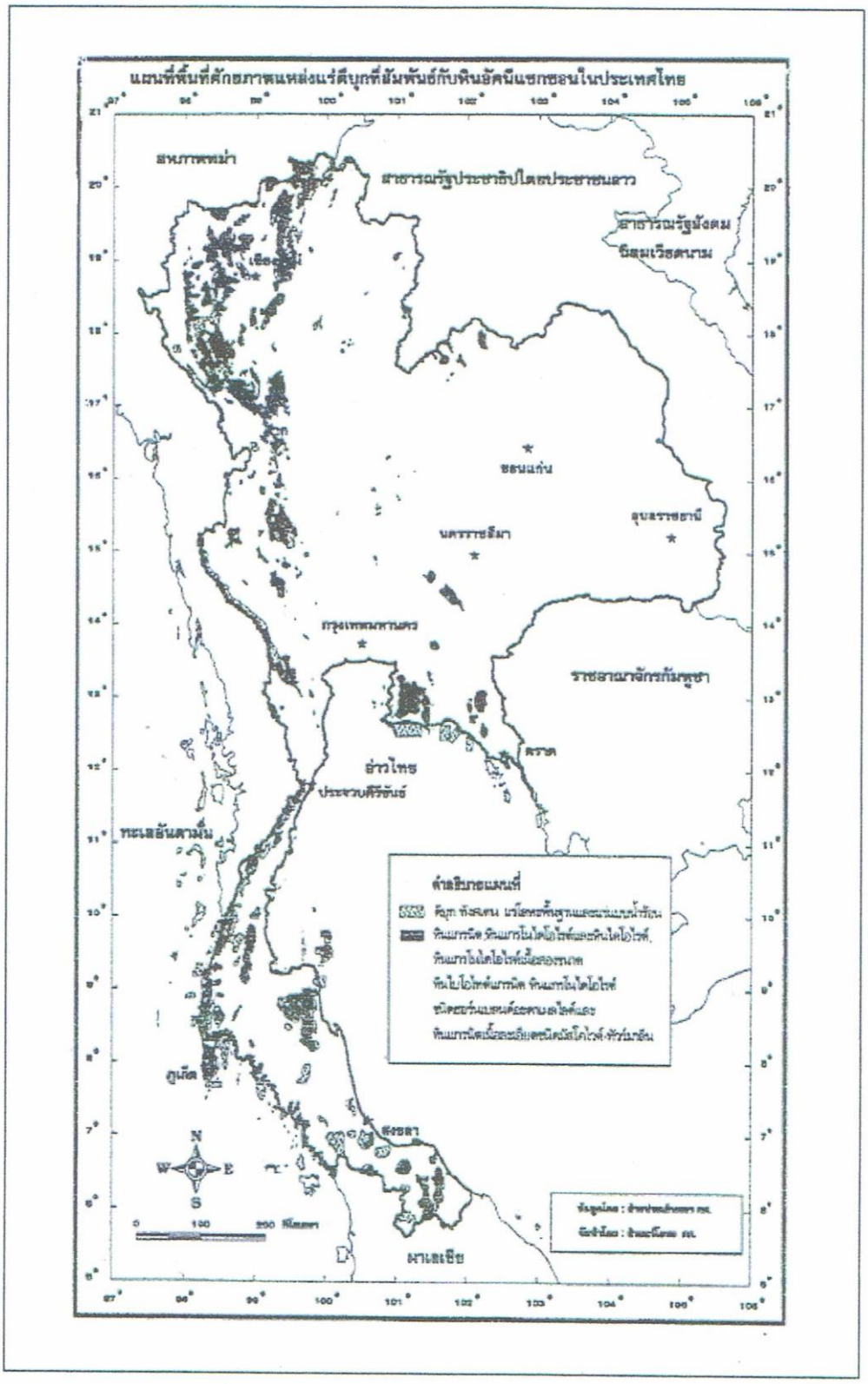
1.2.1 แหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทย

กรมทรัพยากรธรณี (2543) รายงานไว้ว่าแหล่งกำเนิดของแร่ดีบุกในประเทศไทยมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับหินอัคนีแทรกซอนชนิดกรด (หินแกรนิต) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 โดยทั่วไปแล้วจะเกิดในสายแร่อุณหภูมิสูงแทรกในหินพวกหินแกรนิต หรือหินชั้นที่อยู่ข้างเคียง และอาจเกิดเป็นก้อนหรือผลึกเล็กๆ ฝังในหินเพกมาไทต์ หินสการ์น รวมถึงในหินแกรนิตที่อยู่ใกล้กับบริเวณเขตสัมผัสกับหินข้างเคียงด้วย สำหรับลักษณะของแหล่งแร่ดีบุกที่พบในประเทศไทยมีดังนี้

1) แหล่งแร่กำหนดเดิม (primary deposite) ได้แก่ แบบฝังประหรือเป็นกระจุกในหินแกรนิต แบบแปรสภาพโดยการแทนที่ แบบสายน้ำร้อน (สายควอตซ์) และแบบสายเพกมาไทต์

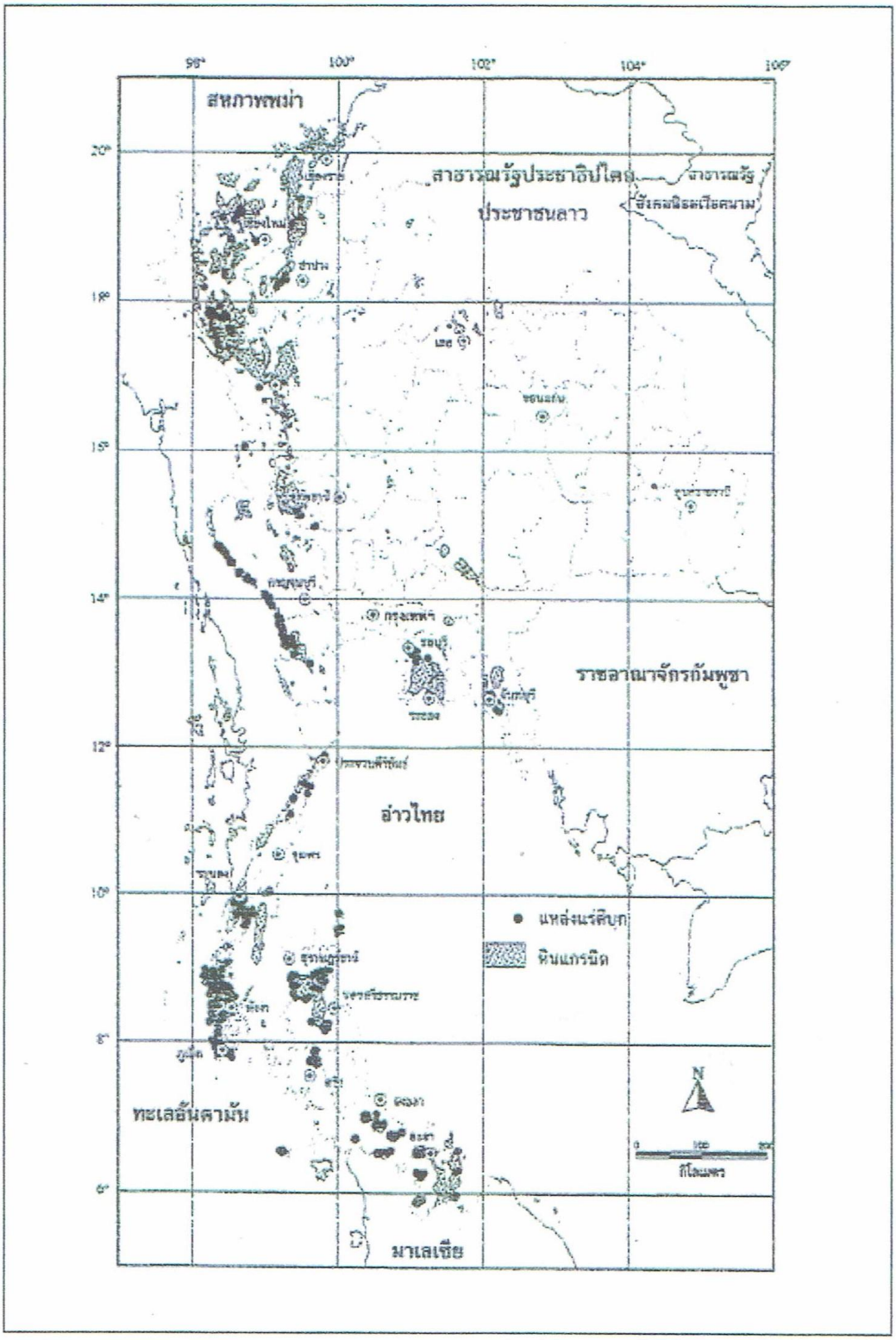
2) แหล่งแร่พลัดหลุดจากหินต้นกำเนิดเดิม (secondary deposite) ได้แก่ แหล่งแร่พลัดไหล่เขา แหล่งแร่พลัดเชิงเขา แหล่งแร่ตามท้องห้วย ลานแร่ และลานแร่ในทะเล

แหล่งแร่ดีบุกส่วนใหญ่พบทางแถบซีกด้านตะวันตกติดกับชายแดนประเทศสหภาพพม่า โดยพบในภาคใต้ทุกจังหวัด ภาคกลางมีที่จังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี และเพชรบุรี ภาคเหนือมีตั้งแต่จังหวัดกำแพงเพชร ตาก ลำพูน ลำปาง เชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน ส่วนภาคตะวันออกพบที่จังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี ดังแสดงภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.1 ศักยภาพแหล่งแร่ดีบุกที่สัมพันธ์กับหินอัคนีแซกซอนในประเทศไทย

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2543)



ภาพที่ 1.2 แหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทย

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2543)

1.2.2 แหล่งแร่ดีบุกในภาคใต้

ภาคใต้พบแหล่งแร่ดีบุกในทุกจังหวัด ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไปจนสุดชายแดนประเทศไทยและมาเลเซีย ในอดีตเป็นแหล่งแร่ดีบุกที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดภูเก็ต พังงา และระนอง เคยผลิตได้สูงถึงร้อยละ 75 ของผลผลิตแร่ดีบุกรวมทั่วประเทศ จากลักษณะการกำเนิดของแร่สามารถแบ่งการกระจายตัวของแร่ออกได้ 2 แนว คือ (กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

1. แนวตะวันตก

แหล่งแร่กระจายตัวตามแนวเทือกเขาหินแกรนิต เริ่มจากทางด้านตะวันตกของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่อเนื่องลงไปทางใต้ตามแนวชายแดนไทยและพม่าผ่านจังหวัดชุมพร จากนั้นเลาะเลียบแหลมไทยฝั่งอันดามันผ่านจังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต ลงไปสิ้นสุดในทะเลอันดามันบริเวณด้านใต้ของเกาะภูเก็ต

2. แนวตะวันออก

แหล่งแร่กระจายตัวเป็นแนวยาวเลียบชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย เริ่มจากเทือกแกรนิตเกาะพงัน-เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ต่อเนื่องลงไปทางใต้ผ่านเทือกแกรนิตเขาหลวง จังหวัดนครศรีธรรมราช ผ่านตรัง สตูล สงขลา และนราธิวาส ลงไปจรดเขตประเทศมาเลเซีย

1.2.3 แหล่งแร่ดีบุกจังหวัดสงขลา

จังหวัดสงขลาเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุกอย่างกว้างขวาง แร่ดีบุกนับว่าเป็นแร่เศรษฐกิจหลักของจังหวัด แหล่งแร่ดีบุกในจังหวัดสงขลาส่วนใหญ่เป็นแหล่งแร่ทุติยภูมิ และมีแหล่งแร่แบบปฐมภูมิในบางแห่ง ดังนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1. แหล่งแร่ดีบุกปฐมภูมิ (primary deposite)

แหล่งแร่ดีบุกปฐมภูมิที่พบในจังหวัดสงขลา ได้แก่

1) แบบสายแร่น้ำร้อน (hydrothermal deposite) แหล่งแร่ดีบุกชนิดนี้มักมีแร่วุลแฟลมเกิดร่วมด้วย และพบซีไลต์บ้างเล็กน้อย พบแร่ดีบุกเกิดทั้งในหินแกรนิตและหินท้องที่บริเวณแนวสัมผัส

2) แบบสายแพกมาไทต์ และแอไพลต์ (pegmatite, quartz-feldspar veins, aplite) เพกมาไทต์ คือ หินอัคนีที่มีขนาดหยาบมาก ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ เฟลด์สปา ไมกาแอไพลต์ เป็นหินอัคนีที่มีขนาดละเอียด หินทั้ง 2 ชนิดนี้มักเกิดในหินแกรนิตหรือในหินท้องที่ที่สัมพันธ์กับหินแกรนิต รูปร่างไม่แน่นอน สายเพกมาไทต์นี้มีความสัมพันธ์กับการแทรกซอนของหินแกรนิต

2. แหล่งแร่ดีบุกแบบทุทิตยภูมิหรือแหล่งแร่พลัดหลุดจากหินต้นกำเนิดเดิม (secondary deposite)

เนื่องจากแร่ดีบุกมีคุณสมบัติที่แข็งทนทานต่อการสึกกร่อนผุพัง เมื่อหินต้นกำเนิดผุพังลงทำให้แร่ดีบุกและแร่ที่เกิดอยู่ร่วมกันหลุดออกออกจากเนื้อหินเดิม และถูกพัดพาไปสะสมตัวใหม่ในบริเวณที่ต่ำกว่า ด้วยการทับถมสะสมผ่านระยะเวลายาวนานจึงกลายเป็นแหล่งแร่ขึ้น ผลผลิตแร่ดีบุกส่วนใหญ่ในจังหวัดสงขลา ได้จากแหล่งแร่ประเภทนี้เป็นส่วนใหญ่ แหล่งแร่ดีบุกแบบที่สะสมตัวบนบกหรือแหล่งแร่บนบก (onshore deposite) เป็นแหล่งแร่ดีบุกที่สะสมตัวอยู่ตามบริเวณต่าง ๆ ได้แก่

1) แหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ (residual deposits) เป็นแหล่งแร่ดีบุกที่เกิดจากการผุพังสะลายของหินต้นกำเนินเดิม ทำให้แร่ดีบุกหลุดออกมาจากหินและสะสมตัวอยู่ในบริเวณหินต้นกำเนิดเดิมหรือใกล้เคียง

2) แหล่งลานแร่หรือแหล่งที่ราบลานแร่ (placer deposits) เป็นแหล่งแร่ซึ่งสะสมตัวอยู่บริเวณที่ราบลุ่ม

3) แหล่งแร่พลัดเชิงเขา (colluvium deposits) เป็นแหล่งแร่ที่เกิดจากหินต้นกำเนิดผุพังทำให้แร่ดีบุกหลุดออกมาจากหินและสะสมอยู่บริเวณเชิงเขาหรือไหล่เขา

4) แหล่งแร่ตามท้องห้วย เป็นแร่ที่พบแร่ดีบุกสะสมตัวในชั้นตะกอนกรวดทรายของทางน้ำที่ไหลผ่านหินต้นกำเนิด

แหล่งแร่ดีบุกในจังหวัดสงขลา มีจำนวน 9 แหล่ง มีการผลิตตั้งแต่อดีตจนมีการหยุดทำการไปตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ปัจจุบันยังคงมีร่องรอยของหน้าเหมืองดีบุกเก่าจำนวนมาก แสดงถึงความรุ่งเรืองของกิจการเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดสงขลาในอดีต ในอดีตเคยมีประทานบัตรจำนวน 26 แปลง และปัจจุบันมีคำขอประทานบัตรเหมืองแร่ดีบุกจำนวน 1 แปลง พื้นที่แหล่งแร่ดีบุกในจังหวัดรวม 100.67 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณทรัพยากรแร่สำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ 60,455 ตัน มูลค่าแหล่งรวม 44,253.06 ล้านบาท (ราคาแร่ดีบุกตามประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2557 = 43,920 บาทต่อหาบหลวง; 1 หาบหลวง = 60 กิโลกรัม หรือ 732,000 บาทต่อตัน)

แหล่งดีบุกทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น เป็นแหล่งแร่ดีบุก 1 ใน 9 แหล่งในจังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เป็นแหล่งแบบปฐมภูมิซึ่งมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก โดยพบแร่ดีบุกฝังปะปนอยู่ในเนื้อหินแกรนิต และสายแร่ควอตซ์ที่แทรกตัดเข้าไปในหินแกรนิต สายแร่ควอตซ์ที่มีแร่ดีบุก มีขนาดกว้าง 0.2-3 มิลลิเมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2557)

1.2.4 การทำเหมืองแร่ดีบุก

การทำเหมืองแร่ดีบุกแบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 ส่วน คือ การขุดเอาสินแร่ และการแต่งแร่หรือล้างแยกแร่ให้เป็นแร่สะอาดเพื่อจำหน่าย

1. การขุดเอาสินแร่

ภิญโญ ทองภิญโญชัย และโยธิน อัมพวัน (2543) ให้ความหมายของคำว่าสินแร่ (Ore) หมายถึง แร่ (Minerals) ซึ่งสามารถผลิตออกมาซื้อขาย หรือใช้ประโยชน์โดยมีกำไรหรือมีมูลค่าทางการค้า โดยในที่นี้สินแร่ดีบุกจะอยู่ในหินแข็งและมีแร่ชนิดอื่นปนอยู่ หรือถ้าในแหล่งลานแร่ก็จะมีพวกดิน กรวด ทราย ปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในแหล่งแร่เปลือกดินหรือแหล่งลานแร่โดยการผุพังตามธรรมชาติ แร่ดีบุกได้แตกแยกออกจากหินหรือแร่ชนิดอื่นๆ และถูกน้ำชะพามาสะสมอยู่รวมกับพวกดินกรวด ทราย และแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่ที่พบเป็นแร่เหล็กอิลเมไนท์ แร่เซอร์คอน แร่กาเน็ต แร่โมนาไซต์ การสะสมตัวของพวกแร่และกรวดทรายเหล่านี้สะสมตัวเป็นชั้นหนา การขุดพังดินของแหล่งลานแร่และแหล่งแร่เปลือกดินสามารถทำได้หลายวิธี คือ การใช้แรงคนขุดโดยการใช้ชะแลง จอบ แทงและขุดดิน การใช้เครื่องจักรขุด เช่น ใช้รถขุด (Excavator หรือ Dragline) เรือขุด (Dredge) หรือใช้แรงน้ำโดยชักน้ำมาจากที่สูงเข้ากระบอกฉีดหรือใช้เครื่องสูบน้ำส่งเข้ากระบอกฉีดเพื่อฉีดพังดินหน้าเหมือง

ส่วนแหล่งแร่ที่เป็นทาง เป็นลำ เป็นสาย แหล่งแร่สัมผัส แหล่งแร่ที่มีแร่เป็นส่วนประกอบของเนื้อหินส่วนมากเป็นแร่ที่อยู่ในหินแข็ง การที่จะขุดด้วยแรงคน แรงเครื่องจักรหรือแรงน้ำจะไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องใช้วิธีเจาะและระเบิดออกมาให้แตกเป็นก้อนเล็ก ซึ่งการระเบิดหินและแร่จะมีวิธีการเจาะ การใช้ดินระเบิด การจุดระเบิดที่แตกต่างกันตามชนิดของหินและแร่กับความต้องการในเรื่องปริมาณและขนาดของก้อนสินแร่ รวมทั้งในเรื่องความปลอดภัยด้วย แต่ถ้าเป็นแหล่งแร่ที่หินผุมากก็อาจจะใช้วิธีขุดด้วยแรงคน เครื่องจักร หรือแรงน้ำ

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2555) สรุปไว้ว่าการทำเหมืองแร่ดีบุกในประเทศไทยแบ่งเป็น 8 วิธี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) เหมืองแล่น เป็นการทำเหมืองแร่โดยการใช้น้ำฉีดพังดินแร่หน้าเหมืองให้น้ำพัดพาจากที่สูงหรือไหล่เขาหรือที่ลาดเทสู่อุปกรณ์แต่งแร่

2) เหมืองสูบ เป็นการทำเหมืองแร่โดยการใช้น้ำฉีดพังดินแร่หน้าเหมืองในลักษณะของบ่อเหมือง แล้วใช้เครื่องสูบทรายสูบดินทรายขึ้นอุปกรณ์แต่งแร่

3) เหมืองฉีด เป็นการทำเหมืองแร่โดยการใช้น้ำฉีดพังดินแร่หน้าเหมืองออกเป็นลักษณะของบ่อเหมือง แล้วใช้เครื่องสูบทรายที่ใช้น้ำที่ต่อท่อมาจากแหล่งกักเก็บน้ำที่มีแรงดันน้ำสูง โดยใช้หลักการเดียวกับการดูดน้ำจากแก้วด้วยหลอดกาแฟสูบดินทรายแร่ขึ้นสู่อุปกรณ์แต่งแร่

4) เหมืองเรือขุด เป็นการทำเหมืองต่อพื้นที่ใต้ผิวน้ำ โดยการต่อทุ่นลอยเหล็กแล้วติดตั้งตั้งอุปกรณ์ทำเหมืองและการแต่งแร่บนเรือ มูลดินทรายจากการแต่งแร่จะทิ้งออกทางท้ายเรือ การทำเหมืองเรือสูบเป็นการย่อส่วนจากการทำเหมืองเรือขุด โดยดัดแปลงจากเรือหาปลาแพไม้ หรือทุ่นเหล็ก แล้วใช้นักประดาน้ำถือหัวสูบดูดดินทรายแร่ขึ้นมาแต่งแร่ด้วยร่างกู้แร่หรืออุปกรณ์แต่งแร่อย่างอื่นบนเรือ

5) เหมืองปล่อง เป็นการทำเหมืองในแหล่งลานแร่ที่เปลือกดินหนามากแต่มีความสมบูรณ์ดี โดยการเจาะปล่องแล้วกรุไม้ให้มีความแข็งแรงค้ำยันจนถึงชั้นกระสะแร่ และมีเครื่องคว้านทำด้วยไม้หมุนด้วยมือ ทำหน้าที่ในการขนกระสะแร่นำขึ้นมาล้างข้างบน ภายใต้ดินบริเวณกระสะแร่ตอนที่ได้นำกระสะแร่ขึ้นมาแล้ว มีไม้กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ค้ำจุนไว้กันดินพังเป็นระยะๆ ห่างกันเป็นช่วงสั้นๆ เพื่อช่วยให้ระบายอากาศลงสู่ใต้ดิน

6) เหมืองหาบ เป็นการทำเหมืองโดยการทำการขุดแร่ปนดินแล้วนำเอาดินปนแร่ โดยใช้เครื่องจักรกลหรือแรงคนจากบริเวณที่ขุดไปยังที่ติดตั้งอุปกรณ์การแยกแร่

7) เหมืองเจาะงัน เป็นการทำเหมืองใต้ดินกึ่งเหมืองผิวดิน โดยใช้แรงคนขุดเจาะไปตามสายแร่ที่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก

8) เหมืองอุโมงค์ เป็นการทำเหมืองแร่เปิดแบบหนึ่งในภูมิประเทศที่เป็นภูเขาค่อนข้างชัน ไม่สะดวกต่อการขนถ่ายแร่ จึงใช้วิธีเจาะอุโมงค์ขนถ่ายลอดใต้บริเวณบ่อเหมือง เพื่อรอรับแร่จากบริเวณก้นบ่อเหมือง และอาจเจาะปล่องระบายอากาศเพื่อช่วยในการระบายอากาศด้วย

2. การแต่งหรือล้างแยกแร่

การล้างแร่หรือแยกแร่ของเหมืองที่เปิดทำในลานแร่ หรือแหล่งแร่เปลือกดินไม่มีความยุ่งยากหรือต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักร ในการล้างหรือแยกแร่มาก โดยปกติแล้วเม็ดแร่ดีบุกได้แยกออกจากหินและแร่อื่นๆ อยู่แล้วตามธรรมชาติ เพียงแค่ใช้แรงน้ำช่วยให้แยกหรือหลุดออกจากพวกดิน กรวดทราย กับการอาศัยความแตกต่างในเรื่องน้ำหนักของวัตถุที่อยู่ปนด้วยกันก็จะแยกเก็บเอาแร่ดีบุกได้โดยไม่ยาก แร่ดีบุกหนักประมาณ 6-7 เท่า ของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน และหนักกว่าทรายหรือหินประมาณ 2 เท่า วิธีการทำเหมืองดีบุกในลานแร่ส่วนใหญ่จะเป็นการล้างและแยกแร่

สำหรับเหมืองแร่ที่เปิดทำในแหล่งแร่ที่เป็นทาง เป็นสาย หรือแหล่งแร่สัมผัส แร่ดีบุกจะอยู่ในหินแข็งและมีแร่ชนิดต่างๆ ปนอยู่ด้วย การที่จะทำให้เม็ดแร่ดีบุกหลุดออกจากหินหรือแยกออกจากแร่ชนิดอื่น จำเป็นต้องตำหรือบดให้ละเอียดจนแร่ดีบุกแยกออกหรือหลุดออกจากหินเป็นเม็ดแร่ดีบุก และที่สำคัญไม่ควรมีหินหรือแร่อย่างอื่นติดอยู่ แล้วจึงนำไปล้างหรือแยกโดยอาศัยแรงน้ำ และหลักความแตกต่างของน้ำหนักของเม็ดแร่ดีบุกกับแร่และหินชนิดอื่นๆ แหล่งแร่บางแห่งจำเป็นต้องใช้น้ำยาเคมีหรือน้ำกรดช่วย ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า การลอยแร่ เพราะมีแร่ที่มีน้ำหนักเท่ากันหรือหนักกว่าแร่ดีบุกปนอยู่ด้วย และจะแยกโดยอาศัยหลักที่ว่าแร่ดีบุกหนักกว่าหรือความแตกต่างของน้ำหนักอย่างเดียวไม่ได้ผล

1.2.5 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษากิจกรรมการทำเหมืองแร่ดีบุก จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ด้านหลัก ได้แก่

1. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทำเหมือง

การขุดเปิดหน้าดินเพื่อนำแร่ดีบุกที่อยู่บนบกและการขุดแร่ในทะเลจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรต่างๆ ดังนี้

1) ทรัพยากรดิน การทำเหมืองแร่จำเป็นต้องมีการขุดเปิดหน้าดินหรือฉีดน้ำเพื่อนำแร่ที่อยู่ใต้ดินออกมา ดินที่เกิดจากการทำเหมืองจะไหลลงไปพร้อมกับน้ำและลงไปสู่แม่น้ำ ลำคลอง ดินที่ผ่านการทำเหมืองแร่แล้วจะขาดความอุดมสมบูรณ์อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้พื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองแร่แล้วจะมีสภาพเป็นหลุม เป็นบ่อ หรือที่เรียกว่า ขุมเหมือง

2) ทรัพยากรน้ำ เนื่องจากน้ำขุ่นข้นจากการฉีดน้ำแยกแร่ออกจากดินหรือโคลน เกิดการแพร่กระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบพื้นที่เหมือง หากเป็นพื้นที่ในทะเลตะกอนขุ่นข้นกระจายไปตามอิทธิพลของกระแสน้ำ คลื่น และลม ซึ่งยากแก่การควบคุม ทำให้คุณภาพน้ำทะเลเสียหาย นอกจากนี้ยังทำให้น้ำธรรมชาติเกิดการตื้นเขินมีผลต่อสัตว์น้ำ คือ ทำลายแหล่งวางไข่ แหล่งอาหาร และที่อยู่อาศัย

3) ทรัพยากรป่าไม้ การทำลายทรัพยากรป่าไม้เริ่มตั้งแต่การสำรวจแร่จนกระทั้งขุดเจาะเพื่อเอาแร่ออกมาใช้ประโยชน์และนำไปส่งยังผู้รับซื้อ ซึ่งจะไม่มีสภาพพื้นที่ป่าเดิมหลงเหลืออยู่เลย

2. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการแต่งแร่

การที่มีแร่อาร์ซิโนไพไรต์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีอาร์เซนิกปนอยู่มาก โดยมีสูตรเคมี คือ $Fe^{3+}AsS$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของธาตุเหล็ก (Fe) ร้อยละ 34 และสารหนู (As) ร้อยละ 46 ส่วนใหญ่มักจะเกิดร่วมเป็นเพื่อนแร่อยู่ในแหล่งแร่ดีบุกและทังสแตนแบบแหล่งสายแร่อุณหภูมิสูงและแยกออกได้ยาก ทั้งนี้แร่อาร์เซโนไพไรต์จัดเป็นแหล่งแร่ที่สำคัญที่ให้อาร์เซนิก (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555) จะทำให้สารหนูอิสระถูกปลดปล่อยออกมาปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ศักดิ์ ชนาเกียรติ, 2544) และเกิดการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากจะต้องใช้กระบวนการแต่งแร่โดยวิธีการลอยแร่ ซึ่งจะมีการใช้สารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแบ่งตามหน้าที่การใช้งานออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) น้ำยาปรับสภาพ น้ำยาที่ใช้ คือ กรดซัลฟูริกเข้มข้นชนิด Commercial grade เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดให้มีค่า pH 3-5

2) น้ำยาเคลือบผิวแร่ น้ำยาที่ใช้ คือ แซนเตท (Xanthate) ซึ่งทำหน้าที่ในการทำปฏิกิริยากับแร่อาร์ซิโนไพไรต์และเกิดเป็นโลหะแซนเตทและจะเกิดที่บริเวณผิวแร่เพียงชั้นเดียว (mono layer) เท่านั้น ทำให้แร่มีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำเพื่อให้มีสภาพเหมาะต่อการจับกับฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำในขณะทำการลอยแร่

3) น้ำยาเคลือบฟองอากาศ น้ำมันที่ใช้ คือ น้ำมันสน (Pine oil) มีหน้าที่ทำให้ฟองอากาศเหนียวขึ้นและมีขนาดเล็ก เพื่อให้มีสภาพเหมาะต่อการลอยแร่อาร์ซิโนไพไรต์ออกจากแร่ดีบุก

1.2.6 สภาพทั่วไปของพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอน่าหม่อม จังหวัดสงขลา

1. ที่ตั้ง

ตำบลทุ่งขมิ้น เป็นตำบลหนึ่งของอำเภอนาหม่อม ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอนาหม่อม ห่างจากที่ว่าการอำเภอนาหม่อม ประมาณ 2 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

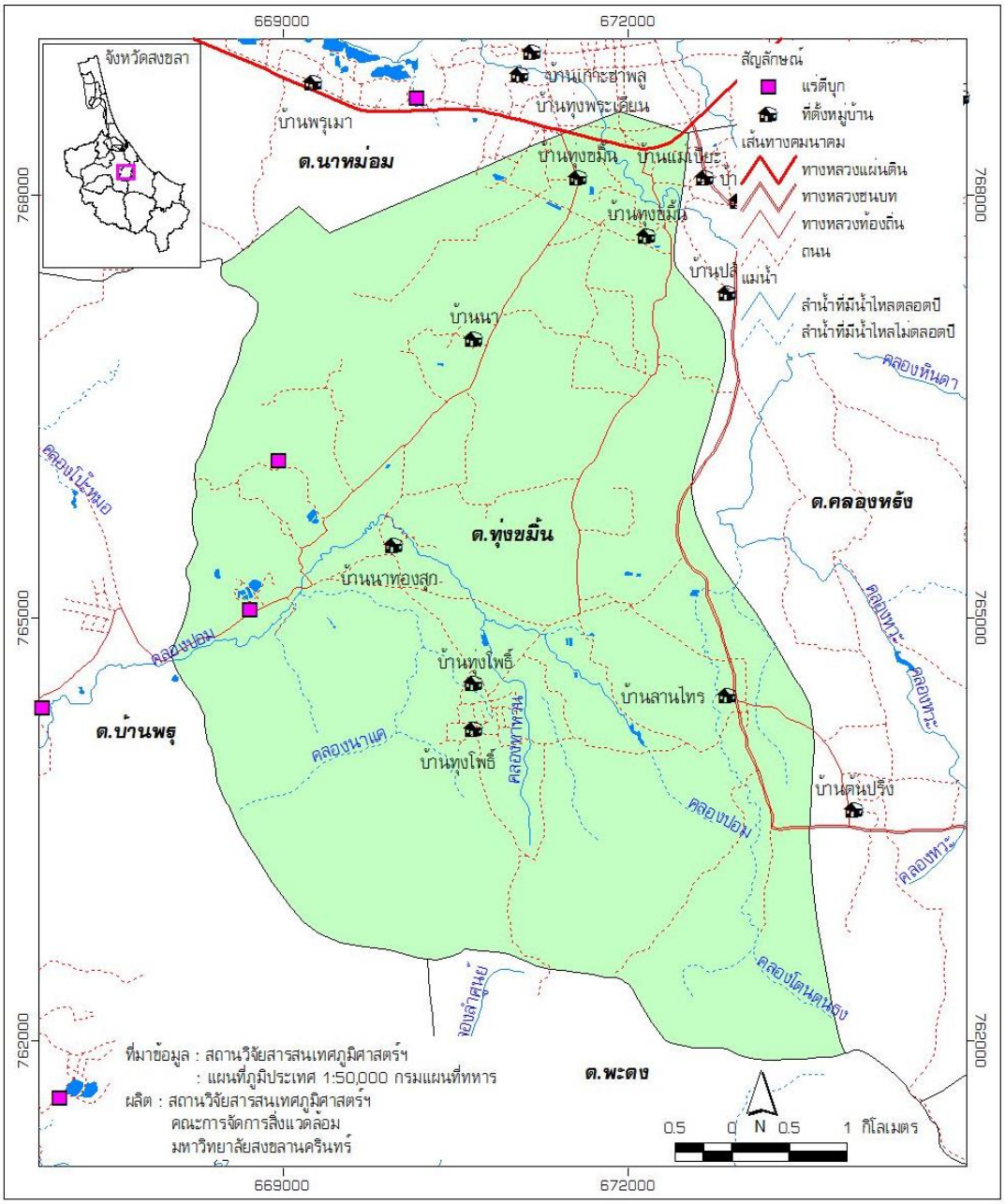
ทิศเหนือ	ติดกับ	ตำบลนาหม่อม อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
ทิศใต้	ติดกับ	ตำบลพะตง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันออก	ติดกับ	ตำบลคลองหรัง อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
ทิศตะวันตก	ติดกับ	ตำบลบ้านพรุ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2. ลักษณะทั่วไป

ตำบลทุ่งขมิ้นแบ่งการปกครองออกเป็น 7 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 (บ้านทุ่งขมิ้น) หมู่ที่ 2 (บ้านลานไทร) หมู่ที่ 3 (บ้านทุ่งโพธิ์) หมู่ที่ 4 (บ้านนาทองสุก) หมู่ที่ 5 (บ้านนา) หมู่ที่ 6 (บ้านทุ่งขมิ้น) และหมู่ที่ 7 (บ้านทุ่งโพธิ์) มีส่วนราชการประกอบด้วย โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล ที่ทำการไปรษณีย์ ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก โรงเรียนประถมศึกษา โรงเรียนเอกชน เป็นต้น มีพื้นที่ของตำบลโดยประมาณ 22.08 ตารางกิโลเมตร หรือ 13,819 ไร่ ดังแสดงในภาพที่ 1.3 (องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งขมิ้น, 2558)

3. ลักษณะภูมิประเทศ

ตำบลทุ่งขมิ้นมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบสูง มีภูเขาและลำคลอง สามารถทำนาได้เล็กน้อย



ภาพที่ 1.3 แผนที่แสดงที่ตั้งตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

1.2.7 สารหนู (Arsenic)

1. คุณสมบัติของสารหนู

สารหนูมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้ (รวิพรรณ ทองห่อ, 2548)

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

สารหนู (Arsenic: As) เป็นธาตุกึ่งโลหะ (Semi mental) มีลักษณะเป็นเงา มีสีเทาและเปราะ สารประกอบของสารหนูละลายน้ำได้เล็กน้อย

2) คุณสมบัติทางเคมี

สารหนูมีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า As มีเลขอะตอม 33 น้ำหนักอะตอม 74.92 มีวาเลนซี 0, 3 และ 5 นอกจากนี้ยังสามารถเกิดอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเดชันสเตทเป็นลบได้อีกในกรณีที่เกิดอยู่ในรูปสารประกอบอาร์เซไนด์กับโลหะ สารหนูในสภาวะของ As^0 และ As^{+3} มักจะเกิดและมีความเสถียรอยู่ภายใต้ผิวโลกในกระบวนการลดออกซิเจน (Reducing process) ส่วน As^{+5} มักจะเกิดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเติมออกซิเจน (Oxidizing process) ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมผิวโลก ธาตุสารหนูธรรมชาติ (As) จะเกิดร่วมกับแร่อื่นๆ ในแหล่งแร่บางชนิด ส่วน As^{+3} จะเกิดอยู่ในรูปของแร่ซัลไฟด์และออกไซด์ As^{+5} ส่วนใหญ่จะเกิดอยู่ในรูปออกไซด์ คือ อาร์ซีเนต หรือสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆ ในลักษณะของแร่หรือสารละลายปนอยู่กับน้ำธรรมชาติ

สารประกอบของสารหนูมีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์สารหนูที่สำคัญ ได้แก่ methylarsenic acid และ dimethylarsenic acid ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งจะเกิดในรูป arsenides และ sulfides ของโลหะ สารหนูที่เกิดขึ้นในน้ำส่วนมากเป็นสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งเกิดในรูปของ arsenite $(AsO_2)^-$ และ arsenate $(AsO_4)^{-3}$ มีออกซิเดชันสเตทเป็น trivalent (+3) และ pentavalent (+5) ตามลำดับ สารประกอบอนินทรีย์ที่เป็น trivalent จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบที่เป็น pentavalent โดยที่ทั้งสองเลขออกซิเดชันนี้สามารถเปลี่ยนไปมาซึ่งกันและกันได้ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction process) นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเกิดอยู่ในรูปของก๊าซอาร์ซีน (Arsine) ได้อีกด้วย

สารหนูเลขออกซิดัน +3 (Arsenite) มีสูตรโมเลกุลที่มีประจุลบ คือ AsO_3^{-3} และเป็นสารอนุพันธ์ของ Arsenous acid (H_3AsO_3) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนและอยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ เช่น $Cu_2(C_2H_3O_2)(AsO_3)$ เป็นส่วนประกอบในยาฆ่าแมลง และ $CuHAsO_3$ เป็นส่วนประกอบในการผลิตสี เป็นต้น

สารหนูเลขออกซิเดชัน +5 (Arsenate) มีสูตรโมเลกุลที่มีประจุลบ คือ AsO_4^{-3} และเป็นสารอนุพันธ์ของ Orthoarsenic acid (H_3AsO_4) และมักอยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ เช่น $Pb_3(AsO_4)_2$ และ $Ca_3(AsO_4)_2$ เป็นส่วนประกอบในยาฆ่าแมลง

ก๊าซอาร์ซีน (Arsine, AsH_3) เป็นก๊าซไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียมระเหยง่าย มีความเป็นพิษสูงสุด ถ้าสูดดมหรือหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบโลหิตเกิดภาวะโลหิตจาง เนื่องจากก๊าซอาร์ซีนจะจับตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงและทำลายเม็ดเลือดแดงในเวลาต่อมา ก๊าซนี้ไม่เสถียรสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย กล่าวคือ อาร์ซีนจะเกิดได้ในน้ำธรรมชาติที่มีตัวลดออกซิเจนแล้วจะทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ทำให้เกิดธาตุจำพวกซัลไฟด์และอาร์เซไนต์ได้

2. แหล่งกำเนิดของสารหนู

สารหนูในธรรมชาติมักเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆ เป็นสารประกอบพวกอาร์เซไนด์ (Arsenides) และซัลฟาเซไนด์พวก Trisulfide, Pentasulfide และ White arsenic (As_2O_3) โดยสารหนูในธรรมชาติเกิดอยู่ในลักษณะออกซิเดชันที่สำคัญ มี 3 สถานะ คือ As^0 As^{+3} และ As^{+5} นอกจากนี้ยังสามารถเกิดอยู่ในสถานะของ As^{-3} ในรูปของสารประกอบอาร์ซีน (AsH_3) ที่อุณหภูมิและความดันปกติได้ แต่ไม่เสถียร สามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย อาร์ซีนจะเกิดได้ในน้ำธรรมชาติที่มีตัวลดออกซิเจน แล้วจะทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ทำให้เกิดแร่จำพวกซัลไฟด์และอาร์เซเนตได้ สารหนูในสถานะของ As^0 และ As^{+3} มักจะเกิดและมีเสถียรภาพอยู่ในสภาพแวดล้อมปฐมภูมิซึ่งเกิดอยู่ภายใต้ผิวโลกในกระบวนการลดออกซิเจน (Reducing process) ส่วนสถานะ As^{+5} มักเกิดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเติมออกซิเจน (Oxidizing) ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมบนผิวโลก ธาตุสารหนูธรรมชาติ (As) เกิดอยู่ร่วมกับแร่อื่นๆ ในแหล่งแร่บางชนิด ส่วน As^{+3} เกิดในรูปของแร่ซัลไฟด์และซัลโฟซอลต์หรือออกไซด์ สำหรับ As^{+5} ส่วนใหญ่จะเกิดอยู่ในรูปออกไซด์ คือ ในรูปของอาร์เซเนตหรือสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆ ในลักษณะของแร่หรือสารละลายปนอยู่กับน้ำตามธรรมชาติ ไม่มีความเสถียร (ธมลวรรณ วุ่นพันธ์, 2551) ซึ่งแหล่งแร่ที่สามารถพบสารหนูได้มีดังนี้ (สายสวาท สีลอ, 2554)

1) แหล่งแร่ในหินสการ์น (Skarn type deposits) แหล่งแร่ชนิดนี้มีสารหนูค่อนข้างสูง มักเกิดร่วมกับแร่พวกทองคำ ตะกั่ว เงิน แคดเมียม สังกะสี โมลิบดีนัม และเหล็ก บางครั้งเกิดร่วมกับแร่วุลแฟรม ดีบุก นิกเกิล และโคบอลต์ แร่ที่สำคัญคืออาร์ซิโนไพไรต์

2) แหล่งแร่เพกมาไทต์ชนิดที่มีแร่ดีบุก วุลแฟรม ไนโอเบียม แทนทาลัม บิสมัท โมลิบดีนัม และยูเรเนียม แหล่งแร่ชนิดนี้มีสารหนูค่อนข้างต่ำ ส่วนมากจะพบอยู่ในแร่ไพไรต์และอาร์เซโนไพไรต์ ในแร่บางนิดอาจมีสารหนูสูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สารหนูสามารถเป็นองค์ประกอบของแร่ประมาณ 245 ชนิด ที่พบโดยทั่วไปเป็นองค์ประกอบของแร่อาร์เซโนไพไรต์ (arsenopyrite) ปริมาณสารหนูในหินอัคนีมีค่าตั้งแต่ 1.03 - 4.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือในอัตราเฉลี่ย 1.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในหินตะกอน เช่น หินปูน หินทราย อาจพบสารหนูจำนวนน้อยมาก และในแหล่งแร่แมงกานีสอาจพบมากถึง 15,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารประกอบซัลไฟด์ของสารหนูสามารถเกิดการเติมออกซิเจนได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศจะกลายเป็นเกลืออนินทรีย์ของสารหนู (inorganic arsenic salt) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี นอกจากจะพบในแร่แล้ว ยังพบสารหนูในน้ำธรรมชาติได้อีกด้วย

3. การแพร่กระจายของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อม

รวิพรรณ ทองห่อ (2548) ได้จำแนกแหล่งที่พบการแพร่กระจายของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อมไว้ดังนี้

1) แหล่งธรรมชาติ สารหนูในแหล่งธรรมชาติเกิดขึ้นจากการสึกกร่อนของพื้นผิวโลกหรือเปลือกโลก หรือจากก๊าซของภูเขาไฟ ซึ่งสารหนูจะถูกพัดพาเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและจากการสึกกร่อนของพื้นผิวโลก คาดว่ามีสารหนูจากแหล่งธรรมชาติประมาณปีละ 72,000 ตัน ในรูปของ arsenous oxide

2) จากการใช้สารพิษป้องกันและกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร สารหนูที่เกิดขึ้นมาจากการใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งในปุ๋ยจะมีสารหนูประกอบอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.1 ส่วนการใช้สารปราบศัตรูพืชที่สำคัญ คือ lead arsenate นอกจากนั้นสารหนูบางส่วนจะถูกพืชดูดซับไปบางส่วนเข้าไปปนเปื้อนในน้ำใต้ดินและในสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนจากสารหนู

3) จากกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม สารหนูที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม เช่น จากการเผาถ่านหิน โรงงานถลุงโลหะ เป็นต้น

4. วัฏจักรของสารหนูในน้ำ

ในชั้นน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่มาก (epilimnion) สารหนูในรูปกรด arsenous acid ก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น arsenate ion แต่ถ้าในแหล่งน้ำมีโลหะพวกเหล็กหรืออลูมินัมอยู่ด้วยก็สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเหล่านี้ เป็นสารประกอบเกลืออาร์ซีเนตตกตะกอนจมลงสู่ชั้นดินใต้น้ำที่ไม่มีออกซิเจน (hypolimnion) ดังสมการ

$$HAsO_2 + O_2 \longrightarrow HAsO_4^{2-}$$

$$HAsO_4^{-} + O_2 + Fe \longrightarrow FeAsO_4$$

ถ้าในชั้นที่มีออกซิเจนละลายอยู่มากนี้ ตะกอนและอนุภาคดินเหนียวที่แขวนลอยก็จะสามารถตรึงเอาอนุมูลอาร์ซีเนตบางส่วนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเหล็กด้วยแล้วจมลงสู่ชั้นดินตะกอนท้องน้ำที่ไม่มีออกซิเจน แต่เนื่องจากชั้นน้ำที่ไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำนี้มีจุลินทรีย์พวกไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobes) อยู่และสามารถนำเอาทั้ง Fe (III) และ As (V) มาใช้เป็นตัวรับอิเล็คตรอนทำให้เกิด anaerobic respiration ได้ สารประกอบอาร์ซีเนตจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกลายเป็นกรด $HAsO_2$ และเกลืออาร์ซีไนต์ได้ ถ้าหากในดินใต้น้ำนั้นมีปริมาณกำมะถันเพียงพอ และมีค่า Eh กับค่า pH ที่เหมาะสมก็สามารถตกตะกอนในท้องน้ำในรูปของ As_2S_3 ได้ ส่วน H_2AsO_4 และ $HAsO_2$ ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถันก็จะตกตะกอนท้องน้ำ โดยการดูดซับจากไฮดรอกไซด์อิออนของเหล็ก (Fe III) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอรัสอาร์ซีเนต ดังสมการการเกิดปฏิกิริยา คือ

$$HAsO_2 + S^{2-} \longrightarrow As_2S_3$$

$$H_2AsO_4^{-} + HAsO_2 + Fe^{3+} \longrightarrow FeAsO_4$$

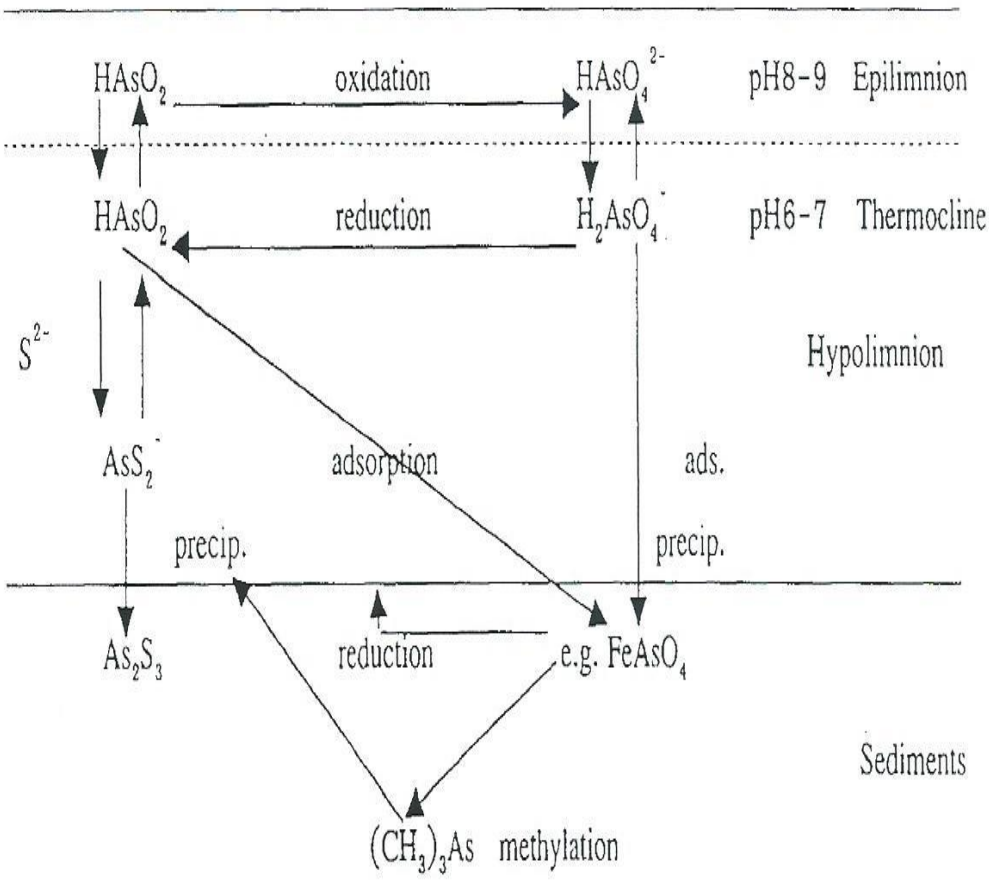
มีปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีต่างๆ ที่ควบคุมเคลื่อนย้ายรูปต่างๆ ของสารหนูในรูปของสารละลายและในรูปของแข็ง มีการเปลี่ยนจากสภาวะออกซิเดชันนัมเบอร์หนึ่งไปยังอีกออกซิเดชันหนึ่งนั้นเป็นไปได้หลายกรณี ดังภาพที่ 1.4

สำหรับชั้นตะกอนท้องน้ำ (sediment) มีสิ่งมีชีวิตเช่น แพลงก์ตอน แบคทีเรีย ชื้อรา และจุลินทรีย์อื่นๆ สามารถเปลี่ยนสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ได้ และกระบวนการทางชีวภาพ bioreduction สารหนูอินทรีย์จะเกิดขึ้นในรูปสารประกอบ trimethylarsenic acid ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic organisms) หรืออยู่ในรูปสารประกอบ dimethylarsenic acid ซึ่งเกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (aerobic organisms) โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อสารประกอบอาร์ซีเนตถูกออกซิไดส์ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสารประกอบอาร์ซีไนต์ก่อนที่จะมีการเติมหมู่เมธิล (CH_3^-) แต่อย่างไรก็ตาม สารหนูที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ดังกล่าวจะถูกแบคทีเรียออกซิไดซ์และดึงหมู่เมธิลออก (demethylation) ให้กลับไปอยู่ในรูปของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ได้อีก

Braman (1983) รายงานไว้ว่าสารหนูในน้ำจืดมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงโดย biomethylation ส่วนสารหนูในทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสารหนูอนินทรีย์กลายเป็นสารหนูอินทรีย์ โดยที่สารหนูเข้าแทนที่ไฮโดรเจน (arsenic containing biochemicals) จะพบสารหนูในรูป methylation ในน้ำบริเวณที่แสงแดดส่องถึง เกิดเนื่องจากแพลงตอนเปลี่ยนสารหนูไปเป็นสารประกอบ methylarsenic แต่กลไกของการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ส่วนในน้ำผิวดินจะพบได้ทั้งสารหนูในรูป As (III) และ As (V) เนื่องจากในสภาวะแวดล้อมที่มีสภาวะรีดิวซ์ และพีเอชเป็นกลางอาจเกิดปฏิกิริยา oxygenation ของอาร์ซีไนต์ (arsenite) เป็นอาร์ซีเนต (arsenate) อย่างช้าๆ หรืออาจจะเกิดจากการรีดักชั่นของแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยนอาร์ซีเนตเป็นอาร์ซีไนต์ ดังสมการ

$$H_2AsO_4 + HAsO_4^{2-} \longrightarrow H_2AsO^-_3 + HAsO^{2-}_3$$

(Arsenate) (Arsenite)



ภาพที่ 1.4 วัฏจักรของสารหนูในแหล่งน้ำธรรมชาติ
ที่มา: Ferguson and Gavis, 1972

5. ความเป็นพิษของสารหนู

สหภาพยุโรป หรือ European Union (EU) ได้จัดสารหนูและสารประกอบของสารหนูเป็นสารพิษและสารที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้ข้อบังคับที่ 67/548/EEC ส่วนหน่วยงาน International Agency for Research on Cancer (IARC) ซึ่งเป็นหน่วยงานขององค์การอนามัยโลกได้จัดสารหนูและสารประกอบของสารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ กลุ่มที่ 1 หมายถึง เป็นสารที่มีการยืนยันชัดเจนว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งได้แก่ arsenic trioxide, arsenic pentaoxide และ arsenate salts สำหรับ LD_{50} ของสารหนูเท่ากับ 743 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (โดยการกลืนกิน) และ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (โดยการฉีดเข้าสู่ร่างกาย) (ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, 2551)

สารหนูเป็นสารที่เป็นพิษต่อสุขภาพ ผู้บริโภคสารนี้เข้าไปเพียง 100 มิลลิกรัม สามารถก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้และยังสามารถสะสมอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายได้ในระยะยาว

นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกด้วยว่าสารหนูเป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง ดังนั้นในน้ำดื่มจึงไม่ควรมีสารหนูเกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร พบสารหนูได้ในน้ำธรรมชาติโดยเฉพาะน้ำบาดาล ซึ่งเกิดจากการละลายของแร่ธาตุในน้ำ นอกจากนี้ยังพบสารหนูได้ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำในบริเวณที่มีการใช้ยาฆ่าแมลงที่เข้าสารหนูด้วย (มั่นสิน ตันทุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัลทุลเวศม์, 2551)

พิษที่พบส่วนใหญ่เกิดจากการบริโภคน้ำและอาหารที่มีสารหนูปนเปื้อนเข้าไปในร่างกายที่สูงหรือได้รับเป็นระยะเวลานาน โดยปริมาณสารหนูที่จะทำให้เกิดผลต่อร่างกายนั้นยังไม่สามารถระบุที่แน่นอนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ ลักษณะการเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ อายุ เพศ และความต้านทานของแต่ละบุคคล นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของสารหนูด้วย สารประกอบอนินทรีย์สารหนูจะเป็นพิษมากกว่าสารประกอบอินทรีย์สารหนู และสารประกอบที่มีสารหนูเป็น trivalent form (As^{+3}) จะเป็นอันตรายมากกว่า pentavalent form (As^{+5}) โดยสารหนูที่มีวาเลนซี 3 จะมีโอกาสอยู่ในร่างกายนานกว่าวาเลนซี 5 และถ้าอยู่ในรูปของสารละลายจะมีความเป็นพิษมากกว่าของแข็ง อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก คือ ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะถ้าบริโภคในปริมาณที่สูงกว่านี้เป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดโรคพิษสารหนูเรื้อรังได้ (ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, 2551)

สารหนูเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ อุจจาระ เส้นผม และเล็บ ถ้าสารหนูขับออกมาไม่หมดก็จะไปสะสมอยู่ที่ผมและกระดูกเนื่องจากอวัยวะเหล่านี้มีสาร keratin เป็นองค์ประกอบ โดยสารหนูจะเข้าทำกับปฏิกิริยากับ sulfhydryl group (-SH) ของ keratin ในโปรตีนหรือเอนไซม์ที่มีในเซลล์ ซึ่งทำให้ยับยั้งการสร้าง ATP ในทุกกระบวนการของสิ่งมีชีวิต โดยในวงจรกรดซิตริก (citric acid cycle) สารหนูจะยับยั้งการทำงานของ succinate dehydrogenase และแข่งขันกับฟอสเฟตในการเกิดปฏิกิริยา oxidative phosphorylation จึงเป็นผลยับยั้งปฏิกิริยาการสร้างพลังงานของ NAD^+ การหายใจไมโตรคอนเดรีย (mitochondrial respiration) และการสังเคราะห์ ATP นอกจากนี้ยังเป็นผลให้มีการสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น รวมทั้งสารออกซิไดซ์อื่นๆ ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสารหนูจึงมีผลให้ถึงแก่ชีวิตได้เนื่องจากเกิดภาวะล้มเหลวของระบบอวัยวะต่างๆ หรือเรียกว่าเกิดความเป็นพิษของสารหนู (ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, 2551)

ความเป็นพิษของสารหนูยังทำให้เกิดอาการทางผิวหนังตั้งแต่ผิวหนังมีสีดำคล้ำ เป็นหูด และมะเร็งผิวหนัง และสารหนูยังเป็นสาเหตุของโรคพิษสารหนูเรื้อรัง หรืออาร์ซีนิโคซิส (Arsenicosis) ที่เกิดจากการดื่มน้ำที่มีสารหนูเจือปนในรูปของ arsenate และ arsenite ซึ่งความรุนแรงจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ได้รับและการสะสมของสารหนูในร่างกาย อาการของโรคเริ่มตั้งแต่ผิวหนังเกิดอาการระคายเคืองจนด้านและหน้าขึ้น เม็ดสีที่ผิวเป็นสีดำเข้ม อาจพบรอยตกกระตามร่างกาย ที่ฝ่ามือจะเป็นจุดขาวๆ เต็มไปหมด ส่วนฝ่าเท้าจะเกิดจุดสีดำใหญ่เห็นได้ชัดเจนทั้งสองฝ่าเท้าจนกระทั่งกลายเป็นมะเร็งที่ผิวหนัง มะเร็งปอด มะเร็งไต และมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ รวมทั้งมีผลต่อระบบหลอดเลือดหัวใจและระบบประสาท (ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, 2551)

ทั้งนี้สารหนูมีพิษทั้งแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) และแบบเรื้อรัง (chronic toxicity) ซึ่งพิษที่เกิดจากสารหนูมีลักษณะดังนี้ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

1) พิษเฉียบพลัน (acute toxicity) จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออวัยวะที่สัมผัสกับสารหนู และอาจทำให้คลื่นไส้ อาเจียน เป็นตะคริว กล้ามเนื้อเกร็ง เกิดอาการแทรกซ้อนเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ และอาจเสียชีวิตจากการทำงานของหัวใจล้มเหลว ในกรณีที่สูดดมไอหรือฝุ่นของสารหนู ทำให้จมูกและหลอดลมไหม้เกรียม เจ็บคอ หายใจขัดและปอดบวม

2) พิษเรื้อรัง (chronic toxicity) เกิดจากการได้รับสารหนูติดต่อกันเป็นเวลานาน และมีการสะสมในร่างกายทีละน้อย จะทำให้เกิดแผลเป็น ผิวหนังหนาขึ้น มีรอยดำที่ผิวหนัง อาจมีเส้นสีขาวบนเล็บ เกิดอาการชาตามปลายมือปลายเท้า มีความรู้สึกแสบร้อน มีอาการอ่อนเพลียของแขนขา และอาจเป็นมะเร็งผิวหนังและปอด รวมทั้งมีผลต่อทารกในครรภ์ และมีฤทธิ์ต่อการกลายพันธุ์ (mutation) อีกทั้งยังพบว่าทำให้มีผลต่อระบบต่างๆ ดังนี้

- ระบบประสาท ทำให้มีอาการอ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย กล้ามเนื้อไม่แข็งแรง ชาตามปลายมือปลายเท้า เยื่อบุตา จมูก และหลอดลมบวม
- ระบบทางเดินอาหาร ทำให้เบื่ออาหาร คลื่นไส้ ปวดท้อง
- ทางผิวหนัง มีรอยดำ ฟกช้ำ ถ้าได้รับสารหนู 1-5 มิลลิกรัมต่อวัน อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ผิวหนังจะมีสีคล้ำ เรียกว่า hyperpigment หรืออาการฝ่ามือ ฝ่าเท้ามีตุ่มแข็งด้าน เรียกว่า hyperkeratosis นอกจากนี้อาจมีอาการอื่นๆ เช่น เล็บไม่เจริญตามปกติ ผมร่วง เป็นต้น
- อวัยวะภายใน เกิดเนื้องอกในอวัยวะที่สำคัญ ไตอักเสบ หัวใจวาย

1.2.8 กลไกและพฤติกรรมของสารหนูในน้ำใต้ดิน

สารหนูจัดเป็นแร่ประกอบหินชนิดหนึ่ง จึงพบว่ามีความเข้มข้นของสารหนูในดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ปรากฏขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ โดยความเข้มข้นของสารหนูถูกควบคุมโดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุและน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการหลักทางด้านธรณีเคมี 4 กระบวนการ ดังนี้ (Wang and Deng, 2009)

1) การตกตะกอนและการละลาย (precipitation and dissolution) กระบวนการตกตะกอนและการละลายเกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดและการพังทลายของหินและแร่ธาตุ กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อมีการตกตะกอนของสารหนูจากปัจจัยทางธรณีเคมี ซึ่งกระบวนการ precipitation and dissolution เกิดขึ้นได้และดำเนินการอย่างช้าๆ ที่สภาวะสมดุล

2) การดูดซับและการคาย (adsorbtion and desorption) กระบวนการดูดซับและการคายเป็นกระบวนการที่ถูกควบคุมการเคลื่อนที่ของสารหนูภายใต้สภาพออกซิไดส์ กระบวนการดูดซับติดผิววัสดุตัวกลางจึงมีความสำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่ของสารหนูในน้ำใต้ดิน

3) ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction) ปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาหลักในการควบคุมสปีชีส์ของสารหนู โดยค่ารีดอกโพเทนเชียล (ค่า Eh) ถูกควบคุมโดยธาตุหลัก ประกอบด้วย O, C, N, S, และ Fe และธาตุรอง ซึ่งสารหนูจัดเป็นธาตุรองชนิดหนึ่ง โดยปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ กล่าวคือ เมื่อ

เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจนหมดจากนั้นตัวรับอิเล็กตรอนลำดับถัดไปจะถูกใช้ในปฏิกิริยา

4) กระบวนการเปลี่ยนรูปทางจุลชีววิทยา (Microbial Transformation) สารหนูสามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ตามธรรมชาติ โดยมีจุลินทรีย์บางชนิดถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาร์ซีไนต์ และปฏิกิริยารีดักชันของอาร์ซีเนต และมีสาหร่าย รา และแบคทีเรียบางกลุ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา Biomethylation ซึ่งเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบสารหนูอินทรีย์ในกลุ่ม Monomethylarsonic acid และ Monomethylarsonous acid

1.2.9 การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

กระบวนการการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่สำคัญ มี 3 ประการ (Rogers, 1989) คือ

Advection เป็นกระบวนการพามวลสารไปพร้อมกับการเคลื่อนที่มวลน้ำอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำ โดยผ่านไปตามรูพรุนของชั้นหินที่มวลน้ำมีการไหลผ่านโดยชั้นหินให้น้ำที่มีค่าการซึมผ่านได้สูง เช่น ทราย หรือกรวด การเคลื่อนที่แบบนี้จะเป็นการเคลื่อนที่หลัก (Spitz and Mareno, 1996)

Dispersion เป็นการที่มวลสารค่อยๆ แพร่กระจายไปในมวลน้ำเป็นการแพร่กระจายที่ไปในทิศทางเดียวกัน และในแนวขวางของทิศทางการไหล ซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วของการไหลของน้ำและจากการแพร่ (diffusion) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ (Spitz and Mareno, 1996)

Sorption มี 2 แบบ คือการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) โดยที่การดูดซับเป็นกระบวนการที่มวลสารถูกหน่วงเหนี่ยวให้เคลื่อนที่ช้าลง หรือลดความเข้มข้นลงด้วยการยึดติดของโมเลกุลหรือพันธะทางเคมีกับผิวของอนุภาคของชั้นหินให้น้ำ ส่วนการคาย คือการเพิ่มขึ้นของมวลสารในน้ำเนื่องจากการสลายตัวจากสภาวะที่เป็นของแข็ง ระดับการ sorption ของทั้งสองกระบวนการนี้เป็นผลโดยตรงมาจากกระบวนการธรณีเคมี (geochemical process) ต่างๆ เช่น pH อุณหภูมิ สารประกอบอื่นๆ องค์ประกอบของชั้นหินให้น้ำ

1.2.10 สถานการณ์การปนเปื้อนของสารหนูในต่างประเทศ

เป็นที่ทราบกันดีว่าสารหนูเป็นหนึ่งในสารพิษที่ก่อปัญหาสำคัญในแหล่งน้ำดื่มของประเทศโลกที่สามในบริเวณที่มีการสะสมของแร่ arsenopyrite โดยเฉพาะปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศบังกลาเทศ (Berg *et al*, 2007) พบว่า ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ประชากรในประเทศนี้ดื่มน้ำจากน้ำใต้ดินที่ขุดเจาะขึ้นมา น้ำดังกล่าวมีความเข้มข้นของสารหนูมากกว่าหนึ่งในพันส่วน ในขณะที่องค์การอนามัยโลกกำหนดค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยินยอมให้มีได้เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (WHO, 1993) สารหนูในน้ำใต้ดินเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติและจากการตกตะกอนสู่น้ำใต้ดิน เนื่องจากสภาวะหรือกิจกรรมต่างๆ บนพื้นผิวดิน การนำน้ำใต้ดินมาใช้ในการบริโภคเริ่มขึ้นในปลายศตวรรษที่ 20 หลังจากที่องค์กรภาคประชาชน (NGOs) ให้การสนับสนุนการขุดเจาะน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงการดื่มน้ำผิวดินที่มีแบคทีเรียเจือปน แต่ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น คือ ไม่มีการตรวจสอบสารหนูในน้ำดังกล่าว ประเทศต่างๆ ในตะวันออกเฉียงใต้ เช่น

เวียดนาม กัมพูชา และทิเบต ซึ่งมีสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์คล้ายกันก็มีการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินในปริมาณสูง นอกจากนี้ทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริการวมทั้งรัฐมิชิแกน รัฐวิสคอนซิล รัฐมินเนโซต้าและดาโกต้า ก็พบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินในปริมาณสูงด้วยเช่นกัน (Meharg and Eart, 2005)

ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล (2551) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินเขตลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง พบว่า การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินของประเทศจีน กัมพูชา และเวียดนามสูงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก สำหรับประเทศไทย พบว่า ข้อมูลเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำดื่มยังมีน้อย เนื่องจากสารหนูไม่ได้เป็นสารหลักในการตรวจวิเคราะห์น้ำดื่ม นอกจากนี้กรมควบคุมมลพิษยังกำหนดค่ามาตรฐานของสารหนูในน้ำดื่มและน้ำใต้ดินไว้เท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าระดับความเข้มข้นที่ยินยอมให้มีได้ของสหภาพยุโรป (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) และองค์การอนามัยโลก (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร)

Yu *et al*. (2007) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในบ่อน้ำบาดาล จำนวน 21,155 บ่อ จาก 20,517 หมู่บ้านของ 16 จังหวัดในประเทศจีน ในปี ค.ศ. 2001 และ 2005 เมื่อตรวจสอบด้วยชุดตรวจสอบ Merck As kit พบว่า ร้อยละ 5 ของบ่อน้ำบาดาลมีการปนเปื้อนของสารหนูมากกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อตรวจสอบโดยวิธี fluorescence spectrometry และ Silver dithiodicarbomate spectrometry พบว่า บ่อน้ำบาดาล ร้อยละ 10 มีการปนเปื้อนของสารหนูเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งประมาณได้ว่าประชากร 582,769 คน ได้รับสารหนูจากการดื่มน้ำบ่อบาดาลจากการตรวจสอบสุขภาพของประชากรจำนวน 135,429 คน จาก 8 จังหวัด พบว่าประชากรจำนวน 10,096 คน ป่วยเป็นโรคพิษสารหนูเรื้อรัง

Berg *et al*. (2007) ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในเขตสันดอนแม่น้ำโขงและแม่น้ำแดงในประเทศกัมพูชาและเวียดนาม พบว่า ประเทศกัมพูชามีปริมาณสารหนูปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน 1-1,610 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 217 ไมโครกรัมต่อลิตร) ในขณะที่ปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินของประเทศเวียดนามตอนใต้อยู่ในช่วง 1-845 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 39 ไมโครกรัมต่อลิตร) สำหรับน้ำใต้ดินในเขตลุ่มแม่น้ำแดงมีปริมาณสารหนูปนเปื้อนอยู่ในช่วง 1-3,050 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 159 ไมโครกรัมต่อลิตร) นอกจากนี้ยังตรวจพบว่าแหล่งน้ำดื่มในเขตชนบทของนครฮานอยมีปริมาณสารหนูเพิ่มสูงขึ้น ตะกอนจากแม่น้ำแดงที่ได้จากการขุดลึกลงไป 12-40 เมตร มีปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 2-33 ไมโครกรัมต่อกรัม (เฉลี่ย 7 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

Buschmann *et al*. (2007) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินตามลุ่มแม่น้ำโขงของประเทศกัมพูชา พบว่า ปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 1-1,340 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 163 ไมโครกรัมต่อลิตร) และพบว่าร้อยละ 48 ของตัวอย่าง มีปริมาณสารหนูมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังตรวจพบประชาชนจำนวน 350 คนต่อตารางกิโลเมตรป่วยเป็นโรคพิษสารหนูเรื้อรัง ซึ่งคล้ายกับที่เกิดขึ้นในประเทศบังกลาเทศ (200 คนต่อตารางกิโลเมตร) น้ำใต้ดินและตะกอนดินทรายที่ทับถมตามชายฝั่งแม่น้ำโขงและแม่น้ำ Bassas ในเขตจังหวัด Kandal มีปริมาณสารหนู 233 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 100 ไมโครกรัมต่อลิตร) ในขณะทางด้านทิศใต้และทิศตะวันออกของแม่น้ำมีปริมาณสารหนูน้อยกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร การที่สารหนูถูกปล่อยออกจากตะกอนคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากการละลายของโลหะออกไซด์

Nguyen *et al*. (2009) ทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินบริเวณเมือง Ha Nam ประเทศเวียดนาม พบว่า มีการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินในหมู่บ้าน Vinh Tru, Bo De และ Hoa Hau คือ 348, 211 และ 325 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มของประเทศเวียดนาม คือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยการดื่มน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนก่อให้เกิดอาการพิษสะสมและมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในคนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้น

Liu *et al*. (2010) ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารหนูและความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากเหมืองทังสเตนที่ถูกทิ้งร้างในเมืองซัวเถาทางตอนใต้ของประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารหนูในดินจากการเกษตรอยู่ในช่วง 3.5-935 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 129 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ ในน้ำใต้ดินมีความเข้มข้นของสารหนูสูงถึง 325 ไมโครกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของสารหนูในอาหารท้องถิ่น คือ ข้าวกล้อง ผัก และปลา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.09, 2.38 และ 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำและอาหารมีการปนเปื้อนของสารหนูอย่างรุนแรง สำหรับผลกระทบต่อสุขภาพ พบว่า ความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างผมและปัสสาวะของประชาชนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 164 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นต่อประชาชนในพื้นที่และความจำเป็นในการหามาตรการที่มีประสิทธิภาพในการดำเนินการป้องกันจากการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

Wang *et al.* (2011) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการรับสัมผัสสารหนูและแคดเมียมในน้ำใต้ดินใกล้กับแม่น้ำ Xiangijiang ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารหนูอยู่ระหว่าง 0.0014-0.0135 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ยเท่ากับ 0.0030 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงตัวอย่างเดียวที่เกินค่ามาตรฐาน (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) สำหรับผลการประเมินความเสี่ยงพบว่า เด็กมีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนูสูงกว่าในผู้ใหญ่ โดยพบว่าในทุกตัวอย่างค่า cancer rick มีค่าสูงกว่า 10^{-6} ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ (เฉลี่ย 2.3×10^{-4} และ 1.1×10^{-4} ตามลำดับ) และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ 10^{-4} จำนวน 8 ตัวอย่าง ซึ่งค่าสูงสุดเท่ากับ 7.9×10^{-4} สำหรับค่า HI พบว่า ค่าเฉลี่ยในเด็กมีค่าเข้าใกล้ 1 และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.86 ซึ่งความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งส่วนใหญ่จะมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าฤดูการมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ

Chakraborti *et al*. (2013) ได้ศึกษาการปนเปื้อนสารหนูในบริเวณเหมืองทองคำเก่าของ Mangalur greenstone belt ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของเมืองกันนากาตะ ประเทศอินเดีย ผลการศึกษา พบว่า ร้อยละ 79 ของตัวอย่างน้ำจากท่อบ่อบาดาลทั้งหมด 59 ตัวอย่างมีสารหนูสูงกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (สูงสุด 303 ไมโครกรัมต่อลิตร) โดยร้อยละ 58.6 จากบุคคลที่ถูกคัดเลือกทั้งหมด 181 คน พบว่าเป็นโรคผิวหนังจากสารหนู

Agusa *et al*. (2014) ได้ศึกษาการสัมผัสสารหนูในน้ำดื่มของประชากรในประเทศเวียดนาม ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดินอยู่ในช่วง <1-632 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบว่ามีการปนเปื้อนอย่างรุนแรงในอำเภอ Ly Nhan, Hoai Duc และ Phuong ความเข้มข้นของสารหนูจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในการบำบัดด้วยน้ำกรองทราย ยกเว้นน้ำใต้ดินจากอำเภอ Hoai Duc ความเข้มข้นของสารหนูในเส้นผมและปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของสารหนูที่เพิ่มขึ้นในน้ำดื่ม แสดงให้เห็นว่าน้ำดื่มเป็นแหล่งสำคัญของการได้รับสารหนูสำหรับผู้อยู่อาศัยในบริเวณดังกล่าว

Tung *et al.* (2014) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารหนูในน้ำดื่มในจังหวัด Hanam ประเทศเวียดนาม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 300 ตัวอย่าง แยกเป็นตัวอย่างน้ำก่อนและหลังผ่านการกรอง พร้อมทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของครัวเรือน จำนวน 150 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำดื่มมีค่าตั้งแต่ 8-579 ppm (เฉลี่ยเท่ากับ 301 ppm) และการบริโภคน้ำดื่มที่มีสารหนูประจำวันของผู้ใหญ่มีค่าเกินมาตรฐาน ถึงร้อยละ 40 สำหรับความเสี่ยงในผู้ใหญ่ที่เกิดจากการบริโภคน้ำที่ผ่านการกรองก่อนนำไปดื่ม เท่ากับ 25.3 $x10^{-5}$ (สำหรับตัวอย่างที่ใช้น้ำบ่อในการดื่มเพียงอย่างเดียว) และ 7.6 $x10^{-5}$ (สำหรับตัวอย่างที่ใช้น้ำบ่อและน้ำฝนในการดื่ม) ซึ่งพบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งผิวหนังสูงถึง 11.5 เท่า เมื่อใช้น้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรองด้วยทรายก่อนนำไปดื่ม ทั้งนี้จึงควรปรับปรุงมาตรฐานของการกรองหรือเปลี่ยนแหล่งน้ำที่ใช้ในการดื่ม เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรในท้องถิ่น

1.2.11 สถานการณ์การปนเปื้อนของสารหนูในประเทศไทย

ปัญหาการแพร่กระจายของสารหนูที่พื้นที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เกิดจากสารหนูที่อยู่ในรูปของอาร์เซโนไพไรต์ (FeAsS) และไพไรต์ (FeS_2) ในสายแร่ดีบุกบริเวณเขาสรวงจันทร์และเขาร่อนนา ซึ่งเป็นเทือกเขาสูงต่อเนื่องจากทิศตะวันตกถึงทิศเหนือ ในอดีตมีการทำเหมืองแร่ดีบุก ปัจจุบันเหมืองแร่เหล่านี้ได้กลายสภาพเป็นแหล่งน้ำขังตลอดทั้งปีและถูกชะล้างโดยน้ำฝนจากกระบวนการตามธรรมชาติและไหลลงสู่ห้วยร่อนนาผ่านชุมชนตำบลร่อนพิบูลย์และไหลลงสู่ทะเลที่อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จากผลการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อปี 2530 พบว่า สาเหตุที่ราษฎรในพื้นที่ดังกล่าวได้รับพิษเรื้อรังจากสารหนูเนื่องมาจากการบริโภคน้ำบ่อและพืชผักสวนครัวที่มีการปนเปื้อนของสารหนู

โรคพิษสารหนูหรือที่ชาวบ้านเรียกกันทั่วไปว่าโรคไข้ดำในประเทศไทยนั้นตามปกติเกิดจากการรับประทานยาที่มีส่วนผสมของสารหนูเข้าไป แต่หากเป็นพิษสารหนูที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษมีการรายงานในประเทศไทยเป็นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2530 ที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในบริเวณหมู่ที่ 1, 2, 12 และ 13 โดยพบว่า สาเหตุที่ทำให้ประชาชนเป็นโรคพิษสารหนูเกิดจากน้ำดื่มและน้ำใช้มีสารหนูปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมากจนเกินค่ามาตรฐานปริมาณสารหนูที่ยินยอมให้มีได้ในน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประชาชนในหมู่บ้านได้นำน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนนั้นมาใช้ในการอุปโภคบริโภค ตลอดจนใช้รดพืช ผัก ผลไม้ และเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นเมื่อประชาชนได้ดื่มกินและใช้น้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนอยู่อย่างรู้เท่าไม่ถึงการณ์มาเป็นระยะเวลานาน จึงเกิดอาการของโรคพิษสารหนูขึ้น อาการขั้นต้นของผู้ป่วย

โรคพิษสารหนูจะเริ่มจากอาการเบื่ออาหาร อ่อนเพลีย ขับถ่ายผิดปกติ ชาบริเวณปลายนิ้วมือ เท้าตก นิ้วเน่า ผิวหนังดำแห้งกร้านตกสะเก็ดแข็งกระด้าง เป็นผื่นหนาแตกลายดำสลับขาว กลายเป็นมะเร็งผิวหนัง และตายได้ในที่สุด (วินัย วีระวัฒนานนท์, 2533)

บรรจง วิทยวีรศักดิ์ (2541) ได้ศึกษารูปแบบและระดับการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และตำบลใกล้เคียง พบว่า ในตำบลร่อนพิบูลย์มีความเข้มข้นของสารหนูสูงสุดในหมู่ที่ 12 (1.19±1.28 มิลลิกรัมต่อลิตร) รองลงมา ได้แก่ หมู่ที่ 2 (0.74±0.84 มิลลิกรัมต่อลิตร) หมู่ที่ 13 (0.09±0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร) และหมู่ที่ 15 (0.07±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ มีครัวเรือนร้อยละ 4.1 ที่ดื่มน้ำบ่อที่ปนเปื้อนสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับให้มีได้ (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีครัวเรือน ร้อยละ 8.2 ที่หุงข้าวและประกอบอาหารด้วยน้ำบ่อที่ปนเปื้อนสารหนูสูง ไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูเกินค่ามาตรฐานในน้ำบ่อในพื้นที่ตำบลอื่น ยกเว้นในตำบลควนเกยบริเวณรอยต่อกับตำบลร่อนพิบูลย์ รูปแบบการปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ มีลักษณะกระจายเป็นหย่อมๆ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูกับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำบ่อ

บรรจง วิทยวีรศักดิ์ (2542) ศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำดื่มและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นต่อการเกิดโรคมะเร็งของประชาชนในหมู่บ้านต่างๆ ของตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบตัวอย่างน้ำดื่มที่มีระดับสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในหมู่ที่ 2, 7, 9 และหมู่ที่ 12 คิดเป็นร้อยละ 8.3, 1.5, 4.8 และ 8.3 ตามลำดับ โดยเป็นน้ำฝน ร้อยละ 0.3 น้ำบ่อ ร้อยละ 7.7 และน้ำดิบจากภูเขา (ประปาภูเขา) ร้อยละ 28.6 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในน้ำดื่มของครัวเรือนในหมู่ต่างๆ มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง $4.3x10^{-4}$ - $9.6x10^{-3}$ มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูนี้แล้ว พบว่า มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง $1.9x10^{-5}$ - $4.3x10^{-4}$ ซึ่งสรุปได้ว่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการบริโภคน้ำดื่มยังอาจมีได้ และอาจมีนัยสำคัญในหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 12 ซึ่งมีค่าความเสี่ยงมากกว่า $1x10^{-4}$

กรมทรัพยากรธรณี (2542) ได้ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ปริมาณสารหนูอยู่ในระดับที่มากกว่าค่ามาตรฐานน้ำใต้ดินที่ใช้บริโภค (0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้ราษฎรที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวและใช้น้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนของสารหนูมีตุ่มคันขึ้นตามฝ่ามือ ฝ่าเท้า ผิวหนัง มีสีคล้ำผิดปกติ ซึ่งเป็นอาการของโรคมะเร็งผิวหนัง โดยสันนิษฐานว่าการแพร่กระจายของสารหนูมีสาเหตุมาจากการร่อนแร่และการทำเหมืองดีบุก ทำให้เกิดการสลายตัวของแร่ arsenopyrite ที่อยู่ร่วมกับดีบุกและส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูลงสู่น้ำใต้ดิน

ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร และคณะ (2543) ได้ศึกษาปัจจัยเสี่ยงและขนาดความเสี่ยงต่อสุขภาพของชาวบ้านในตำบลร่อนพิบูลย์จากการรับสัมผัสสารหนู พบว่า ทางการรับสัมผัสที่สำคัญที่สุด คือ การกินดินโดยไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งผิวหนังเท่ากับ $2x10^{-4}$ รองลงมา คือ การกินผักและผลไม้ที่มีสารหนูปนเปื้อนทำให้เกิดความเสี่ยงระหว่าง $3x10^{-3}$ อันดับที่ 3 คือ การบริโภคน้ำบ่อตื้นที่มีสารหนูปนเปื้อนทำให้เกิดความเสี่ยงระหว่าง $3x10^{-4}$ ในหมู่ที่ 7 และ $4x10^{-2}$ ในหมู่ที่ 2 ส่วนการบริโภคปลาและสัตว์น้ำทำให้เกิดความเสี่ยงเท่ากับ $8x10^{-4}$

สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา (2555) ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่า มีความเข้มข้นของสารหนูเกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) จำนวน 4 ตัวอย่าง และทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล และน้ำประปา อย่างละ 1 ตัวอย่าง พบว่า ความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ทิพย์นภา เตะหมาน (2558) ได้ศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำจากบ่อน้ำตื้นและความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการดื่มน้ำจากบ่อน้ำตื้น ในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 167 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างน้ำ 59 ตัวอย่าง มีปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยพบว่าน้ำจากบ่อน้ำตื้นหมู่ที่ 12 ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ มีปริมาณสารหนูปนเปื้อน 1.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ซึ่งกำหนดให้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) และความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการดื่มน้ำจากบ่อน้ำตื้น พบว่า เกินค่า 10^{-4} ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้ สำหรับผลการประเมินความเสี่ยงของโรคอื่นที่ไม่ใช่มะเร็งมีค่าความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ คือ มีค่ามากกว่า 1

มุทาทิพย์ รอดทิม (2558) ได้ศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูที่ละลายในน้ำอุปโภคบริโภคในพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 5 ประเภท คือ น้ำประปาผิวดิน น้ำประปาบาดาล น้ำประปาขุมเหมือง น้ำประปาภูเขา และน้ำบ่อตื้นพบว่าความเข้มข้นของสารหนูในน้ำอยู่ในช่วง 0.001 - 0.185 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการประเมินความเสี่ยงรวม พบว่าเด็กมีความเสี่ยงอยู่ในช่วง 1.20×10^{-4} - 7.23×10^{-3} และผู้ใหญ่มีความเสี่ยงอยู่ในช่วง 4.58×10^{-5} - 2.75×10^{-3} สำหรับความเสี่ยงรวมจากอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง พบว่าเด็กมีค่าดัชนีอันตรายอยู่ในช่วง 0.27 – 16.06 และผู้ใหญ่มีค่าดัชนีอันตรายอยู่ในช่วง 0.10 – 6.10

1.2.12 การเกิดสารหนูในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

แหล่งดีบุกทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น เป็นแหล่งแร่ดีบุก 1 ใน 9 แหล่งในจังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เป็นแหล่งแบบปฐมภูมิซึ่งมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก โดยพบแร่ดีบุกฝังปะปนอยู่ในเนื้อหินแกรนิต และสายแร่ควอตซ์ที่แทรกตัดเข้าไปในหินแกรนิต (กรมทรัพยากรธรณี, 2557) และได้มีการประกอบกิจกรรมเหมืองแร่ 2 ประเภท คือ การทำเหมืองหาบและการทำเหมืองสูบ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 (เล็ก สีคง, 2527) ซึ่งในกระบวนการทำเหมืองแร่นั้นต้องใช้น้ำฉีดพังดินแร่หน้าเหมืองในลักษณะของบ่อเหมืองแล้วใช้เครื่องสูบทรายสูบดินทรายขึ้นอุปกรณ์แต่งแร่ ทำให้เกิดการสลายตัวของแร่อาร์เซโนไพไรต์ หรือแร่สารหนูที่เกิดและพบร่วมกับแร่ดีบุก (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2555) ทำให้สันนิษฐานได้ว่าการแพร่กระจายของสารหนูมาจากการทำเหมืองแร่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมเดิม ทำให้แร่ซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำและปลดปล่อยสารหนูเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

1.2.13 น้ำใต้ดิน (Ground water)

1. ความหมายของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล หมายถึง น้ำที่กักเก็บอยู่ในโซนน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of saturation) จากแหล่งต่างๆ ที่ถูกดูดซึมลงสู่ใต้ผิวดิน บางส่วนจะถูกกักเก็บไว้ในชั้นสัมผัสอากาศ ส่วนที่เหลือจะไหลลงสู่ระดับลึกและถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เม็ดแร่ (ฉลอง บัวผัน, 2535)

2. สมบัติของน้ำใต้ดิน (properties of ground water)

น้ำใต้ดินที่มีสมบัติเหมาะแก่การบริโภคควรเป็นน้ำที่มีสารต่างๆ ละลายอยู่น้อยไม่เกินเกณฑ์กำหนดเหมาะสมในการบริโภค โดยทั่วไปสมบัติของน้ำใต้ดินสามารถแยกได้เป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และสารพิษ (ฉลอง บัวผัน, 2535)

3. ระบบการไหลของน้ำใต้ดิน

ระบบการไหลของน้ำใต้ดินขึ้นกับสภาพสิ่งแวดล้อมทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic environments) ซึ่งประกอบด้วยสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ สภาพธรณีวิทยา อุทกธรณีเคมี และข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของวัฏจักรของน้ำในระบบอุทกวิทยาอื่นๆ การวิเคราะห์ระบบการไหลของน้ำใต้ดินจะต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ร่วมกับข้อมูลชลศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดินในแอ่งกักเก็บ หากพิจารณาในเชิงคณิตศาสตร์สามารถจำแนกระบบการไหลของน้ำใต้ดินในแอ่งกักเก็บได้เป็น 3 ระบบ (Toth, 1963) ดังนี้

1) ระบบการไหลเฉพาะแห่ง (local flow system) เป็นการไหลของน้ำในระดับตื้น พื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำอยู่ในระยะใกล้กัน ทำให้ระยะทางและเวลาการไหลสั้น การเปลี่ยนแปลงและอัตราการไหลของน้ำไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการซึมของน้ำเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดินและการคายระเหยที่ผิว มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแนวดิ่งค่อนข้างสูง

2) ระบบการไหลขนาดกลาง (intermediate flow system) เป็นการไหลของน้ำใต้ดินที่เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อย

3) ระบบการไหลบริเวณกว้าง (regional flow system) มีพื้นที่รับน้ำเป็นสันปันน้ำของแอ่งกักเก็บและพื้นที่สูญเสียน้ำเป็นบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศต่ำที่สุดของแอ่งน้ำใต้ดิน มีระยะการไหลที่ไกลและลึก อัตราการไหลช้า อุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง

ระบบการไหลของน้ำใต้ดินในแต่ละระบบประกอบด้วยพื้นที่ 3 ส่วน คือ พื้นที่รับน้ำ (recharge area) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลลง พื้นที่ปันน้ำ (midline flow) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลในแนวราบ และพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลขึ้น แต่ละระบบการไหลของน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ

1.2.14 น้ำบ่อตื้น (shallow wellwater)

1. ความหมายและลักษณะทั่วไปของน้ำบ่อตื้น

น้ำบ่อตื้นเป็นบ่อน้ำที่ขุดไว้เพื่อเก็บกักน้ำจากน้ำใต้ดินระดับตื้นในชั้นหินอุ้มน้ำอิสระหรือน้ำใต้ดินอิสระ (Free ground water) โดยขุดลึกลงไปจนกว่าระดับน้ำที่อยู่ใต้ผิวดินและมีความลึกของก้นบ่อไม่มากนัก สามารถใช้เครื่องมือแบบง่ายๆ และการขุดด้วยแรงคนเป็นหลัก เพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่ไม่ลึกนักขึ้นมาใช้ประโยชน์ (เจริญพร เพียรเจริญ, 2540)

2. ชนิดของน้ำบ่อตื้น

สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1) น้ำบ่อตื้นชนิดดิน เป็นบ่อที่ไม่มีการกรุด้านข้าง จะเป็นการขุดเอาดินออกให้เป็นบ่อซึ่งไม่สามารถขุดให้ลึกได้เพราะดินอาจจะพังทลายได้ง่าย การก่อสร้างมีราคาถูกไม่ต้องเสียค่าวัสดุใดๆ นอกจากอุปกรณ์การขุด แต่มีอายุการใช้งานไม่นาน ให้ปริมาณการซึมผ่านน้ำสูงในบางท้องที่ขุดใช้เฉพาะหน้าแล้งเพื่อการปลูกพืชฤดูแล้งและจะกลบเมื่อเข้าฤดูฝน เป็นบ่อที่มีมานานเก่าแก่ที่สุดและเหมาะสมกับดินเหนียว

2) น้ำบ่อตื้นชนิดไม้ เป็นบ่อที่กรุผนังด้านข้างด้วยไม้ที่หาได้ในท้องถิ่น ส่วนใหญ่บ่อเก่ามีมานานแล้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2 เมตร ลึก 4-6 เมตร รูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ให้ปริมาณน้ำซึมผ่านสูง ปัจจุบันไม่นิยมเพาะไม้หายาก มีราคาแพงกว่าปูนคอนกรีตและความคงทนสู้บ่ออื่นไม่ได้ เพราะนานๆ ไปไม้จะผุพังไปด้วย และดินด้านข้างจะถูกน้ำเซาะพังได้ง่ายและมีสาหร่ายตะไคร่น้ำเกาะมาก บ่อไม่เหมาะกับเนื้อดินประเภท ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silly clay) ดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) ไม่เหมาะสมกับดินทรายเพราะต้องขุดบ่อให้เสร็จก่อนจึงลงไปขัดสานไม้ข้างล่าง

3) น้ำบ่อตื้นชนิดอิฐก่อ เป็นบ่อที่กรุด้านข้างด้วยอิฐเรียงด้วยมือ มีการประสานด้วยปูนซีเมนต์หรือมอร์ต้าร์ รูปร่างเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8-1.5 เมตร หรือใหญ่ 4-5 เมตรก็ได้ การก่อสร้างอาศัยฝีมือและประสบการณ์มากพอสมควร มิฉะนั้นจะเกิดการเอนเอียงของผนังบ่อ ไม่สวยงามและลดความแข็งแรง การซึมน้ำจะดีกว่าบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กมีอายุการใช้งานมากกว่าบ่อดินและบ่อไม้แต่นานไปอาจมีการอุดตันเนื่องจากตะไคร่น้ำได้และอาจมีการพังทางด้านข้างของบ่อถ้าก่อสร้างไม่ดีพอหรือพังเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นใต้ดินก้นบ่อ

4) น้ำบ่อตื้นชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นบ่อที่กรุด้วยท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูป มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8-2 เมตร เป็นบ่อที่นิยมมาก พบทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพาะมีอายุการใช้งานนาน ความลึกขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำใต้ดิน วัสดุก่อสร้างหาได้ง่ายไม่แพงมากเหมาะกับดินทุกชนิดโดยเฉพาะดินที่พังทลายง่าย เช่น ดินทราย ดินร่วน เพราะสามารถจมบ่อลงไปพร้อมกับการขุดได้ ผนังบ่อวงแหวนจะช่วยป้องกันดินรอบๆ พังทลาย แต่นานไปจะเกิดการอุดตันจากตะไคร่น้ำได้และให้อัตราการซึมผ่านน้ำได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ

1.2.15 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง คือ กระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำ หรือเหตุการณ์ใดๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งเพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพว่ามีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคามอย่างไร และเสี่ยงมากน้อยเพียงใด โดยประกอบ 4 ขั้นตอนดังนี้ (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2547)

1. การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard identification)

การประเมินสิ่งคุกคามเป็นการระบุถึงความเป็นอันตรายของสาร หรือระบุว่าสารตัวใดมีความเป็นอันตรายมากน้อยเพียงใด ซึ่งหมายถึงเป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นอันตราย หลัก การประเมินสิ่งคุกคามหรือการศึกษาความเป็นพิษของสาร ต้องทราบข้อมูลที่มีความชัดเจนเกี่ยวกับสารเคมีหรือสิ่งคุกคาม โดยต้องทราบว่ามีสารใดบ้างในบริเวณที่ต้องการศึกษา รวมทั้งต้องทราบความเข้มข้นและการกระจายตัวตองสารว่าสามารถเคลื่อนย้ายไปยังตัวผู้รับได้อย่างไร โดยขั้นตอนการเลือกสารเคมีหรือสิ่งคุกคามต้องทราบคุณสมบัติของสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี 3 ประเด็นหลักที่นำมาทำการประเมิน ได้แก่

1) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความเป็นพิษสูงสุด

2) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความคงทนสูง มีความเข้มข้นและการกระจายตัวสูง

3) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง เช่น สารที่สามารถระเหยได้ง่าย การละลายน้ำได้ดี เป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องกับคน โดยสารเคมีหรือสิ่งคุกคามที่เลือกมาทำการประเมินจะต้องมีความเสี่ยงร้อยละ 99 ของความเสี่ยงทั้งหมด

การรายงานสารเคมีหรือสิ่งคุกคามต้องประกอบด้วยความเสี่ยงของสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (Cancer risk) และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากโรคมะเร็ง (Non cancer risk)

2. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

เป็นวิธีการประมาณหรือวัดปริมาณหรือความเข้มข้นของสิ่งคุกคามที่แต่ละบุคคล ประชากร หรือระบบนิเวศได้รับ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ ค้นหาสารหรือสิ่งคุกคามที่สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดหรือสิ่งแวดล้อมได้รับ คำนวณปริมาณที่ได้รับ ได้รับโดยวิธีใด เป็นเวลานานเท่าใด และภายใต้สภาพการณ์ใด ในการประเมินการสัมผัสแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน

1) การกำหนดลักษณะของการสัมผัส (Characterizing exposure setting) ในขั้นนี้จะต้องกำหนดลักษณะของการสัมผัสในแง่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพทั่วไปของแหล่งกำเนิด และของประชากรที่อยู่บริเวณนั้นหรือใกล้เคียง เช่น การระบุรายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่จะประเมิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การระบุรายละเอียดของประชากรที่ศึกษา การระบุลักษณะกลุ่มประชากรที่เป็นกลุ่มเสี่ยง

2) การค้นหาเส้นทางในการสัมผัส (Identifying exposure pathways) ในขั้นนี้จะต้องพิจารณาเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ประชากรจะมีโอกาสในการได้รับสัมผัส ในแต่ละเส้นทางจะใช้ในการอธิบายวิธีการที่กลุ่มประชากรได้รับการสัมผัสจากแหล่งกำเนิด การระบุเส้นทางจะต้องอาศัยข้อมูลด้านแหล่งกำเนิด การปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ชนิด และตำแหน่งของสารคุกคามในแหล่งกำเนิดนั้น รวมถึงพิจารณาจุดการสัมผัส ช่องทางการรับเข้าสู่ร่างกาย เช่น การสัมผัส การรับประทาน การหายใจ เป็นต้น

3) การวัดการสัมผัส (Quantifying exposure) ในขั้นตอนนี้ต้องทำการวัดขนาดความถี่ และระยะเวลาการสัมผัสของแต่ละเส้นทางที่ได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย ผู้ประเมินต้องระบุความเข้มข้นของสารคุกคามตลอดช่วงเวลาของการสัมผัส และคำนวณการได้รับสารคุกคามเฉพาะอย่างสำหรับแต่ละเส้นทางที่ได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งการประมาณการสัมผัสจะระบุในรูปของปริมาณมวลสารของสารคุกคามที่มีการสัมผัสกับร่างกายต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักร่างกายต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าที่ได้นี้เรียกว่า ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ (intake, I)

3. การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment)

การประเมินความเป็นพิษมี 2 รูปแบบ ได้แก่ ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นพิษที่เป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ซึ่งแสดงโดยค่า Slope Factor (SF) และค่า Reference Dose (RfD)

4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยง มีวัตถุประสงค์เพื่อจะสรุปว่าประชากรกลุ่มเสี่ยงจะได้รับผลกระทบหรือไม่ เป็นขั้นตอนเชื่อมระหว่างการประเมินความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง ซึ่งการอธิบายลักษณะความเสี่ยงสามารถจำแนกประเภทสารเคมีได้เป็น 2 ลักษณะ คือ สารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และสารเคมีที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

1) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารเคมีชนิดก่อมะเร็ง หากผลการคำนวณมีค่าไม่เกิน 10^{-4} แสดงว่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2) การอธิบายลักษณะความเสี่ยงของสารเคมีที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง การใช้แบบจำลองประเมินการตอบสนองจากสารเคมีแบบมีระดับกั้น ใช้กับสารเคมีชนิดที่ไม่ก่อมะเร็ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าแสดงความเสี่ยง (hazard index หรือ hazard quotient) หากผลการคำนวณมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่า ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้ ถ้าผลการคำนวณมีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

1.3.2 เพื่อประเมินการสัมผัสสารหนูและความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนจากพิษสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1.4.1 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้

1.4.2 ประชากรในพื้นที่ศึกษาอาจมีความเสี่ยงต่อพิษสารหนูเรื้อรัง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

1.5.2 ประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบความเสี่ยงต่อพิษสารหนูในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

1.5.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการจัดการความเสี่ยงในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงจนอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น รณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ชาวบ้านงดดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนู

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1.6.1 ศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ซึ่งได้แก่ หมู่ที่ 4 (บ้านนาทองสุก) และหมู่ที่ 5 (บ้านนา) โดยแบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ศึกษา และพื้นที่อ้างอิง

1.6.2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ระดับความเข้มข้นของสารหนูรวม

1.6.3 ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในช่วงฤดูร้อน คือ ช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน 2559

1.6.4 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลครั้งเดียว จำนวน 5 ตัวอย่าง ส่วนน้ำบ่อตื้นได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างรอบแรก จำนวน 13 ตัวอย่าง เพื่อสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในเบื้องต้น และเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมรอบที่ 2 จำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารหนูอย่างละเอียดในพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนสูงเกินค่ามาตรฐาน

1.6.5 ศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำบ่อตื้นของประชาชนในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง โดยจำแนกพฤติกรรมการใช้น้ำออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ใช้ในกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว

ประเภทที่ 2 ใช้ในกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร

ประเภทที่ 3 ใช้ในกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม

1.6.6 ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นทั้งที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) และจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncancer risk) ตามวิธีการของ USEPA (1989) โดยทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหารทั้งจากการดื่มน้ำและการปรุงอาหาร

1.6.7 เสนอแนวทางในการจัดการความเสี่ยง ทั้งการติดตามเฝ้าระวัง ป้องกัน แก้ไข การได้รับสารหนูในน้ำบ่อตื้น

บทที่ 2

วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) สำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นและประเมินความเสี่ยงจากพิษสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา โดยส่วนแรกของงานวิจัยเป็นการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น โดยการวิเคราะห์สารหนูด้วยเครื่อง hydride generation atomic absorption spectrometer (AAS) ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันเพื่อประเมินการสัมผัสสารหนูของประชาชนในพื้นที่ และส่วนที่ 3 เป็นการประเมินความเสี่ยงจากพิษสารหนูต่อสุขภาพของประชาชนผ่านทางเดินอาหาร (จากการปรุงอาหาร และดื่มน้ำ) ในส่วนของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพแบ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง

2.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับลงพื้นที่ภาคสนาม

1) เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ (water sampler)
2) ขวดพลาสติก ชนิดโพลีเอธิลีน ขนาด 250 มิลลิลิตร
3) ลังโฟมน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง
4) ปากกาเคมี
5) กระดาษทิชชู
6) ตะกร้า
7) ขวดฉีดน้ำกลั่น
8) ถุงมือ
9) เครื่อง GPS
10) เครื่องวัด pH

2.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

1) บีกเกอร์
2) ขวดปรับปริมาตร
3) ปิเปต
4) กรวยกรองแก้ว
5) เครื่อง atomic absorption spectrometer (AAS) with hydride generation technique

2.2 การเตรียมภาชนะเก็บตัวอย่าง

1) นำเครื่องแก้ว อุปกรณ์ และภาชนะเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ มาล้างด้วยน้ำยาล้างจานและน้ำประปาให้สะอาด แล้วผึ่งให้แห้ง

2) นำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) 25% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) หลังจากนั้นนำมาชะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และนำไปวางคว่ำผึ่งให้แห้งก่อนห่อหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

2.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2.1 เป็นเกรดวิเคราะห์ และเตรียมด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, 18.2 mΩ)

ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณสารหนูในตัวอย่างน้ำ

สารเคมี (เกรดวิเคราะห์)	บริษัท	ประเทศ
สารละลายสารหนู 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	SCP Science	แคนาดา
กรดแอสคอบิค ($C_6H_8O_6$)	POCH S.A	โปแลนด์
กรดไฮโดรคลอริค (HCl)	Loba Chemic	อินเดีย
กรดไนตริก (HNO_3)	RCI Labscan Limited	ไทย
โพแตสเซียม ไอโอไดด์ (KI)	Ajax Finechem Pty Ltd	นิวซีแลนด์
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	RCI Labscan Limited	ไทย
โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$)	Loba Chemic	อินเดีย

2.4 การเตรียมสารเคมี

2.4.1 สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ร้อยละ 0.3 ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.3 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

2.4.2 กรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 3 โดยปริมาตรต่อปริมาตร

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำปราศจากไอออนประมาณ 20 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.4.3 กรดแอสคอบิคร้อยละ 5 ในโปแตสเซียมไอโอไดด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ชั่งกรดแอสคอบิค 5 กรัม และโปแตสเซียม ไอโอไดด์ 5 กรัม ละลายละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

2.4.4 สารละลายมาตรฐานสารหนู 500 ไมโครกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารหนูมาตรฐาน 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องเจือจางสารละลายอัตโนมัติ (autodiluter) ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 1000 มิลลิลิตร เขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5 วิธีวิเคราะห์

2.5.1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานสารหนู 500 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0, 1, 2, 4 และ 6 มิลลิลิตร ตามลำดับ ด้วยเครื่องเจือจางสารละลายอัตโนมัติ (autodiluter) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 50% HCl ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และสารละลาย 5% KI ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 45 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ปิเปตตัวอย่างน้ำ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลาย 50% HCl ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

3) เติมสารละลาย 5% KI ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

4) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5) เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นทิ้งไว้อย่างน้อย 45 นาที (AWWA, 2012)

2.6 เครื่องมือวิเคราะห์

เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวมในน้ำใช้เทคนิคไฮไดรด์ เจนเนอเรชันอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี เครื่องยี่ห้อ Analytikjena รุ่น NovAA 350 โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ร้อยละ 0.3 น้ำหนักต่อปริมาตร ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นตัวรีดิวส์ และกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 3 โดยปริมาตรต่อปริมาตร เป็นตัวพา มีหลักการทำงาน คือ เมื่อสารหนู (As) ในสารละลายถูกรีดิวส์เป็น As^{+3} และถูกพาไปยังเซลล์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นสารหนูจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 193.7 นาโนเมตร ดังเครื่องมือแสดงในภาพที่ 2.1 และสภาวะการทำงานของเครื่องแสดงในตารางที่ 2.2

ภาพที่ 2.1 อะตอมมิค แอบซอร์พชัน สเปกโทรมิเตอร์ เครื่องยี่ห้อ Analytikjena รุ่น NovAA 350 คู่กับเทคนิคไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน รุ่น HS 60

ตารางที่ 2.2 สภาวะการทำงานของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Analytikjena รุ่น NovAA 350 คู่กับเทคนิคไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน รุ่น HS 60

Spectrometer conditions	
Wavelength (nm)	193.7
Slit width (nm)	1.4
HCL current (mA)	6.0
Atomizer: Quartz cell	14 cm path length×15 mm i.d.
Temperature (°C)	950
Signal measurement	Peak area absorbance
Hydride generation conditions	
Ar gas flow rate	100 mL min^{-1}
Reaction time (s)	30
Reading time (s)	80
Reducing agent	0.3% $NaBH_4$ w/v in 0.1% w/v NaOH
Acid	3% v/v HCl
Replicates	3
Sample flow rate	9.2 mL min^{-1}
0.3% w/v $NaBH_4$ in 0.1% w/v NaOHflow rate	4.0 mL min^{-1}
3% v/v HCl flow rate	3.6 mL min^{-1}

2.7 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพภายใน (internal quality control) โดยการนำสารละลายมาตรฐานของสารหนูมาเตรียมสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนู นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดค่าได้ (limit of quantification, LOQ)

การวิเคราะห์แต่ละชุดของตัวอย่างมี laboratory blank และ field blank เป็น control เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนระหว่างการวิเคราะห์และระหว่างการเก็บตัวอย่าง ตามลำดับ โดย laboratory blank เป็นตัวอย่างน้ำกลั่นที่เติมลงไปในหลอดสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง และ field blank เป็นตัวอย่างน้ำกลั่นที่ผ่านขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเหมือนกับตัวอย่างน้ำดื่มอื่นๆ (Miller and Miller, 2010)

2.7.1 สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)

สูตร CV = (SD/Mean) x 100)

เมื่อ C.V. คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของความเข้มข้นที่อ่านได้

Mean คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่อ่านได้

2.7.2 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)

สูตร % recovery = [(Cs-Cu) x 100]/C

เมื่อ Cs คือ ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน

Cu คือ ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน

C คือ ปริมาณสารมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

ค่า % Recovery ควรอยู่ในช่วง 80 -120

2.7.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD)

สูตร LOD = 3SD/Slope

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ absorbance

2.7.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดค่าได้ (limit of quantification, LOQ)

สูตร LOQ = 10SD/Slope

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ absorbance

2.8 ผลการประกันคุณภาพการวิเคราะห์

2.8.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation, CV)

ค่า CV ของการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ได้เท่ากับ ร้อยละ 5.55

2.8.2 ร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)

ค่า % recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ได้เท่ากับ ร้อยละ 98.20

2.8.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD)

ค่า LOD ของการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ได้เท่ากับ 0.00014 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.8.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดค่าได้ (limit of quantification, LOQ)

ค่า LOQ ของการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ได้เท่ากับ 0.00047 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.9 ขั้นตอนการศึกษา

2.9.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ทำการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ของหน่วยงานราชการ เช่น องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งขมิ้น โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทุ่งขมิ้น สำนักงานทรัพยากรธรณีจังหวัดสงขลา เป็นต้น และได้ศึกษาจากเอกสารวิชาการและผลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับสารหนู โรคพิษสารหนู และสภาพพื้นที่ของตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เช่น สภาพภูมิประเทศ การทำเหมืองแร่ดีบุก และอื่นๆ การศึกษาจากแผนที่เพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างหลังจากเข้าไปสำรวจในพื้นที่จริง

2.9.2 การวางแผนในการเก็บตัวอย่าง

1. การกำหนดขอบเขตพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง

การกำหนดขอบเขตพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ศึกษา ได้แก่ หมู่ที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา และพื้นที่อ้างอิง ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 3 และหมู่ที่ 6 สำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง ก็เพื่อที่จะบอกค่าปกติในธรรมชาติว่ามีปริมาณสารหนูมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากการสำรวจพบว่า มีน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษา จำวนวน 2 บ่อ ซึ่งเป็นน้ำดื่มตู้หยอดเหรียญทั้ง 2 ตัวอย่าง ตั้งอยู่เฉพาะในหมู่ที่ 4 และพบในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 บ่อ พบหมู่บ้านละ 1 บ่อ โดยเป็นน้ำดื่มตู้หยอดเหรียญ 2 ตัวอย่าง และเป็นน้ำประปาบาดาล 1 ตัวอย่าง

ส่วนการกำหนดขอบเขตพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่เช่นเดียวกัน คือ พื้นที่ศึกษา ได้แก่หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 5 ซึ่งเป็นพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา และพื้นที่อ้างอิง ซึ่งไม่ผ่านการทำเหมืองมาก่อน ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3 สำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง ก็เพื่อที่จะบอกค่าปกติในธรรมชาติว่ามีปริมาณสารหนูมากน้อยเพียงใด ซึ่งจากการสำรวจพบว่าน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา มีจำวนวน 40 บ่อ และได้ดำเนินการเก็บทุกบ่อที่ยังคงมีการใช้งาน และได้สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 บ่อ สำหรับพารามิเตอร์ที่ได้ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความเข้มข้นของสารหนู และ ค่า pH ตัวอย่างน้ำ

โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในช่วงฤดูร้อน คือ ช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน 2559 เนื่องจากในช่วงฤดูร้อนมีอัตราการบริโภคน้ำสูงกว่าในช่วงฤดูฝน สำหรับตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างครั้งเดียว จำนวน 5 ตัวอย่าง ส่วนน้ำบ่อตื้นได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง 2 รอบโดยรอบแรก จำนวน 13 ตัวอย่าง เพื่อสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในเบื้องต้น และเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมรอบที่ 2 จำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูอย่างละเอียดในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างที่พบการปนเปื้อนของสารหนูสูง โดยในการเก็บตัวอย่างรอบที่สองจะไม่เก็บซ้ำจุดเดิมจากรอบแรก ดังภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3

2. การเก็บตัวอย่างน้ำ

การดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล เก็บตัวอย่างจากก๊อกน้ำหลังจากสูบน้ำไปแล้วอย่างน้อย 3 นาที บรรจุในขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาด 250 มิลลิลิตร โดยจับขวดเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณก้นขวด ก่อนเก็บตัวอย่างต้องใช้ตัวอย่างน้ำกลั้ว (rinse) ขวดเก็บตัวอย่างก่อน 2-3 ครั้ง บรรจุน้ำให้เต็มขวดแล้วปิดจุกให้แน่น แล้วรักษาสภาพตัวอย่างน้ำโดยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำให้ต่ำกว่า 2 เพื่อป้องกันไม่ให้ธาตุตกตะกอนหรือเกิดการดูดซับกับผนังภาชนะที่ใส่ อีกขวดไม่ใส่สารเคมีเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ณ จุดเก็บตัวอย่าง ติดฉลากบันทึกสถานที่และวันที่เก็บแล้วเก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ในลังโฟม แช่น้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส รีบนำส่งห้องปฏิบัติการและทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการตรวจวิเคราะห์สารหนูต่อไป พร้อมทั้งบันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง GPS

การดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ซึ่งเป็นน้ำบ่อตื้นที่มีระดับความลึกไม่เกิน 20 เมตร ลักษณะน้ำบ่อตื้นจะเป็นบ่อคอนกรีตทั้งหมด ในกรณีที่เป็นบ่อเปิดจะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ (water sampler) เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดกึ่งกลางของบ่อหรือที่ระดับความลึกอย่างน้อย 30 เซนติเมตร จากผิวน้ำแล้วทำการถ่ายตัวอย่างน้ำลงในขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาด 250 มิลลิลิตร ส่วนในกรณีที่เป็นบ่อปิดจะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำจากก๊อกน้ำหลังจากสูบน้ำไปแล้วอย่างน้อย 3 นาที บรรจุในขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาด 250 มิลลิลิตร โดยจับขวดเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณก้นขวดและบรรจุน้ำให้เต็มขวด ก่อนเก็บตัวอย่างต้องใช้ตัวอย่างน้ำกลั้ว (rinse) ขวดเก็บตัวอย่างก่อน 2-3 ครั้ง แล้วรักษาสภาพตัวอย่างน้ำโดยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำให้ต่ำกว่า 2 เพื่อป้องกันไม่ให้ธาตุ

ตกตะกอนหรือเกิดการดูดซับกับผนังภาชนะที่ใส่ อีกขวดไม่ใส่สารเคมีเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ณ จุดเก็บตัวอย่าง ติดฉลากบันทึกสถานที่และวันที่เก็บแล้วเก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ในลังโฟมแช่น้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส รีบนำส่งห้องปฏิบัติการและทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการตรวจวิเคราะห์สารหนูต่อไป พร้อมทั้งบันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง GPS

2.9.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม โดยวิธี atomic absorption spectrometry (AAS) hydride generation technique

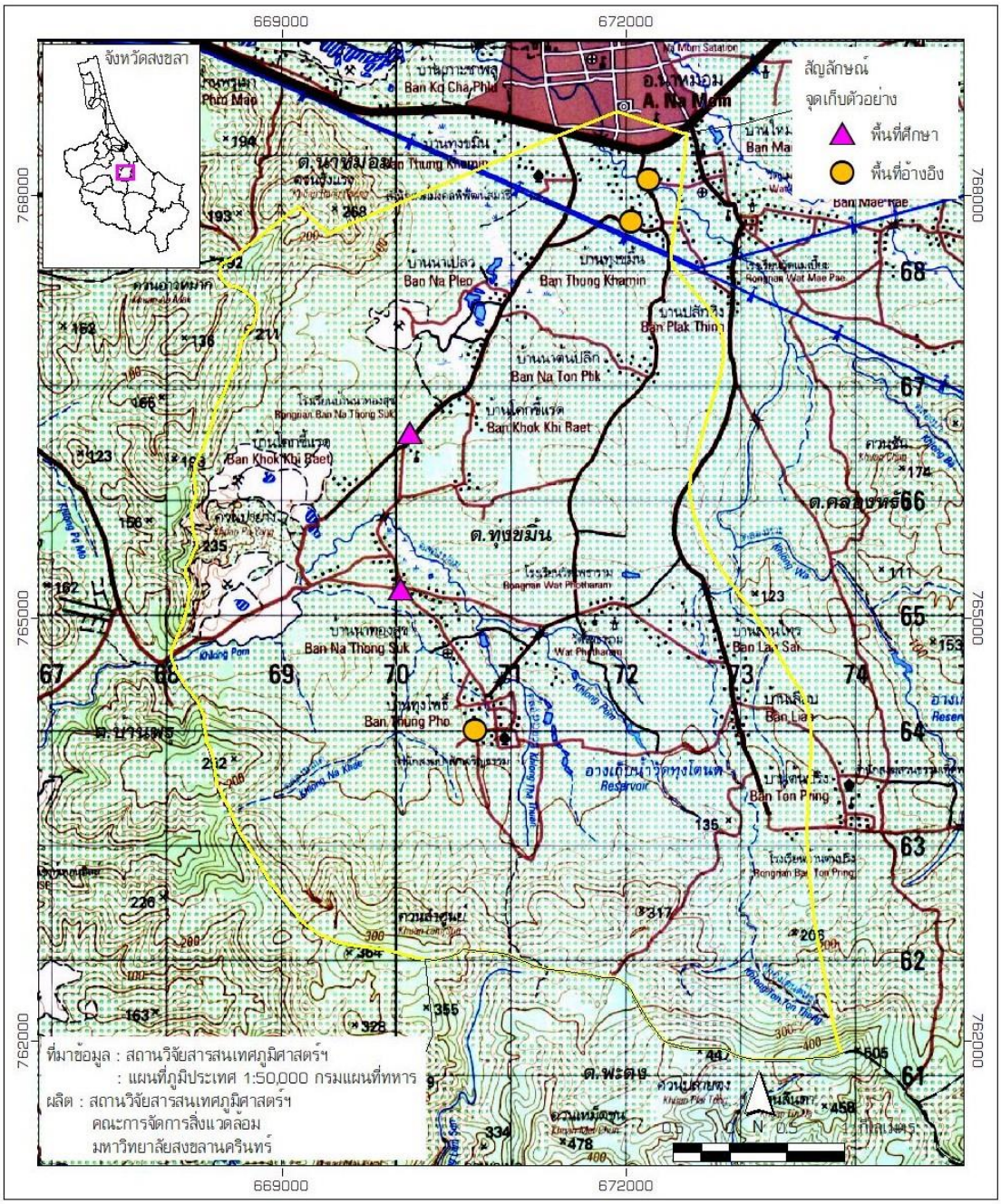
2.9.4 สถานที่สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม ณ ห้องปฏิบัติการสำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา และห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

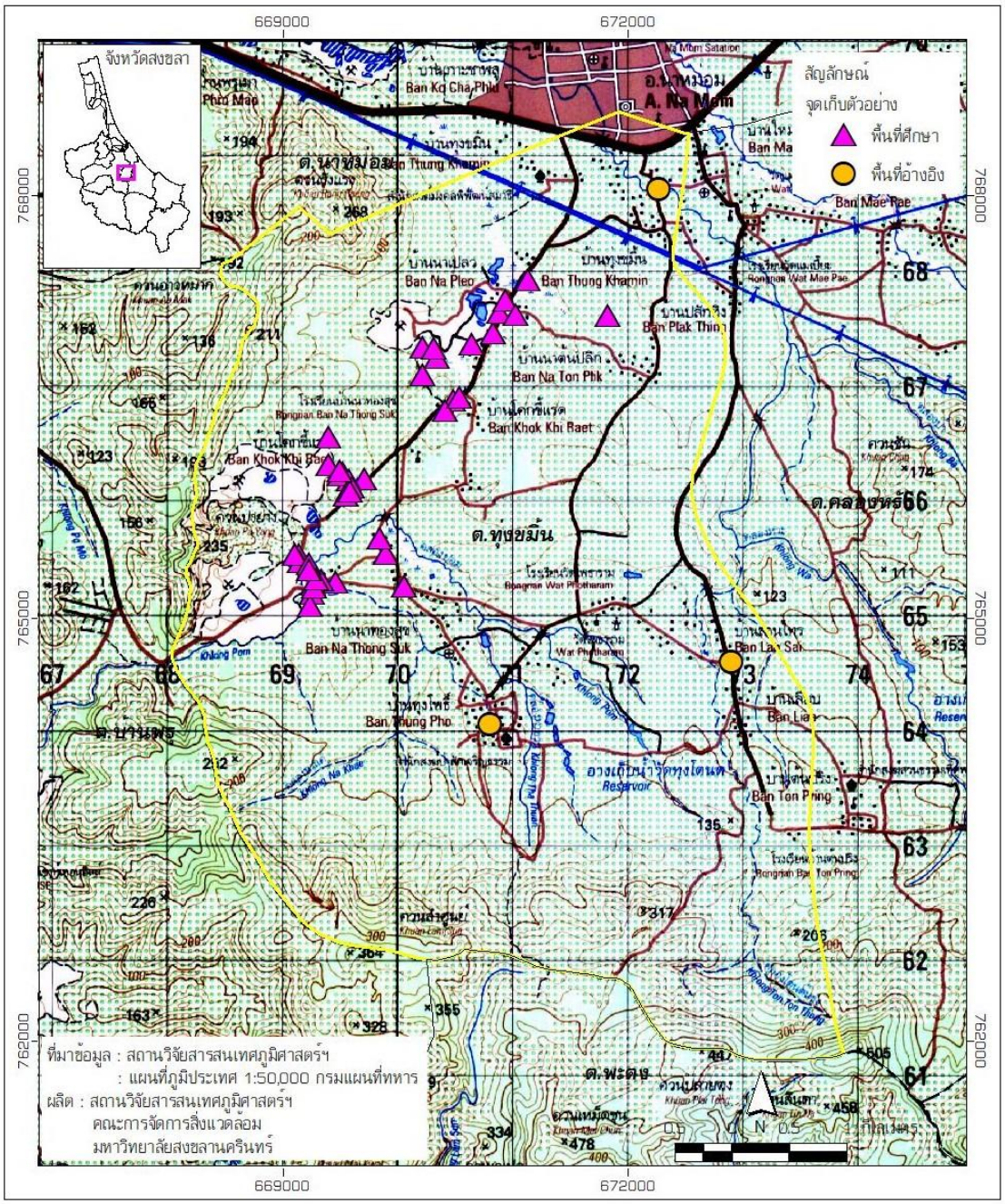
2.9.5 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้น้ำ

ในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมการอุปโภคและบริโภคน้ำจากน้ำบ่อตื้นของชาวบ้าน โดยเก็บข้อมูลแบบสอบถามประชากรในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 ครัวเรือน (เก็บทุกครัวเรือนที่ยังคงมีการใช้น้ำบ่อตื้น) และพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ครัวเรือน โดยหนึ่งครัวเรือนจะใช้แบบสอบถามจำนวน 1 ชุด ข้อมูลพฤติกรรมการใช้น้ำ ดังแสดงในภาคผนวก ค และข้อมูลแบบสอบถามดังภาคผนวก ช ซึ่งแบบสอบถามมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย เพศ อายุ อาชีพ และสถานที่ทำงาน
2) ข้อมูลน้ำบ่อตื้น ประกอบด้วย ประเภทบ่อ ตำแหน่งบ่อ ความลึก
3) ข้อมูลการนำน้ำบ่อตื้นมาใช้งาน



ภาพที่ 2.2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล



ภาพที่ 2.3 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น

2.9.6 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนู

1) เส้นทางการสัมผัสสารหนู

เส้นทางการสัมผัสสารหนูของชาวบ้านในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เกิดจากการบริโภคน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนเข้าไป (Ingestion) ผ่านทางเดินอาหารทั้งจากการดื่มน้ำและการปรุงอาหาร

2) การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

เนื่องจากสารประกอบสารหนูบางชนิดเป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) โดยเฉพาะมะเร็งผิวหนัง และสาเหตุจากเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncancer risk) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงประเมินความเสี่ยงของการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) และความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncancer risk) สำหรับเส้นทางการสัมผัสน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูที่สำคัญ คือ การดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูผ่านทางเดินอาหาร ส่วนการสัมผัสสารหนูผ่านทางผิวหนังจากการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ จะไม่นำมาประเมินความเสี่ยง เนื่องจากสารหนูอนินทรีย์ดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้น้อยมาก (USEPA, 1989) โดยกลุ่มประชากรที่ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ คือ ประชากรที่ดื่มน้ำจากน้ำบ่อตื้นและเนื่องจากประชากรกลุ่มตัวอย่างเป็นประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่และได้รับการสัมผัสในระยะยาว การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (noncancer risk) ที่ได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อตื้น โดยคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย (intake) จากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (USEPA, 1989)

สูตร $$LADD = \frac{CW \times CR \times EF \times ED}{BW \times ATc} \quad (1)$$

เมื่อ LADD คือ ปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิต (mg/kg/day)
CW คือ ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ (mg/L)
CR คือ อัตราการบริโภค (L/day)
EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (day/year)
ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
BW คือ น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกาย (kg)
ATc คือ ระยะเวลาเฉลี่ยตลอดชีวิต (day) (65x365 day)

สูตร $$\text{Cancer Risk} = LADD \times SF \quad (2)$$

เมื่อ Cancer Risk คือ ความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง
LADD คือ ปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิต (mg/kg/day)
SF คือ ค่า Slope factor ของสารก่อมะเร็ง $(mg/kg/day)^{-1}$

สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากโรคมะเร็ง (noncancer risk) ที่ได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อตื้น โดยคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย (intake) จากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (USEPA, 1989)

$$\text{สูตร} \quad ADD = \frac{CW \times CR \times EF \times ED}{BW \times ATnc} \qquad (3)$$

เมื่อ ADD คือ ปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวัน (mg/kg/day)
CW คือ ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ (mg/L)
CR คือ อัตราการบริโภค (L/day)
EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (day/year)
ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
BW คือ น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกาย (kg)
ATnc คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (day)

$$\text{สูตร} \quad \text{Hazard Index} = ADD/RfD \qquad (4)$$

เมื่อ Hazard Index คือ ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากโรคมะเร็ง
ADD คือ ปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวัน (mg/kg/day)
RfD คือ ค่า reference dose (mg/kg/day)

พิจารณาผลที่ได้จากการคำนวณว่าอยู่ในเกณฑ์การประเมินที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ หากเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องหาแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่ต่อไป

1) กรณีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง

ค่าความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 1×10^{-4}

2) กรณีความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากโรคมะเร็ง

ถ้าค่า hazard index มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้

ถ้าค่า hazard index มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับโดยเฉลี่ยอาจไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับคำนวณการรับสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกาย

พารามิเตอร์	หน่วย	ตัวแปร	ค่าคงที่	แหล่งอ้างอิง
อัตราการสัมผัสน้ำ	L/day	CR	2	USEPA (1989)
ความถี่ของการสัมผัส	day/year	EF	350	USEPA (1989)
ระยะเวลาที่สัมผัส	year	ED	30	USEPA (1989)
น้ำหนักของร่างกาย	kg	BW	60	น้ำหนักเฉลี่ยประชากรในพื้นที่
ระยะเวลาเฉลี่ย	day	ATc	23,725	USEPA (1989)
ระยะเวลาเฉลี่ย	day	ATnc	10,950	USEPA (1989)

ตารางที่ 2.4 ค่า Slope Factor และค่า Reference Dose ของสารหนูจากการได้รับเข้าสู่ร่างกาย

ค่าอ้างอิง	เส้นทางของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร	แหล่งอ้างอิง
ค่า Slope Factor (SF) $(mg/kg\text{-}day)^{-1}$	1.50	USEPA (1993)
ค่า Reference Dose (RfD) (mg/kg-day)	0.0003	

บทที่ 3

ผลการศึกษาและอภิปราย

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นผลความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น ส่วนที่ 2 เป็นผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน และส่วนที่ 3 เป็นผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารหนู ในส่วนของผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ แบ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง

3.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น

3.1.1 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาล

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษา พบว่า อยู่ในช่วง <0.00047 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 0.0003±0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร) และตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่อ้างอิง พบว่า อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - <0.00047 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 0.0001±0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในพื้นที่ศึกษามีค่า pH เฉลี่ย 4.27 และพื้นที่อ้างอิงมีค่า pH เฉลี่ย 4.29 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลมีปริมาณน้อยมากซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกจุดเก็บตัวอย่าง เนื่องมาจากน้ำบ่อบาดาลซึ่งอยู่ลึกจึงไม่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ดีบุก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูในน้ำประปาบาดาลบริเวณพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่าในเขตจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งอยู่ในช่วง 0.002 - 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (มุทาทิพย์ รอดทิม, 2558) จะเห็นว่าน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีความเข้มข้นของสารหนูน้อยกว่ามาก

3.1.2 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อตื้น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา พบว่า อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - 0.1337 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 0.0163±0.0293 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพื้นที่อ้างอิง พบว่า อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ - 0.0022 มิลลิกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 0.0009±0.0012 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนในพื้นที่ศึกษามีค่า pH เฉลี่ย 5.83 และพื้นที่อ้างอิงมีค่า pH เฉลี่ย 5.62 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และภาพที่ 3.2

จะเห็นว่าค่า pH ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นมีความเป็นกรดอ่อน โดยสารหนูที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งจะเกิดอยู่ในรูปของอาร์ซีไนต์ (Arsenite) และอาร์ซีเนต (Arsenate) ขึ้นอยู่กับว่ามีหรือไม่มีออกซิเจนในน้ำ ซึ่งสารประกอบสารหนูซัลไฟต์ เช่น รีเอลการ์ (As_4S_4) หรือออพิเมนต์ (As_2S_3) จะคงตัวอยู่ในรูปของแข็ง ที่มีค่า Eh 0 โวลต์ และค่า pH ที่เป็นกรด

และสารประกอบสารหนูชนิด $HAsS_2$ จะคงตัวได้มากในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำ และค่า Eh ประมาณ 0 โวลต์ โดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ (Ferguson and Gavis, 1972)

นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่อ้างอิง มีความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก ส่วนตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาพบว่า มีจำนวนตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นสารหนูเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก จำนวน 14 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 35) ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำบ่อตื้นส่วนบุคคลทั้ง 14 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาถึงบริเวณที่เคยเป็นเหมืองแร่ในอดีตจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นสูงกว่าพื้นที่อ้างอิง อาจจะเป็นไปได้ว่าพื้นที่อ้างอิงนั้นอยู่ห่างไกลออกไปจากบริเวณเหมืองแร่ดีบุกร้าง จึงทำให้มีการปนเปื้อนของสารหนูในปริมาณที่น้อย การปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่ศึกษามีการกระจายเป็นหย่อมๆ ตามตำแหน่งของเหมืองแร่ดีบุกร้าง โดยสาเหตุของการปนเปื้อนของสารหนูมาจากการทำเหมืองแร่ในอดีตที่ถูกทิ้งร้างที่ชะเอาสารหนูที่ปนเปื้อนในสายแร่ดีบุกออกมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดสารประกอบสารหนูที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำบ่อตื้นเพิ่มขึ้น และสาเหตุที่ทำให้การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นแต่ละบ่อแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากการที่มีการขุดเหมืองแร่เฉพาะบางจุด ทำให้บางจุดเท่านั้นที่มีการชะเอาสารหนูออกจากแร่จำพวกอาร์ซีโนไพไรต์ และการปนเปื้อนในแต่ละบ่อที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการได้รับออกซิเจนหรือไม่ของแร่ที่มีสารหนู อีกทั้งอาจเนื่องมาจากสารหนูจับกับโลหะหนักบางตัวในดินได้ดี เช่น เหล็ก ตะกั่ว ถ้าการกระจายตัวของโลหะหนักเหล่านี้ไม่สม่ำเสมอย่อมทำให้สารหนูในแต่ละบ่อแตกต่างกันด้วย ปัจจุบันเหมืองแร่ได้กลายสภาพเป็นอ่างเก็บน้ำ โดยทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจะไหลจากที่สูงบริเวณเนินเขายี่หรุ่งซึ่งเป็นแนวเขาที่มีการทำเหมืองแร่ดีบุกลงสู่ที่ต่ำบริเวณหมู่ที่ 4 (บ้านนาทองสุก) และหมู่ที่ 5 (บ้านนา) ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่อยู่ใกล้กับเหมืองแร่ดีบุกร้าง (จากด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก) โดยไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารหนูกับค่า pH และความลึกของน้ำบ่อตื้น เนื่องจากค่า pH เป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารหนู

เมื่อเปรียบเทียบกับการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งในอดีตเคยเป็นเหมืองแร่เก่าที่ถูกทิ้งร้างเช่นเดียวกัน พบว่า น้ำบ่อตื้นหมู่ที่ 12 ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณสารหนูปนเปื้อน 1.60 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทิพย์นภา เตะหมาน, 2558) ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูสูงกว่าในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยกว่าน้ำบ่อตื้นบริเวณพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อตื้น อยู่ในช่วง 0.001-0.185 มิลลิกรัมต่อลิตร (มุทาทิพย์ รอดทิม, 2558)

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

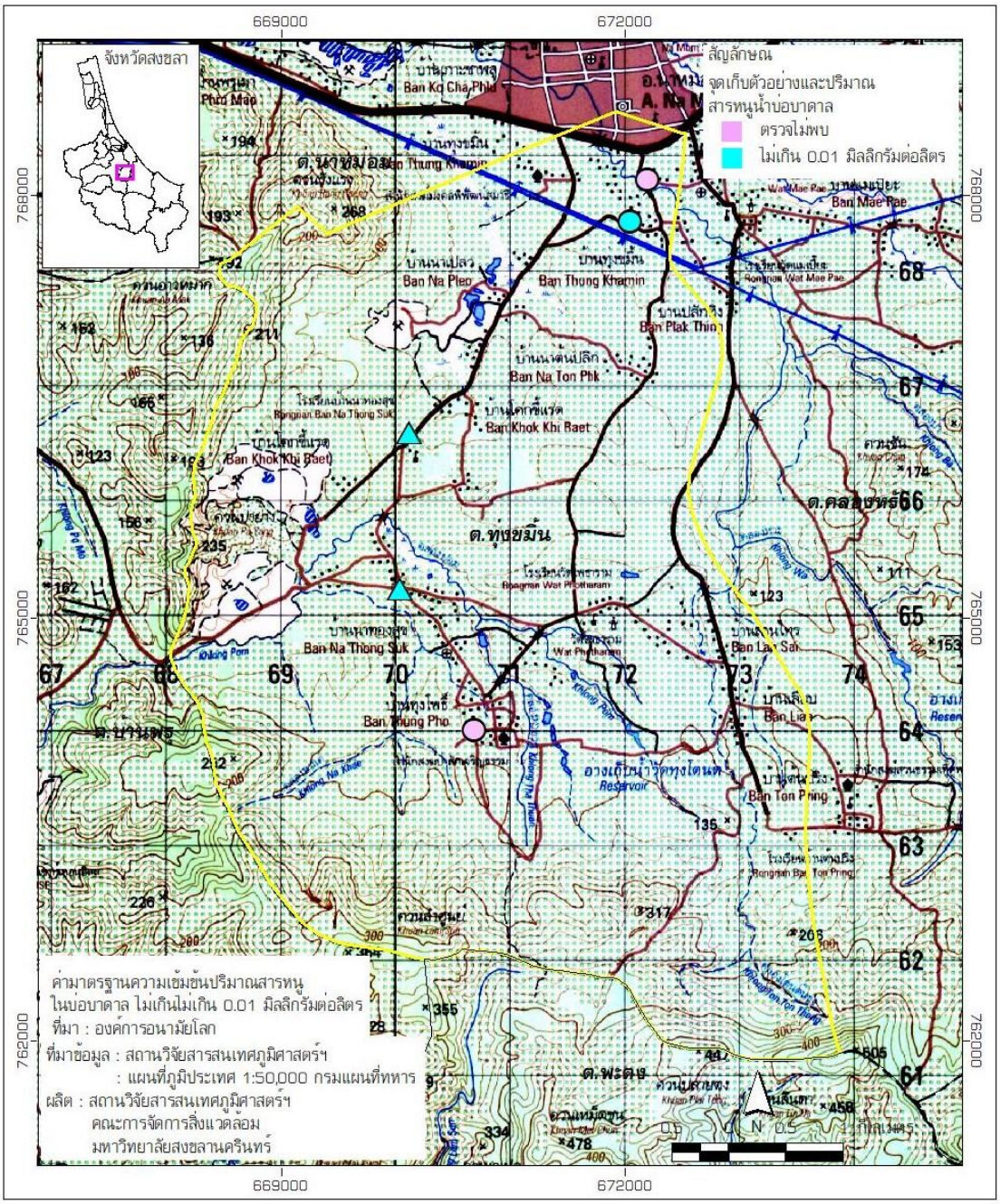
ประเภทตัวอย่าง	n	*ระดับสารหนูเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าพิสัย	ค่า pH เฉลี่ย
พื้นที่ศึกษา	2	0.0003±0.0001	<0.00047	4.27
พื้นที่อ้างอิง	3	0.0001±0.0001	ตรวจไม่พบ - <0.00047	4.29

เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่าง
ตรวจไม่พบ คือ น้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร
* กรณีตรวจไม่พบ ใช้ค่า ½ ของค่า LOD ในการคำนวณค่าเฉลี่ย

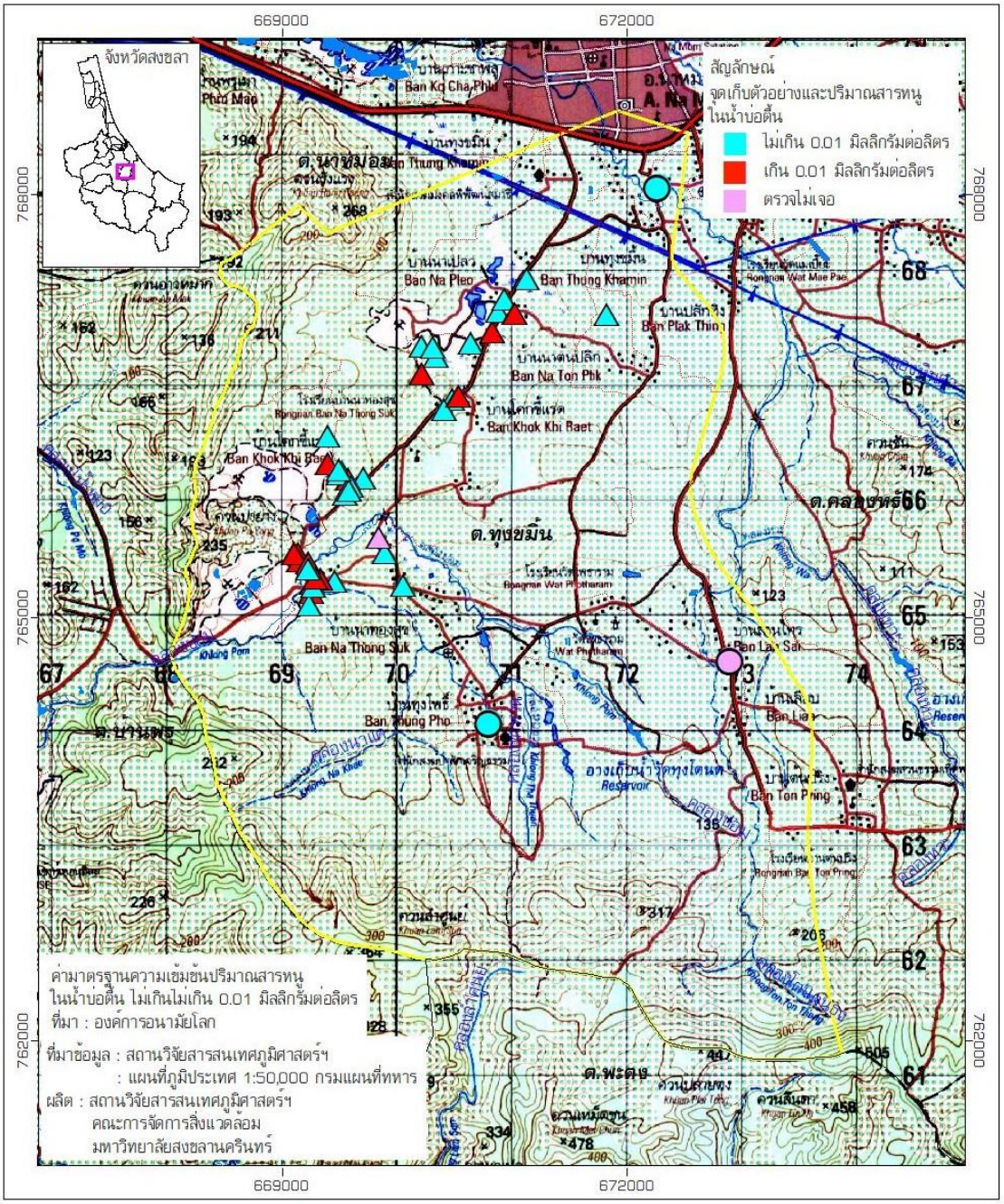
ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

ประเภทตัวอย่าง	n	*ระดับสารหนูเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าพิสัย	ค่า pH เฉลี่ย
พื้นที่ศึกษา	40	0.0163±0.0293	ตรวจไม่พบ - 0.1337	5.83
พื้นที่อ้างอิง	3	0.0009±0.0012	ตรวจไม่พบ - 0.0022	5.62

เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่าง
ตรวจไม่พบ คือ น้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร
* กรณีตรวจไม่พบ ใช้ค่า ½ ของค่า LOD ในการคำนวณค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 3.1 แผนที่แสดงความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล



ภาพที่ 3.2 แผนที่แสดงความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น

3.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้น

จากการสำรวจแบบสอบถามของประชากรในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 คน พบว่า เป็นชาย 15 คน (ร้อยละ 37.50) เป็นหญิง 25 คน (ร้อยละ 37.50) และพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 คน พบว่า เป็นชาย 2 คน (ร้อยละ 37.50) เป็นหญิง 1 คน (ร้อยละ 37.50) โดยประชาชนในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และส่วนใหญ่ประชาชนใช้แหล่งน้ำบ่อตื้นที่อยู่บริเวณบ้านของตัวเอง ความลึกของน้ำบ่อตื้นเฉลี่ย 9 เมตร โดยน้ำบ่อตื้นที่ประชาชนนำมาใช้ในแต่ละครัวเรือนนั้นยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดก่อนที่จะนำมาใช้

ในพื้นที่ศึกษาปัจจุบันแหล่งน้ำที่มีการนำมาใช้งานในแต่ละครัวเรือน ส่วนใหญ่เป็นน้ำประปาส่วนภูมิภาคโดยแหล่งที่ใช้ผลิตน้ำประปาเป็นน้ำจากคลองอู่ตะเภา บางครัวเรือนใช้น้ำบ่อตื้นที่ได้ขุดขึ้นมาใช้เองในครัวเรือน บางครัวเรือนใช้ทั้งน้ำประปาและน้ำบ่อตื้น ซึ่งผู้วิจัยได้สำรวจเฉพาะครัวเรือนที่ยังคงมีการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้น เมื่อพิจารณาข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว พบว่า บางครัวเรือนใช้น้ำดังกล่าวเพื่อการอุปโภคเพียงอย่างเดียว และบางครัวเรือนได้ใช้น้ำดังกล่าวทั้งอุปโภคและบริโภค จึงสามารถจำแนกพฤติกรรมการใช้น้ำได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ใช้ในกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว

ประเภทที่ 2 ใช้ในกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร

ประเภทที่ 3 ใช้ในกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม

จะเห็นได้ว่าจากจำนวนครัวเรือนมีพฤติกรรมในการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นแตกต่างกันไป จากการสำรวจครัวเรือนที่ใช้น้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 ครัวเรือน พบว่า มีครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว 22 ครัวเรือน (ร้อยละ 55.00) เพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร 3 ครัวเรือน (ร้อยละ 7.50) และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม 15 ครัวเรือน (ร้อยละ 37.50) และพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ครัวเรือน ใช้เพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร 1 ครัวเรือน (ร้อยละ 33.33) และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม 2 ครัวเรือน (ร้อยละ 66.67)

เมื่อแบ่งตามช่วงความเข้มข้นของสารหนูเฉพาะในพื้นที่ศึกษา พบว่า ครัวเรือนที่ใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นที่มีความเข้มข้นของสารหนูน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวน 26 ครัวเรือน ประกอบด้วย ครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว จำนวน 12 ครัวเรือน (ร้อยละ 30) ครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร จำนวน 2 ครัวเรือน (ร้อยละ 5) และครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม จำนวน 12 ครัวเรือน (ร้อยละ 30) ส่วนครัวเรือนที่ใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นที่มีความเข้มข้นสารหนูมากกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวน 14 ครัวเรือน ประกอบด้วย ครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว จำนวน 10 ครัวเรือน (ร้อยละ 25) และครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม จำนวน 4 ครัวเรือน (ร้อยละ 10)

จะเห็นได้ว่ามีประชากรในพื้นที่ศึกษาที่ใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นเพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม มีจำนวน 18 ครัวเรือน ซึ่งประชากรกลุ่มนี้เป็นกลุ่มประชากรสำหรับการนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ จากการได้รับสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร (ingestion) ทั้งทางตรงและทางอ้อม

3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 โดยประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) และความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncarcinogenic risk) จากการได้รับสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร (ingestion) ทั้งทางตรง คือ การดื่มน้ำ และทางอ้อม คือ การใช้น้ำสำหรับปรุงอาหาร

3.3.1 ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคน้ำบ่อตื้น

การศึกษานี้ได้สำรวจข้อมูลพฤติกรรมการใช้น้ำบ่อตื้นเฉพาะในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม จำนวน 18 ครัวเรือน สำหรับกิจกรรมซักล้างไม่ได้ถูกนำประเมินความเสี่ยง เนื่องจากสารหนูถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้น้อยมาก (USEPA, 1989) โดยเก็บข้อมูลแบบสอบถาม 1 คน ต่อ 1 ครัวเรือน โดยอัตราการสัมผัสน้ำ (CR) ของประชากรเฉลี่ย 2 ลิตรต่อวัน ความถี่ (EF) ที่ได้รับสารหนูผ่านการดื่มน้ำและปรุงอาหาร 350 วันต่อปี ระยะเวลา (ED) ที่ได้รับสารหนู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 ปี น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกาย (BW) 60 กิโลกรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่ ระยะเวลาเฉลี่ย (ATc) 23,725 วัน สำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) ซึ่งคำนวณจากระยะเฉลี่ยตลอดชีวิต (65 ปี x 365 วัน) และระยะเวลาเฉลี่ย (ATc) 10,950 วัน สำหรับความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncarcinogenic risk) ซึ่งคำนวณจากระยะเวลาที่รับสัมผัสสาร (30 ปี x 365 วัน)

3.3.2 การประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (cancer risk)

การประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 โดยประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (cancer risk) จากการได้รับสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร (ingestion) ทั้งทางตรง คือ การดื่มน้ำ และทางอ้อม คือ การใช้น้ำสำหรับปรุงอาหาร ดังแสดงในสมการ 3.1 และ 3.2

สูตร $$LADD = \frac{CW \times CR \times EF \times ED}{BW \times ATc} \quad (3.1)$$

สูตร $$\text{Cancer Risk} = LADD \times SF \quad (3.2)$$

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (LADD) ใช้ค่าสำหรับบ่งชี้ศักยภาพในการก่อมะเร็ง คือ ค่า Slope factor สำหรับสารหนูมีค่าเท่ากับ 1.5 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)$^{-1}$ (USEPA, 1993) นั้นหมายความว่าสารใดที่มีค่านี้สูงจะมีศักยภาพในการก่อให้เกิดโรคมะเร็งสูงด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างการคำนวณของครัวเรือนที่ 1 (ความเข้มข้นของสารหนู 0.0146 มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\text{LADD} = \frac{(0.0146 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}) \times (2 \text{ ลิตร/วัน}) \times (350 \text{ วัน/ปี}) \times (30 \text{ ปี})}{(60 \text{ กิโลกรัม}) \times (23{,}725 \text{ วัน})}$$

$$= 2.15\times10^{-4} \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน}$$

$$\text{Cancer Risk} = (2.15\times10^{-4} \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน}) \times (1.5 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน})^{-1}$$

$$= 3.23\times10^{-4}$$

3.3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้น

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร พบว่า มีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิต อยู่ในช่วง 1.40×10^{-6} - 2.70×10^{-4} (เฉลี่ยเท่ากับ 7.52×10^{-5}) และมีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง อยู่ในช่วง 2.10×10^{-6} - 4.05×10^{-4} (เฉลี่ยเท่ากับ 1.13×10^{-4}) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยค่าความเสี่ยงนี้เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้เล็กน้อย ซึ่งอาจจะเป็นความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง ซึ่งคำแนะนำของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 คือ ไม่เกิน $1.\times10^{-4}$ หมายความว่าประชากรใน 10,000 คน มีโอกาสเกิดโรคมะเร็งได้ 1 คน

และจากการศึกษา พบว่า มีจำนวน 4 ครัวเรือน มีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิตและมีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ USEPA ได้แก่ ครัวเรือนที่ 1 ครัวเรือนที่ 5 ครัวเรือนที่ 15 และครัวเรือนที่ 18 ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.3 และยังพบอีกว่าค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิตและค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งมีค่าสูงสุดในครัวเรือนที่ 18 ซึ่งมีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับตลอดชีวิตเท่ากับ 2.70×10^{-4} และมีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเท่ากับ 4.05×10^{-4} สำหรับปัจจัยที่ทำให้มีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณการสัมผัสสารหนูในแต่ละครัวเรือน

เมื่อเปรียบเทียบถึงความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งของประชากรจากการดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม กับพื้นที่อื่นๆ พบว่า มีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งน้อยกว่าประชากรที่ดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเฉลี่ยเท่ากับ 3.71×10^{-4} (ทิพย์นภา เตะหมาน, 2558) และมีความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งน้อยกว่าประชากรที่ดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งอยู่ในช่วง 4.55×10^{-5} – 2.73×10^{-3} (มุทาทิพย์ รอดทิม, 2558)

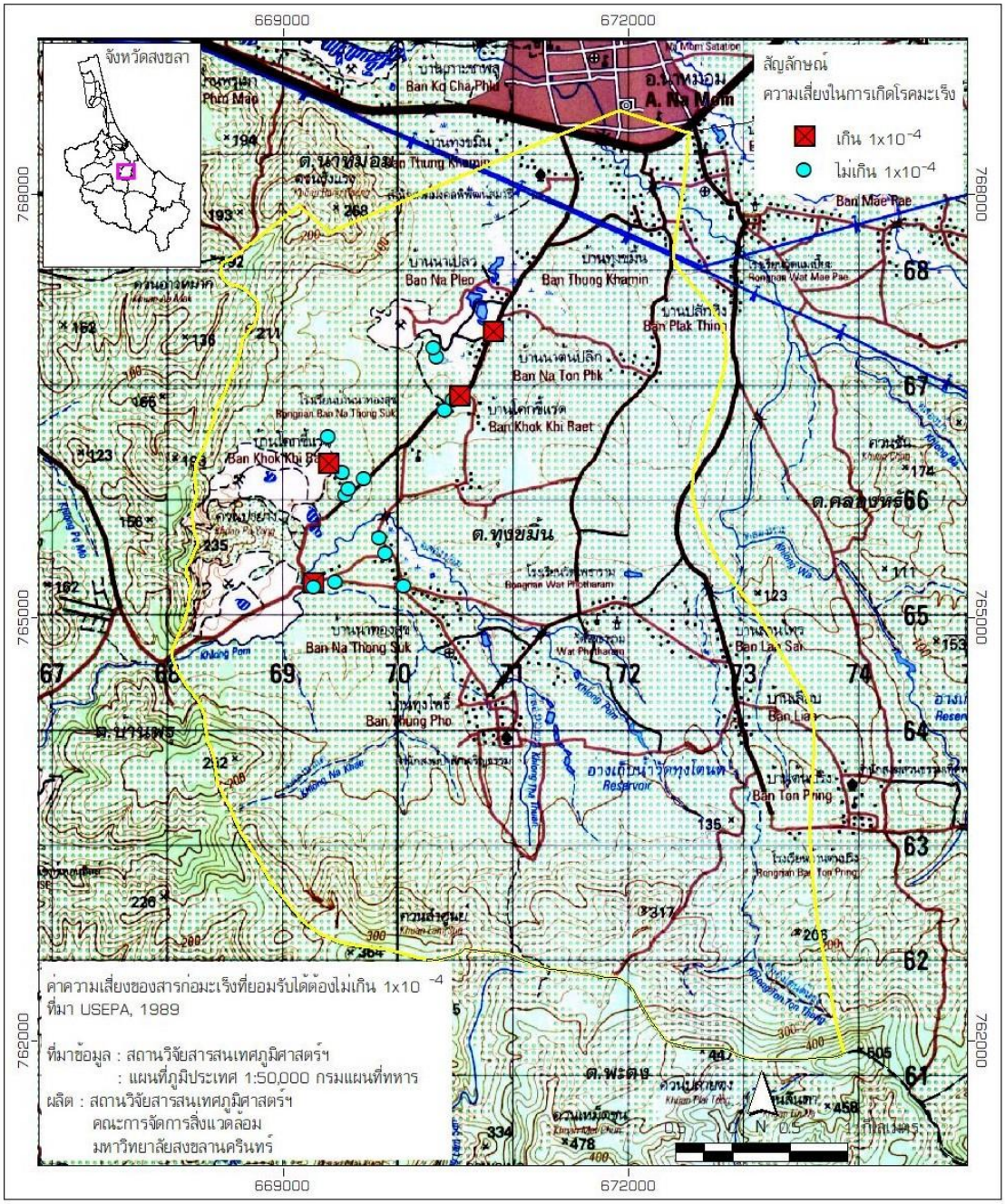
ตารางที่ 3.3 ค่าความเสี่ยงเฉลี่ยในการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้น

ประเภทตัวอย่าง	n	ระดับสารหนูเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	LADD (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)	Cancer Risk
น้ำบ่อตื้น	18	0.0051	7.52×10^{-5}	1.13×10^{-4}

หมายเหตุ n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 3.4 ค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา

จุดเก็บตัวอย่าง	ระดับสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	LADD (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)	Cancer Risk
ครัวเรือนที่ 1	0.0146	2.15×10^{-4}	3.23×10^{-4}
ครัวเรือนที่ 2	0.0008	1.18×10^{-5}	1.77×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 3	<0.00047	4.40×10^{-6}	6.60×10^{-6}
ครัวเรือนที่ 4	0.0028	4.13×10^{-5}	6.19×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 5	0.0181	2.67×10^{-4}	4.01×10^{-4}
ครัวเรือนที่ 6	0.0009	1.32×10^{-5}	1.98×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 7	0.0032	4.72×10^{-5}	7.08×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 8	0.0005	7.30×10^{-6}	1.09×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 9	0.0037	5.45×10^{-5}	8.17×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 10	ตรวจไม่พบ	1.40×10^{-6}	2.10×10^{-6}
ครัวเรือนที่ 11	0.0019	2.80×10^{-5}	4.20×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 12	<0.00047	5.90×10^{-6}	8.80×10^{-6}
ครัวเรือนที่ 13	0.0034	5.01×10^{-5}	7.51×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 14	0.0006	8.80×10^{-6}	1.32×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 15	0.0182	2.68×10^{-4}	4.03×10^{-4}
ครัวเรือนที่ 16	0.0033	4.86×10^{-5}	7.29×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 17	0.0010	1.47×10^{-5}	2.20×10^{-5}
ครัวเรือนที่ 18	0.0183	2.70×10^{-4}	4.05×10^{-4}



ภาพที่ 3.3 แผนที่แสดงความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนู

3.3.4 การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncarcinogenic risk)

การประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 โดยประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง (noncarcinogenic risk) จากการได้รับสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร (ingestion) ทั้งทางตรง คือ การดื่มน้ำ และทางอ้อม คือ การใช้น้ำสำหรับปรุงอาหาร ดังแสดงในสมการ 3.3 และ 3.4

$$\text{สูตร} \quad ADD = \frac{CW \times CR \times EF \times ED}{BW \times ATnc} \qquad 3.3$$

$$\text{สูตร} \quad \text{Hazard Index} = ADD/RfD \qquad 3.4$$

การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็ง ใช้ค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวัน (ADD) เทียบกับค่าสำหรับบ่งชี้ศักยภาพของความเป็นพิษ (Reference dose, RfD) สำหรับสารหนูมีค่า RfD เท่ากับ 0.0003 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) (USEPA, 1993)

ตัวอย่างการคำนวณของครัวเรือนที่ 1 (ความเข้มข้นของสารหนู 0.0146 มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$ADD = \frac{(0.0146 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}) \times (2 \text{ ลิตร/วัน}) \times (350 \text{ วัน/ปี}) \times (30 \text{ ปี})}{(60 \text{ กิโลกรัม}) \times (10{,}950 \text{ วัน})}$$

$$= 4.67 \times 10^{-4} \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน}$$

$$\text{Hazard Index} = (4.67 \times 10^{-4} \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน})/(0.0003 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน})$$

$$= 1.56$$

3.3.5 ผลการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้น

การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้น พบว่า มีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวัน อยู่ในช่วง 3.10×10^{-6} - 5.85×10^{-4} (เฉลี่ยเท่ากับ 1.63×10^{-4}) และมีค่าดัชนีอันตราย อยู่ในช่วง 0.01 - 1.95 (เฉลี่ยเท่ากับ 0.54) ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 คือ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้

และจากการศึกษา พบว่า มีจำนวน 4 ครัวเรือน มีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวันและมีค่าดัชนีอันตรายเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ USEPA คือ มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ได้แก่ ครัวเรือนที่ 1 ครัวเรือนที่ 5 ครัวเรือนที่ 15 และครัวเรือนที่ 18 ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และภาพที่ 3.4 สำหรับปัจจัยที่ทำให้มีค่าปริมาณสารหนูที่ได้รับต่อวันและมีค่าดัชนีความเป็นอันตรายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณการสัมผัสสารหนูในแต่ละครัวเรือน

เมื่อเปรียบเทียบถึงความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม กับพื้นที่อื่นๆ พบว่า มีความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งน้อยกว่าประชากรที่ดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกร้าง ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีค่าความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 (ทิพย์นภา เตะหมาน, 2558) และมีความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งน้อยกว่าประชาชนที่ดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีค่าความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นอยู่ในช่วง 0.1–6.07 (มุทาทิพย์ รอดทิม, 2558)

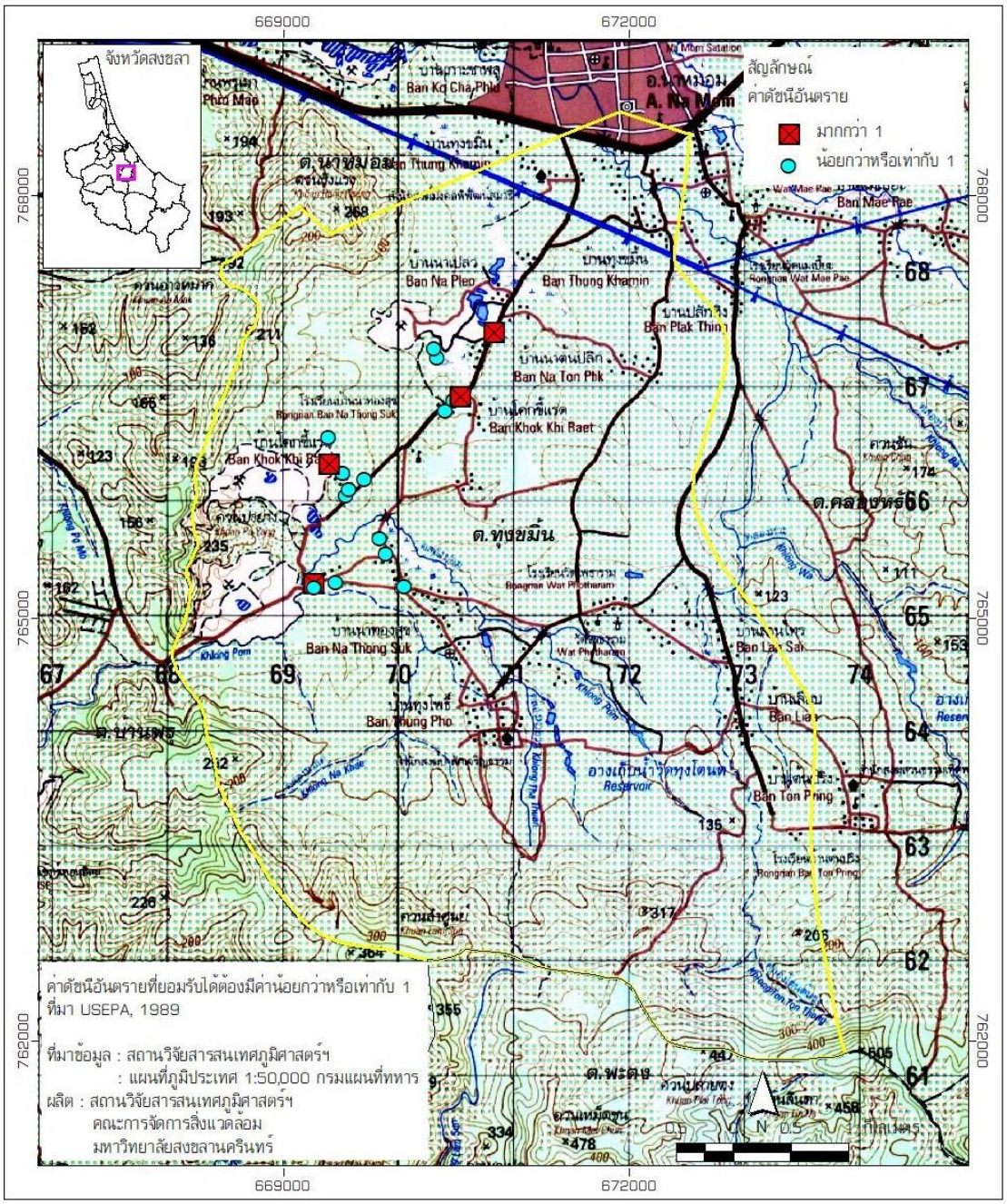
ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยดัชนีอันตรายจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้น

ประเภทตัวอย่าง	n	ระดับสารหนูเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ADD (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)	Hazard Index
น้ำบ่อตื้น	18 บ่อ	0.0051	1.63×10^{-4}	0.54

หมายเหตุ n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 3.6 ค่าดัชนีอันตรายจากการสัมผัสสารหนูโดยการดื่มน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษา

จุดเก็บตัวอย่าง	ระดับสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ADD (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)	Hazard Index
ครัวเรือนที่ 1	0.0146	4.67×10^{-4}	1.56
ครัวเรือนที่ 2	0.0008	2.55×10^{-5}	0.09
ครัวเรือนที่ 3	<0.00047	9.50×10^{-6}	0.03
ครัวเรือนที่ 4	0.0028	8.94×10^{-5}	0.30
ครัวเรือนที่ 5	0.0181	5.79×10^{-4}	1.93
ครัวเรือนที่ 6	0.0009	2.87×10^{-5}	0.10
ครัวเรือนที่ 7	0.0032	1.02×10^{-4}	0.34
ครัวเรือนที่ 8	0.0005	1.59×10^{-5}	0.05
ครัวเรือนที่ 9	0.0037	1.18×10^{-4}	0.40
ครัวเรือนที่ 10	ตรวจไม่พบ	3.10×10^{-6}	0.01
ครัวเรือนที่ 11	0.0019	6.07×10^{-5}	0.20
ครัวเรือนที่ 12	<0.00047	1.27×10^{-5}	0.04
ครัวเรือนที่ 13	0.0034	1.09×10^{-4}	0.36
ครัวเรือนที่ 14	0.0006	1.91×10^{-5}	0.06
ครัวเรือนที่ 15	0.0182	5.82×10^{-4}	1.94
ครัวเรือนที่ 16	0.0033	1.05×10^{-4}	0.35
ครัวเรือนที่ 17	0.0010	3.19×10^{-5}	0.11
ครัวเรือนที่ 18	0.0183	5.85×10^{-4}	1.95



ภาพที่ 3.4 แผนที่แสดงความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารหนู

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้น

ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่อ้างอิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่อ้างอิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนในพื้นที่ศึกษาพบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก และพบว่ามีจำนวนตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นของสารหนูเกินค่ามาตรฐาน 14 ตัวอย่าง จากจำนวนตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 40 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 35.00) เมื่อพิจารณาถึงแหล่งการปนเปื้อนของสารหนูจะเห็นได้ว่าพื้นที่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกร้างเป็นพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของสารหนูในน้ำบ่อตื้นสูงกว่าพื้นที่อ้างอิง การปนเปื้อนของสารหนูมีการกระจายเป็นหย่อมๆ ตามตำแหน่งของเหมืองแร่ดีบุกร้าง ทำให้เชื่อได้ว่าสาเหตุของการปนเปื้อนของสารหนูมาจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตที่ชะเอาสารหนูที่ปนเปื้อนในสายแร่ดีบุกออกมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดสารประกอบสารหนูที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูในน้ำบ่อตื้น ส่วนน้ำบ่อบาดาลซึ่งอยู่ลึกจึงไม่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ดีบุก

4.2 สรุปพฤติกรรมการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้น

ครัวเรือนส่วนใหญ่ใช้น้ำประปาส่วนภูมิภาค สาขาหาดใหญ่เป็นหลัก ส่วนครัวเรือนที่ไม่มีน้ำประปาใช้จะใช้น้ำบ่อตื้นหรือน้ำบ่อบาดาลแทน โดยพบว่ามีครัวเรือนที่ใช้น้ำบ่อตื้นในพื้นที่ศึกษาจำนวน 40 ครัวเรือน พบว่า มีครัวเรือนที่ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว 22 ครัวเรือน (ร้อยละ 55.00) ครัวเรือนกลุ่มนี้ถือได้ว่าปลอดภัยในการใช้น้ำบ่อตื้นสำหรับกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน สำหรับครัวเรือนที่ใช้น้ำบ่อตื้นเพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร 3 ครัวเรือน (ร้อยละ 7.50) และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม 15 ครัวเรือน (ร้อยละ 37.50) ครัวเรือนกลุ่มนี้มีความเสี่ยงต่อพิษสารหนูจากการดื่มน้ำบ่อตื้นในชีวิตประจำวัน และพื้นที่อ้างอิง มีจำนวน 3 ครัวเรือน ใช้เพื่อกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร 1 ครัวเรือน (ร้อยละ 33.33) และเพื่อกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม 2 ครัวเรือน (ร้อยละ 66.67) ซึ่งครัวเรือนในพื้นที่อ้างอิงกลุ่มนี้ถือได้ว่าปลอดภัยในการใช้น้ำบ่อตื้นสำหรับกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน

4.3 สรุปการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร พบว่า มีค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเฉลี่ยเท่ากับ 1.13×10^{-4} ค่าความเสี่ยงนี้เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้เล็กน้อย และเป็นความเสี่ยงที่อาจยอมรับไม่ได้ โดยคำแนะนำของ USEPA ปี ค.ศ. 1989 คือ ไม่เกิน $1.x10^{-4}$ (หมายความว่า ประชากรใน 10,000 คน มีโอกาสเกิดโรคมะเร็งได้ 1 คน)

สำหรับการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้นที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร พบว่า มีค่าดัชนีอันตรายเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ USEPA คือ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าปริมาณสารหนูที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้ และจากการศึกษานี้พบ 4 ครัวเรือนที่อาจมีความเสี่ยงที่จำเป็นต้องเข้าไปจัดการความเสี่ยงโดยการให้ความรู้ถึงพิษภัยของสารหนูและแจ้งให้งดบริโภคน้ำบ่อตื้นของครัวเรือน

ข้อเสนอแนะ

1 ทำความเข้าใจกับชาวบ้านที่ใช้น้ำบ่อตื้นที่มีปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐานโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นร่วมกับสาธารณสุขอำเภอนาหม่อม รณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ชาวบ้านได้รับทราบถึงอันตรายของสารหนู

2 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ควรแจ้งให้ชาวบ้านที่มีความเสี่ยงสูงที่อาจจะก่อให้เกิดโรคมะเร็งปิดบ่อและแจ้งให้ชาวบ้านหยุดใช้น้ำบ่อตื้นโดยทันที

3 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือสาธารณสุขอำเภอนาหม่อม ควรจัดทำเอกสารเผยแพร่เกี่ยวกับโรคพิษสารหนูและการป้องกันอันตรายให้แก่ชาวบ้านในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้นได้รับทราบ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

1 ควรมีเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนเพื่อให้คลอบคลุมกับช่วงฤดู เนื่องจากฤดูกาลมีผลต่อความเข้มข้นของสารหนู โดยในช่วงฤดูฝนจะมีการละลายของสารหนูได้สูงกว่าในช่วงฤดูร้อน

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2542. **การศึกษาติดตามปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.** กองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพมหานคร.

กรมทรัพยากรธรณี. 2543. **เอกสารเผยแพร่เศรษฐธรณี ฉบับที่ กศ 6/2543 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกและแร่หายากในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย.** กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 227 หน้า

กรมทรัพยากรธรณี. 2552. **ผลการดำเนินงานโครงการประเมินการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมเพื่อการเฝ้าระวังและจัดการปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพปี 2551-2552**. สำนักวิเคราะห์วิจัยทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมทรัพยากรธรณี. 2557. **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดสงขลา.** กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ. 10-25 น.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2555. **การตรวจสอบการทำเหมืองแร่ด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมเหมืองแร่ สำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น.** กระทรวงอุตสาหกรรม พิมพ์ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. 79 หน้า

เจริญพร เพียรเจริญ. 2540. **น้ำบาดาล-บ่อน้ำบาดาล.** กองควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ.

ฉลอง บัวผัน. 2535. **น้ำบาดาล.** ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร., ยุวยงค์ เยาวพานนท์., และ ทองใบ เวชพันธ์. 2543. ปัจจัยเสี่ยงและขนาดความเสี่ยงต่อสุขภาพ ของชาวบ้านในตำบลร่อนพิบูลย์ จากการรับสัมผัสสารหนู. **วารสารการส่งเสริมและอนามัยสิ่งแวดล้อม**. ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม.

ทิพย์นภา เตะหมาน. 2558. **ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในน้ำจากบ่อน้ำตื้น และความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการดื่มน้ำจากบ่อน้ำตื้นในเขตตำบลร่อนพิบูลย์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธมลวรรณ วุ่นพันธ์. 2551. **รายงานวิชาการ ฉบับที่ กวท 6/2551 ปริมาณสารหนูในตัวอย่างหิน พื้นที่เชียงของ จังหวัดเชียงรายและพะเยา.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ. 46 หน้า

ธาดา เปี่ยมพงศ์สานต์. 2531. พิษสารหนูเรื้อรัง ร่องรอยทางคลินิกสู่การศึกษาทางระบาดวิทยา **วารสารกรมการแพทย์** ; 13: 279-281

บรรจง วิทยวีรศักดิ์. 2541. **โครงการสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อตื้นในลุ่มน้ำปากพนัง บริเวณพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ และตำบลใกล้เคียง.** โครงการป้องกันและแก้ปัญหาพิษสารหนูและโลหะหนักในภาคใต้ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บรรจง วิทยวีรศักดิ์. 2542**. โครงการตรวจวัดปริมาณสารหนูในน้ำดื่มของครัวเรือน ในตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.** โครงการป้องกันและแก้ปัญหาพิษสารหนูและโลหะหนักในภาคใต้ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล. 2551. การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินเขตลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี** ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. 2547. **การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ.** กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข นนทบุรี.

ภิญโญ ทองภิญโญชัย และโยธิน อัมพวัน. 2543. **รายงานวิชาการ ฉบับที่ ทธ.ข. 2-6/2543 ความรู้เรื่องการทำเหมืองแร่ การสำรวจแร่ การทำเหมือง การแต่งแร่และใช้ประโยชน์แร่ การถลุงแร่ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมควบคู่กับการทำเหมืองแร่.** สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 ภูเก็ต กรมทรัพยากรธรณี. 52 หน้า

มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ. 2555. **การบำบัดสารหนูที่ปนเปื้อนในดินบริเวณเหมืองแร่ทองคำ โดย BREVIBACILLUS REUSZERI และ RHODOCOCCUS SP.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มุทาทิพย์ รอดทิม. 2558. **การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูที่ละลายในน้ำอุปโภคบริโภคในพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปกร.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2551. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 5 บริษัท แซน อี 68 แลบ จำกัด. กรุงเทพฯ.

รวิพรรณ ทองห่อ. 2548. **การกำจัดสารหนูในน้ำผิวดินโดยการดูดซับด้วยดินแดงและหินภูเขาไฟ.** วิทยานิพนธ์ปริญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เล็ก สีคง. 2527. **การพัฒนาการทำเหมืองทุ่งโพธิ์ กิ่งอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา.** ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. 3-4 น.

วินัย วีระวัฒนานนท์. 2533.**วิกฤตสิ่งแวดล้อม ทางตันแห่งการพัฒนา.** กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.

ศักดิ์ ชนาเกียรติ. 2544. **รายงานวิชาการ ฉบับที่ ทธ.ข. 1-9/2544 การตรวจสอบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำของเหมืองบริษัท เรือขุดแร่สหะพิบูลย์ จำกัด หมู่ที่ 3 ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.** สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา. พิมพ์ครั้งที่ 1 30 หน้า

สายสวาท สีลอ. 2554. **รายงานวิชาการ ฉบับที่ สวท 2/2554 เทคนิคการวิเคราะห์สารหนูและพลวงปริมาณน้อยโดยวิธีไฮไดรด์เจนเนอเรชัน.** พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักวิเคราะห์วิจัยทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ. 53 หน้า

สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา 2555**. รายงานผลการดำเนินงานการตรวจสอบคุณภาพน้ำขุมเหมืองและน้ำใช้บริเวณเหมืองแร่เก่าเพื่อเฝ้าระวังภาวะสุขภาพของชุมชน จังหวัดนครศรีธรรมราช.** กระทรวงอุตสาหกรรม.

องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งขมิ้น. 2558. **สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานของตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา.** กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย.

Agusa, T., Trang P.T.K., Lan, V.M., Anh, D.H., Tanabe, S., Viet, P.H. and Berg, M. 2014. Human exposure to arsenic from drinking water in Vietnam. **Science of the Total Environment.** 488-489 : 562-569.

AWWA. (American Water Works Association), American Public Health Association and Water Environment Federation. (2012). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 edition American Water Works Association, Washington, D.C.

Berg, M., Stengel, C., Trang, P. T .K., Viet, P. H., Sampson, M. L., Leng, M., Samreth, S. and Fredericks, D. 2007. Magnitude of arsenic pollution in the Mekong and Red River Deltas-Cambodia and Vietnam. **Science of the Total Environment.** 372: 413-425.

Braman, S. R. 1983. **Environmental reaction and analysis methods.** Elsevier Science Publishing Company, Inc., Netherland. 286 p.

Buschmann, J., Berg, M., Stengel, C. and Sampson, M.L. 2007. Arsenic and manganese contamination of drinking water resources in Cambodia: Coincidence of risk areas with low relief topography. **Environmental Science and Technology.** 41: 2146-2152.

Chakraborti, D., Rahman, M. M., Murrill, M., Das, R., Siddayya., Patil, S. G., Sarkar, A., Dadapeer, H .J., Yendigeri, S., Ahmed, R. and Das, K. K. 2013. Environmental arsenic contamination and its health effects in a historic goldmining area of the Mangalur greenstone belt of Northeastern Karnataka, India. **Journal of Hazardous Materials.** 262: 1048-1055.

Ferguson, J. F., and Gavis, J., 1972. A review of the arsenic cycle in natural water. **Water Research.** 6: 1259-1274.

Liu, C.P., Luo, C.L., Gao, Y., Li, F.B., Lin, L.W., Wu, C.A. and Li, X.D. 2010. Assenic contamination and potential health risk implication at an abandoned tungsten mine, southern China. **Environmental Pollution.** 158 : 820-826.

Miller, J.N. and Miller, J.C. 2010. **Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry**, 6th edition; Pearson Education Limited, UK.

Nguyen, V.A., Bang, S., Viet, P.H. and Kim, K.W. 2010. Contamination of groundwater and risk assessment for arsenic exposure in Ha Nam province, Vietnam. **Environment International**. 35: 466-472.

Rogers, L.L. 1989. Solute Transport Modelling of Organic Compounds in Ground Water West of The Lawrence Livermore National Laboratory, Levermore, Californai. In **Groundwater Contamination: Use of Models in Decision-Makng**. G. Jousma et at. (eds), (1989), 607-618.

Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G. 2002. A review of the source behaviour and distribution of arsenic in natural waters. **Applied Geochemistry.** 17: 517-568.

Spitz, K and Morena, F. 1996. **A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling.** New York : John Wiley and Sons, NY, 1996.

Toth, J. 1963. A theoretical analysis of groundwater flow small drainage basin. **Journal of Geophysic Research.** 68 : 4795-4812.

Tung, Bui., Thi, T., Richard, J., and Hung, N. 2014. Assessing Health Risk due to Exposure to Arsenic in Drinking Water in Hanam Province, Vietnam. **Int. J. Environ. Res. Public Health** 2014, 11, 7575-7591.

US-EPA. (United States Environmental Protection Agency). (1989). **Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A)**. EPA/540/1-89/002. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

US-EPA. (United States Environmental Protection Agency). (1993). **IRIS Substance File – Arsenic**, inorganic. Oral RfD Assessment last revised 02/01/1993. Available on-line at: http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm.

Wang, Y. and Deng, Y. 2009 **Environmental Geochemistry of High-Arsenic Aquifer Systems**. In: Heavy metals in the Environmental.

Wang, Z., Liyuan, C., Yunyan, W., Zhihui, Y., Haiying W., and Xie W. 2011. Potential health risk of arsenic and cadmium in groundwater near Xiangijiang River, China: a case study for risk assessment and management of toxic substances. **Environ Monit Assess.** DOI 175: 167-173.

World Health Organization. (WHO). 1981. **Environmental health criteria 18: Arsenic.** Geneva. 523 p.

World Health Organization. (WHO). 1993. **Guidelines for drinking-water quality.** Volume I: Recommendations, 2nd ed. WHO, Geneva.

Yu, G., Sun, D. and Zheng, Y. 2007. Health effects of exposure to natural arsenic in groundwater and coal in China: An overview of occurrence. **Environmental Health Perspectives.** 15: 636-642.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ความเข้มข้นของสารหนูและค่า pH ของน้ำบ่อบาดาล

จุดเก็บ	หมู่ที่	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า pH
		พิกัด X	พิกัด Y		
1	1	47N 0672041	UTH 0768423	<0.00047	4.25
2	3	47N 0670680	UTH 0763997	ตรวจไม่พบ	4.23
3	4	47N 0670036	UTH 0765229	<0.00047	4.31
4	4	47N 0670048	UTH 0766427	<0.00047	4.41
5	6	47N 0672195	UTH 0768789	ตรวจไม่พบ	4.21

หมายเหตุ ตรวจไม่พบ คือ น้อยกว่า 0.00014 มิลลิกรัมต่อลิตร

เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 4

เก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 6

ตาราง ก-2 ความเข้มข้นของสารหนูและค่า pH ของน้ำบ่อตื้น

จุดเก็บ	หมู่ที่	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า pH
		พิกัด X	พิกัด Y		
1	1	47N 0672269	UTH 0768709	0.0022	5.90
2	2	47N 0672893	UTH 0764600	ตรวจไม่พบ	5.39
3	3	47N 0670799	UTH 0764055	<0.00047	5.58
4	4	47N 0669139	UTH 0765529	0.0511	6.32
5	4	47N 0669258	UTH 0765275	0.0146	5.56
6	4	47N 0670052	UTH 0765253	0.0008	5.37
7	4	47N 0669453	UTH 0765292	<0.00047	5.82
8	4	47N 0669143	UTH 0765467	0.1016	5.80
9	4	47N 0669520	UTH 0766240	0.0028	5.33
10	4	47N 0669399	UTH 0766314	0.0181	5.95
11	4	47N 0669398	UTH 0766552	0.0009	5.22
12	4	47N 0669706	UTH 0766189	0.0032	5.50
13	4	47N 0669105	UTH 0765525	0.0555	6.43
14	4	47N 0669542	UTH 0766047	0.0005	6.51
15	4	47N 0669571	UTH 0766177	0.0285	5.95
16	4	47N 0669252	UTH 0765188	0.0231	5.71
17	4	47N 0669890	UTH 0765536	0.0037	5.72
18	4	47N 0669839	UTH 0765671	ตรวจไม่พบ	5.86
19	4	47N 0669489	UTH 0766224	0.0008	6.89
20	4	47N 0669234	UTH 0765085	0.0020	6.53
21	4	47N 0669596	UTH 0766113	0.0007	6.85
22	4	47N 0669329	UTH 0765310	0.1337	6.60
23	4	47N 0669222	UTH 0765452	0.0111	6.74
24	4	47N 0669272	UTH 0765242	0.0019	5.99
25	4	47N 0669571	UTH 0766102	<0.00047	5.94

ตาราง ก-2 ความเข้มข้นของสารหนูและค่า pH ของน้ำบ่อตื้น (ต่อ)

จุดเก็บ	หมู่ที่	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า pH
		พิกัด X	พิกัด Y		
26	4	47N 0671822	UTH 0767607	0.0059	5.73
27	4	47N 0669291	UTH 0765314	0.0206	6.31
28	4	47N 0669222	UTH 0765397	0.0028	6.69
29	4	47N 0669581	UTH 0766083	0.0008	5.92
30	4	47N 0669491	UTH 0766259	<0.00047	6.91
31	5	47N 0670210	UTH 0767330	0.0024	4.72
32	5	47N 0670340	UTH 0767245	0.0034	5.24
33	5	47N 0670478	UTH 0766871	0.0006	6.22
34	5	47N 0670639	UTH 0767359	0.0094	5.33
35	5	47N 0670823	UTH 0767457	0.0182	5.48
36	5	47N 0670880	UTH 0767638	0.0005	4.90
37	5	47N 0670932	UTH 0767741	0.0038	4.54
38	5	47N 0671130	UTH 0767920	0.0027	5.23
39	5	47N 0670406	UTH 0766785	0.0033	5.59
40	5	47N 0670306	UTH 0767326	0.0010	5.38
41	5	47N 0670208	UTH 0767091	0.0809	5.76
42	5	47N 0670531	UTH 0766896	0.0183	5.74
43	5	47N 0671022	UTH 0767616	0.0203	5.00

หมายเหตุ ตรวจไม่พบ คือ น้อยกว่า 0.00014 มิลลิกรัมต่อลิตร
เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 5
เก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3

ภาคผนวก ข

ตาราง ข ความเข้มข้นของสารหนูและความลึกบ่อของน้ำบ่อตื้น

จุดเก็บ	หมู่ที่	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความลึกบ่อ (เมตร)
		พิกัด X	พิกัด Y		
1	1	47N 0672269	UTH 0768709	0.0022	7
2	2	47N 0672893	UTH 0764600	ตรวจไม่พบ	20
3	3	47N 0670799	UTH 0764055	<0.00047	10
4	4	47N 0669139	UTH 0765529	0.0511	7
5	4	47N 0669258	UTH 0765275	0.0146	10
6	4	47N 0670052	UTH 0765253	0.0008	15
7	4	47N 0669453	UTH 0765292	<0.00047	12
8	4	47N 0669143	UTH 0765467	0.1016	9
9	4	47N 0669520	UTH 0766240	0.0028	8
10	4	47N 0669399	UTH 0766314	0.0181	6
11	4	47N 0669398	UTH 0766552	0.0009	10
12	4	47N 0669706	UTH 0766189	0.0032	16
13	4	47N 0669105	UTH 0765525	0.0555	7
14	4	47N 0669542	UTH 0766047	0.0005	10
15	4	47N 0669571	UTH 0766177	0.0285	14
16	4	47N 0669252	UTH 0765188	0.0231	10
17	4	47N 0669890	UTH 0765536	0.0037	10
18	4	47N 0669839	UTH 0765671	ตรวจไม่พบ	15
19	4	47N 0669489	UTH 0766224	0.0008	7
20	4	47N 0669234	UTH 0765085	0.0020	10
21	4	47N 0669596	UTH 0766113	0.0007	8
22	4	47N 0669329	UTH 0765310	0.1337	6
23	4	47N 0669222	UTH 0765452	0.0111	3
24	4	47N 0669272	UTH 0765242	0.0019	6
25	4	47N 0669571	UTH 0766102	<0.00047	7

ตาราง ข ความเข้มข้นของสารหนูและความลึกบ่อของน้ำบ่อตื้น (ต่อ)

จุดเก็บ	หมู่ที่	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ปริมาณสารหนู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความลึกบ่อ (เมตร)
		พิกัด X	พิกัด Y		
26	4	47N 0671822	UTH 0767607	0.0059	5.5
27	4	47N 0669291	UTH 0765314	0.0206	6
28	4	47N 0669222	UTH 0765397	0.0028	3
29	4	47N 0669581	UTH 0766083	0.0008	7
30	4	47N 0669491	UTH 0766259	<0.00047	7
31	5	47N 0670210	UTH 0767330	0.0024	13
32	5	47N 0670340	UTH 0767245	0.0034	10
33	5	47N 0670478	UTH 0766871	0.0006	16
34	5	47N 0670639	UTH 0767359	0.0094	8
35	5	47N 0670823	UTH 0767457	0.0182	5
36	5	47N 0670880	UTH 0767638	0.0005	8
37	5	47N 0670932	UTH 0767741	0.0038	5
38	5	47N 0671130	UTH 0767920	0.0027	6
39	5	47N 0670406	UTH 0766785	0.0033	8
40	5	47N 0670306	UTH 0767326	0.0010	11
41	5	47N 0670208	UTH 0767091	0.0809	6
42	5	47N 0670531	UTH 0766896	0.0183	5
43	5	47N 0671022	UTH 0767616	0.0203	5

หมายเหตุ ตรวจไม่พบ คือ น้อยกว่า 0.00014 มิลลิกรัมต่อลิตร
เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 5
เก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3

ภาคผนวก ค

ตาราง ค ความเข้มข้นของสารหนูและพฤติกรรมของการใช้น้ำบ่อตื้น

บ้านเลขที่	หมู่ที่	ปริมาณสารหนู มิลลิกรัมต่อลิตร	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ประเภทที่
			พิกัด X	พิกัด Y	
13/1	1	0.0022	47N 0672269	UTH 0768709	3
9/1	2	ตรวจไม่พบ	47N 0672893	UTH 0764600	3
80/1	3	<0.00047	47N 0670799	UTH 0764055	2
138	4	0.0511	47N 0669139	UTH 0765529	1
13/1	4	0.0146	47N 0669258	UTH 0765275	3
13	4	0.0008	47N 0670052	UTH 0765253	3
56/1	4	<0.00047	47N 0669453	UTH 0765292	3
117/1	4	0.1016	47N 0669143	UTH 0765467	1
44/2	4	0.0028	47N 0669520	UTH 0766240	3
44/5	4	0.0181	47N 0669399	UTH 0766314	3
44/4	4	0.0009	47N 0669398	UTH 0766552	3
42	4	0.0032	47N 0669706	UTH 0766189	2
48	4	0.0555	47N 0669105	UTH 0765525	1
44/3	4	0.0005	47N 0669542	UTH 0766047	3
139	4	0.0285	47N 0669571	UTH 0766177	1
108	4	0.0231	47N 0669252	UTH 0765188	1
30	4	0.0037	47N 0669890	UTH 0765536	3
141	4	ตรวจไม่พบ	47N 0669839	UTH 0765671	3
43/1	4	0.0008	47N 0669489	UTH 0766224	1
112	4	0.0020	47N 0669234	UTH 0765085	1
93/1	4	0.0007	47N 0669596	UTH 0766113	1
129/3	4	0.1337	47N 0669329	UTH 0765310	1
92	4	0.0111	47N 0669222	UTH 0765452	1

ตาราง ค ความเข้มข้นของสารหนูและพฤติกรรมของการใช้น้ำบ่อตื้น (ต่อ)

บ้านเลขที่	หมู่ที่	ปริมาณสารหนู มิลลิกรัมต่อลิตร	พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง		ประเภทที่
			พิกัด X	พิกัด Y	
89	4	0.0019	47N 0669272	UTH 0765242	3
127	4	<0.00047	47N 0669571	UTH 0766102	3
123/1	4	0.0059	47N 0671822	UTH 0767607	1
129/1	4	0.0206	47N 0669291	UTH 0765314	1
59	4	0.0028	47N 0669222	UTH 0765397	1
76	4	0.0008	47N 0669581	UTH 0766083	1
43/2	4	<0.00047	47N 0669491	UTH 0766259	1
39	5	0.0024	47N 0670210	UTH 0767330	1
38	5	0.0034	47N 0670340	UTH 0767245	3
34	5	0.0006	47N 0670478	UTH 0766871	3
20	5	0.0094	47N 0670639	UTH 0767359	1
12	5	0.0182	47N 0670823	UTH 0767457	3
5	5	0.0005	47N 0670880	UTH 0767638	1
27	5	0.0038	47N 0670932	UTH 0767741	1
27/3	5	0.0027	47N 0671130	UTH 0767920	1
28	5	0.0033	47N 0670406	UTH 0766785	3
23	5	0.0010	47N 0670306	UTH 0767326	2
2/1	5	0.0809	47N 0670208	UTH 0767091	1
34/2	5	0.0183	47N 0670531	UTH 0766896	3
7/2	5	0.0203	47N 0671022	UTH 0767616	1

หมายเหตุ เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา จำนวน 40 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 4 และหมู่ที่ 5
เก็บตัวอย่างในพื้นที่อ้างอิง จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ หมู่ที่ 1 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3
ประเภทที่ 1 ใช้ในกิจกรรมซักล้างเพียงอย่างเดียว
ประเภทที่ 2 ใช้ในกิจกรรมซักล้างและปรุงอาหาร
ประเภทที่ 3 ใช้ในกิจกรรมซักล้าง ปรุงอาหาร และดื่ม

ภาคผนวก ง

ตาราง ง-1 การคำนวณความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้น

จุดเก็บตัวอย่าง	CW (มก./ลิตร)	CR ลิตร/วัน	EF วัน/ปี	ED ปี	BW กก.	ATc วัน	LADD มก./กก.วัน	SF มก./กก.วัน	CR มก./กก.วัน
ครัวเรือนที่ 1	0.0146	2	350	30	60	23,725	$2.15x10^{-4}$	1.5	$3.23x10^{-4}$
ครัวเรือนที่ 2	0.0008	2	350	30	60	23,725	$1.18x10^{-5}$	1.5	$1.77x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 3	<0.00047	2	350	30	60	23,725	$4.40x10^{-6}$	1.5	$6.60x10^{-6}$
ครัวเรือนที่ 4	0.0028	2	350	30	60	23,725	$4.13x10^{-5}$	1.5	$6.19x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 5	0.0181	2	350	30	60	23,725	$2.67x10^{-4}$	1.5	$4.01x10^{-4}$
ครัวเรือนที่ 6	0.0009	2	350	30	60	23,725	$1.32x10^{-5}$	1.5	$1.98x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 7	0.0032	2	350	30	60	23,725	$4.72x10^{-5}$	1.5	$7.08x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 8	0.0005	2	350	30	60	23,725	$7.30x10^{-6}$	1.5	$1.09x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 9	0.0037	2	350	30	60	23,725	$5.45x10^{-5}$	1.5	$8.17x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 10	0.0001	2	350	30	60	23,725	$1.40x10^{-6}$	1.5	$2.10x10^{-6}$
ครัวเรือนที่ 11	0.0019	2	350	30	60	23,725	$2.80x10^{-5}$	1.5	$4.20x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 12	<0.00047	2	350	30	60	23,725	$5.90x10^{-6}$	1.5	$8.80x10^{-6}$
ครัวเรือนที่ 13	0.0034	2	350	30	60	23,725	$5.01x10^{-5}$	1.5	$7.51x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 14	0.0006	2	350	30	60	23,725	$8.80x10^{-6}$	1.5	$1.32x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 15	0.0182	2	350	30	60	23,725	$2.68x10^{-4}$	1.5	$4.03x10^{-4}$
ครัวเรือนที่ 16	0.0033	2	350	30	60	23,725	$4.86x10^{-5}$	1.5	$7.29x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 17	0.0010	2	350	30	60	23,725	$1.47x10^{-5}$	1.5	$2.20x10^{-5}$
ครัวเรือนที่ 18	0.0183	2	350	30	60	23,725	$2.70x10^{-4}$	1.5	$4.05x10^{-4}$

ตาราง ง-2 การคำนวณความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากโรคมะเร็งจากการดื่มน้ำบ่อตื้น

จุดเก็บตัวอย่าง	CW (มก./ลิตร)	CR ลิตร/วัน	EF วัน/ปี	ED ปี	BW กก.	ATc วัน	ADD มก./กก.วัน	SF มก./กก.วัน	HI
ครัวเรือนที่ 1	0.0146	2	350	30	60	10,950	4.67×10^{-4}	0.0003	1.56
ครัวเรือนที่ 2	0.0008	2	350	30	60	10,950	2.55×10^{-5}	0.0003	0.09
ครัวเรือนที่ 3	<0.00047	2	350	30	60	10,950	9.50×10^{-6}	0.0003	0.03
ครัวเรือนที่ 4	0.0028	2	350	30	60	10,950	8.94×10^{-5}	0.0003	0.30
ครัวเรือนที่ 5	0.0181	2	350	30	60	10,950	5.79×10^{-4}	0.0003	1.93
ครัวเรือนที่ 6	0.0009	2	350	30	60	10,950	2.87×10^{-5}	0.0003	0.10
ครัวเรือนที่ 7	0.0032	2	350	30	60	10,950	1.02×10^{-4}	0.0003	0.34
ครัวเรือนที่ 8	0.0005	2	350	30	60	10,950	1.59×10^{-5}	0.0003	0.05
ครัวเรือนที่ 9	0.0037	2	350	30	60	10,950	1.18×10^{-4}	0.0003	0.40
ครัวเรือนที่ 10	0.0001	2	350	30	60	10,950	3.10×10^{-6}	0.0003	0.01
ครัวเรือนที่ 11	0.0019	2	350	30	60	10,950	6.07×10^{-5}	0.0003	0.20
ครัวเรือนที่ 12	<0.00047	2	350	30	60	10,950	1.27×10^{-5}	0.0003	0.04
ครัวเรือนที่ 13	0.0034	2	350	30	60	10,950	1.09×10^{-4}	0.0003	0.36
ครัวเรือนที่ 14	0.0006	2	350	30	60	10,950	1.91×10^{-5}	0.0003	0.06
ครัวเรือนที่ 15	0.0182	2	350	30	60	10,950	5.82×10^{-4}	0.0003	1.94
ครัวเรือนที่ 16	0.0033	2	350	30	60	10,950	1.05×10^{-4}	0.0003	0.35
ครัวเรือนที่ 17	0.0010	2	350	30	60	10,950	3.19×10^{-5}	0.0003	0.11
ครัวเรือนที่ 18	0.0183	2	350	30	60	10,950	5.85×10^{-4}	0.0003	1.95

ภาคผนวก จ

ตาราง จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูกับค่า pH ในน้ำบ่อบาดาล

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
As	.0004	.00015	5
pH	4.2820	.08075	5

Correlations

			As	pH
Spearman's rho	As	Correlation Coefficient	1.000	-.205
		Sig. (2-tailed)	.	.741
		N	5	5
	pH	Correlation Coefficient	-.205	1.000
		Sig. (2-tailed)	.741	.
		N	5	5

ตาราง จ-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูกับค่า pH ในน้ำบ่อตื้น

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
As	.0152	.02855	43
pH	5.8174	.58984	43

Correlations

		As	pH
As	Pearson Correlation	1	.197
	Sig. (2-tailed)		.205
	N	43	43
pH	Pearson Correlation	.197	1
	Sig. (2-tailed)	.205	
	N	43	43

ตาราง จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของสารหนูกับความลึกในน้ำบ่อตื้น

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
As	.0152	.02855	43
Dep	8.7791	3.73577	43

Correlations

		As	Dep
As	Pearson Correlation	1	-.218
	Sig. (2-tailed)		.159
	N	43	43
Dep	Pearson Correlation	-.218	1
	Sig. (2-tailed)	.159	
	N	43	43

ภาคผนวก ฉ

ภาพการลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื่นและการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ภาพ ฉ-1 การเก็บตัวอย่างน้ำบ่อบาดาล

ภาพ ฉ-2 การเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจากบ่อ

ภาพ ฉ-3 การเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจากก๊อกน้ำ

ภาพ ฉ-4 การเติมกรดไนตริก

ภาพ ฉ-5 การวัด pH

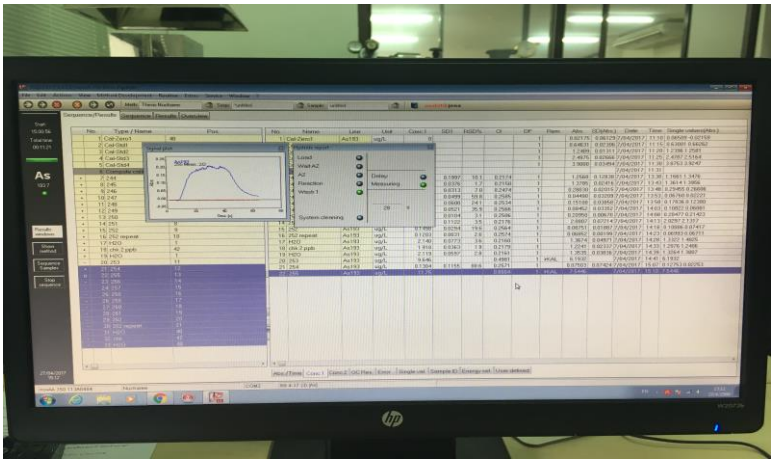
ภาพ ฉ-6 การวัดพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

ภาพ ฉ-7 การสัมภาษณ์ชาวบ้าน

ภาพ ฉ-8 การสัมภาษณ์ชาวบ้าน

ภาพ ฉ-9 การสัมภาษณ์ชาวบ้าน

ภาพ ฉ-10 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์



ภาพ ฉ-11 การตั้งค่าเพื่อที่จะวิเคราะห์ตัวอย่าง

ภาพ ฉ-12 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ภาคผนวก ช

แบบสอบถามการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นของประชากรตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

วันที่เก็บแบบสอบถาม.....พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง.....

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ❒ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างตรงตามความเป็นจริง

ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

   ❒ ชาย ❒ หญิง

2. อายุ.....ปี

3. สถานภาพสมรส

   ❒ โสด ❒ สมรส ❒ หม้าย / หย่า / แยกกันอยู่

4. ระดับการศึกษาสูงสุด

   ❒ ต่ำกว่าปริญญาตรี ❒ ปริญญาตรี

   ❒ สูงกว่าปริญญาตรี ❒ อื่นๆ โปรดระบุ.....

5. อาชีพ.....สถานที่ทำงาน.....

6. ที่อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่.....

7. น้ำหนักตัว.....กิโลกรัม

ข้อมูลน้ำบ่อตื้น

1. ท่านใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นหรือไม่ ❒ ใช้ ❒ ไม่ใช่

2. ท่านใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นจากแหล่งใด ❒ บ่อตัวเอง ❒ บ่อสาธารณะ
   ความลึกของบ่อ .....เมตร

3. ตำแหน่งของน้ำบ่อตื้น ❒ ในบ้าน ❒ บริเวณบ้าน ❒ อื่นๆ.....

ข้อมูลการใช้น้ำบ่อตื้น

1. ท่านมีการดื่มน้ำจากน้ำบ่อตื้นหรือไม่ ❒ ดื่ม ❒ ไม่ดื่ม

   1.1. มีการบำบัดน้ำก่อนนำมาดื่มหรือไม่ ❒ มีการบำบัด ❒ ไม่มีการบำบัด

   1.2. ปริมาณในการดื่มน้ำ/วัน

   ❒ 1 แก้ว ❒ 2 แก้ว ❒ 3 แก้ว

   ❒ 4 แก้ว ❒ 5 แก้ว ❒ 6 แก้ว

   ❒ 7 แก้ว ❒ 8 แก้ว ❒ อื่นๆ.....

2. ท่านมีการใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นหรือไม่ ❒ มี ❒ ไม่มี

   2.1. มีการบำบัดน้ำก่อนนำมาใช้หรือไม่ ❒ มีการบำบัด ❒ ไม่มีการบำบัด

   2.2. ท่านใช้น้ำจากน้ำบ่อตื้นในกิจกรรมประเภทใดบ้าง

   ❒ ล้างจาน ❒ ซักผ้า ❒ ล้างหน้า/แปรงฟัน

   ❒ อาบน้ำ ❒ ปรุงอาหาร ❒ อื่นๆ.....

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายสอแหละ บางูสัน

วัน/เดือน/ปี/เกิด 26 พฤษภาคม 2530

การศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา	2553

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2560
2. ทุนศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สอแหละ บางูสัน และ บรรจง วิทยวีรศักดิ์. การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา. **การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ครั้งที่ 12.** 27-29 พฤษภาคม 2561. 80-88 น.