

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูที่ละลายในน้ำอุปโภคบริโภค* ในพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกเก่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Health risk assessment from soluble arsenic in the water supply in the old tin mine areas, Surat thani province

มูทาทิพย์ รอดทิม (Muthathip Rodthim) **

มัลลิกา ปัญญาคะโป (Mallika Panyakapo) ***

ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์ (Bhanupong Phrommarat) ****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารหนูในแหล่งน้ำและน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค บริเวณพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกจังหวัดสุราษฎร์ธานีระหว่างเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2556 และ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารหนูจากน้ำอุปโภคบริโภค 5 ประเภท คือ น้ำประปาผิวดิน น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมชนเมือง น้ำประปาภูเขาและน้ำบ่อตื้น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำอยู่ในช่วง 0.001 – 0.185 มก./ล. โดยน้ำชุมชนเมืองเก่ามีความเข้มข้นสูงสุดและมีค่าเกินมาตรฐาน สำหรับน้ำประปาผิวดินและน้ำประปาชุมชนเมืองมีความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งพบว่าความเสี่ยงรวมของน้ำทุกประเภทสำหรับเด็กและผู้ใหญ่อยู่ในช่วง $1.20E-04$ – $7.23E-03$ และ $4.58E-05$ – $2.75E-03$ ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงรวมจากอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งสำหรับคนทั้ง 2 กลุ่ม อยู่ในช่วง 0.27 – 16.06 และ 0.10 – 6.10 ตามลำดับ ความเสี่ยงทั้ง 2 ประเภทมีการเรียงลำดับจากมากไปน้อยเช่นเดียวกัน ดังนี้ น้ำบ่อตื้น น้ำประปาภูเขา น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมชนเมือง และน้ำประปาผิวดิน เส้นทางการรับสัมผัสผ่านทางเดินอาหารก่อให้เกิดความเสี่ยงมากกว่าทางผิวหนัง ความเสี่ยงที่สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ต้องมีการดำเนินการต่อไป

* เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำจากชุมชนเมืองเก่าและแหล่งน้ำผิวดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำประปาหมู่บ้าน รวมทั้งน้ำประปาหมู่บ้านและน้ำบ่อตื้นบริเวณพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกในเขตจังหวัดสุราษฎร์ธานี และประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากการได้รับสารหนูในการอุปโภคบริโภคน้ำประปาหมู่บ้านและน้ำบ่อตื้น

** นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Graduate students, Department of Environmental, Science Faculty of Science, Silpakorn University

Email: muthathip@hotmail.com

*** รองศาสตราจารย์ ดร. อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Assoc. Prof. Department of Environmental, Science Faculty of Science, Silpakorn University

Email: mpanyakapo@gmail.com

**** ดร. อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Prof. Department of Environmental, Science Faculty of Science, Silpakorn University

Email: b.phrommarat@gmail.com

คำสำคัญ : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ สารหนู เหมืองแร่ดีบุก น้ำประปาหมู่บ้าน

Abstract

The objectives of this research were to investigate the concentrations of arsenic in water resources and water supply in an old tin mine areas located in Surat thani province during June-July 2013 and to assess the human health risk from exposure to arsenic from 5 kinds of water supply produced from surface water, ground water, old mine water, hill water and shallow well water.

The concentrations of arsenic in water ranged from 0.001 to 0.185 mg/L. The maximum concentration which exceeded the standard value, was found in the old tin mine water. The concentrations of arsenic in surface water supply and the old tin mine water supply, were below the provincial water supply standard.

Total cancer risks for all kinds of water were in the range of $1.20\text{E}-04$ – $7.23\text{E}-03$ for child and $4.58\text{E}-05$ – $2.75\text{E}-03$ for adult. For total non-cancer risk of child and adult were 0.27-16.06 and 0.10-6.10, respectively. Both cancer and non-cancer risk descends from shallow well water, hill water supply, ground water supply, old mine water supply and surface water supply. The ingestion route caused higher risk than the dermal absorption. The unacceptable risks must be properly managed.

Keywords: Health risk assessment, Arsenic, Tin mine, village water supply

บทนำ

ประเทศไทยมีการทำเหมืองแร่ดีบุกมายาวนาน เริ่มมีการผลิตแร่ดีบุกส่งออกตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา ในปี พ.ศ. 2061 โดยเริ่มที่เกาะภูเก็ตเป็นแห่งแรกแล้วจึงขยายไปทั่วภาคใต้ (ไพรัช, 2534 : 4) แหล่งแร่ดีบุกในภาคใต้มีพื้นที่ครอบคลุมทุกจังหวัดตามแนวสายแร่ตั้งแต่จังหวัดชุมพรถึงนราธิวาส เป็นแหล่งแร่ดีบุกที่มีความสมบูรณ์และมีการทำเหมืองที่ให้ผลผลิตแร่สูงที่สุด (กรมทรัพยากรธรณี, 2543 : 3-4) จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีแนวสายแร่ดีบุกต่อเนื่องกับจังหวัดนครศรีธรรมราชซึ่งพบแหล่งแร่ดีบุกกระจายตัวเป็นแนวยาวบริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ด้านตะวันตก และบนเกาะในอ่าวไทย รวมจำนวน 15 แหล่ง มีเนื้อที่รวมทั้งสิ้น 441 ตารางกิโลเมตร ในอดีตมีการทำเหมืองแร่ดีบุกจำนวนมากถึง 30 – 40 เหมือง (ณรงค์ และคณะ, 2531 : 8) แต่ในปัจจุบันไม่มีการทำเหมืองแร่แล้ว (กรมทรัพยากรธรณี, 2550 : 39) จากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตทำให้ในปัจจุบันมีพื้นที่ที่ถูกทิ้งร้างเป็นชุมชนเหมืองที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำขังอยู่ในบ่อปริมาณมาก จึงทำให้มีหลายหน่วยงานมีแนวคิดในการนำน้ำจากบ่อเหมืองไปผลิตเป็นน้ำประปาของหมู่บ้านหรือชุมชน เช่น

เทศบาลนครภูเก็ตมีการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำดิบในชุมชนเมืองร้างถึง 9 แห่ง (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2554)

การทำเหมืองแร่ดีบุกที่มีแร่อาร์เซนไพไรต์ (Arsenopyrite-FeAsS) เกิดรวมอยู่กับแร่ดีบุกเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารหนูลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ (ธวัชชัย และ รัชฎา, 2543 : 30) ดังเช่นเหตุการณ์ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2530 โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช ได้รับผู้ป่วยจากอำเภอรัตนพิบูลย์ที่มีอาการผิดปกติทางผิวหนัง โดยแพทย์ได้ตรวจวินิจฉัยว่าเป็นโรคมะเร็งผิวหนังจากพิษสารหนูเรื้อรังหรือที่เรียกกันว่า “โรคไขดำ” หากเกิดอาการขั้นรุนแรงอาจถึงตายได้ สาเหตุเบื้องต้นสันนิษฐานว่าได้รับสารหนูเรื้อรังจากการบริโภคน้ำและอาหารที่มีสารหนูเจือปน ดังนั้นหากต้องการนำน้ำในชุมชนเมืองแร่ดีบุกไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคจึงจำเป็นต้องทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

สารหนูเป็นสารพิษที่มีอันตรายต่อร่างกายอย่างรุนแรง โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา (US-EPA) ได้จัดสารหนูเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มเอ (US-EPA, 1989) สารหนูและสารประกอบของสารหนู มีความเป็นพิษเนื่องจากสามารถยับยั้งการสร้าง ATP ในทุกกระบวนการของสิ่งมีชีวิต มีผลให้ถึงแก่ชีวิตได้เนื่องจากเกิดภาวะล้มเหลวของระบบและอวัยวะต่าง ๆ ทำให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง และเกิดอาการทางผิวหนังตั้งแต่ผิวหนังมีสีดำคล้ำ เป็นจุดและมะเร็งผิวหนัง (ปราณี, 2551 : 30-31)

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการตรวจวัดปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำดิบก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และเมื่อพบว่าความเข้มข้นของสารหนูในน้ำมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดทำให้เข้าใจได้ว่าไม่เป็นอันตรายจึงขาดการป้องกันและเฝ้าระวังอย่างเหมาะสม แต่ในความเป็นจริงแล้วการอุปโภคบริโภคน้ำนั้นยังคงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพในการก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) และความเสี่ยงอื่นๆ นอกเหนือจากมะเร็ง (Non-carcinogenic risk) ด้วย ดังนั้นการพิจารณาความเป็นอันตรายของสารหนูจึงควรพิจารณาจากทั้งค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพร่วมกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่แหล่งแร่ดีบุกและพื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองแร่ดีบุกจังหวัดสุราษฎร์ธานี ใน 6 อำเภอ ประกอบด้วยอำเภอบ้านนาสาร อำเภอบ้านนาเดิม อำเภอเวียงสระ อำเภอพนม อำเภอเกาะสมุย และ อำเภอวิภาวดี (เดิมชื่อ กิ่ง อ.วิภาวดี) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่มา : ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหารลำดับชุด L7018

2. การเก็บตัวอย่างน้ำ

จากการเก็บข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าในฤดูแล้งมีปริมาณน้ำน้อยจากปัญหาการขาดแคลนน้ำ ดังนั้น หากทำการเก็บตัวอย่างน้ำในฤดูแล้งอาจจะไม่มีตัวอย่างน้ำที่เป็นตัวแทนของหมู่บ้านกลุ่มเสี่ยงที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำในฤดูฝนช่วงเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2556 เนื่องจากแหล่งน้ำมีปริมาณมากเพียงพอที่จะเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำได้ รายละเอียดการเก็บตัวอย่างน้ำมีดังนี้

2.1 จุดเก็บตัวอย่างและวิธีการเก็บตัวอย่าง

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาและใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (ArcGIS Desktop 9.3) ในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างและวางแผนการเก็บตัวอย่างดังนี้

2.1.1 น้ำผิวดิน

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินในบริเวณแหล่งแร่ดีบุกเก่าและพื้นที่ใกล้เคียง จำนวน 13 จุด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (Grab Sampling) ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0-50 เซนติเมตร พร้อมกับวัดอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่น และค่าการนำไฟฟ้า ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างทันที เก็บตัวอย่างน้ำ

ใส่ขวด HDPE ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ บันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง GPS (Global Positioning System)

2.1.2 ขุมเหมืองแร่ดีบุกเก่า

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากขุมเหมืองแร่ดีบุกเก่าจำนวน 15 จุด และเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการเดียวกันกับแหล่งน้ำผิวดิน

2.1.3 น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำประปาหมู่บ้านและน้ำบ่อต้นของหมู่บ้านที่มีโอกาสเสี่ยง ในกรณีที่หมู่บ้านมีการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคหลายประเภทได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างทุกประเภท เพื่อให้ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ของหมู่บ้านอย่างครบถ้วนรวมทั้งสิ้น 33 จุด ประกอบด้วยน้ำประปาผิวดินจำนวน 5 จุด น้ำประปาบาดาลจำนวน 8 จุด น้ำประปาขุมเหมืองจำนวน 2 จุด น้ำประปาภูเขาจำนวน 5 จุด และน้ำบ่อต้นจำนวน 13 จุด ทำการวัดอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่น และค่าการนำไฟฟ้า ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างทันที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากก๊อกน้ำโดยเปิดน้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวด HDPE ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วจึงทำการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ พร้อมทั้งบันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง GPS

2.2 วิธีเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

เปิดน้ำตัวอย่างส่วนที่เป็นน้ำใส 20 มิลลิลิตร. ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร. แล้วนำมาเติมสารละลาย 50% HCl จำนวน 5 มิลลิลิตร. และสารละลาย 5% KI จำนวน 1 มิลลิลิตร. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรแล้วเขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 45 นาที (AWWA, 2012)

2.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำน้ำที่ทำการเตรียมตัวอย่างแล้วไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) แบบ Hydride generation ยี่ห้อ Analytikjena รุ่น novAA350

3. วิธีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

วิธีการประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ US-EPA ปี ค.ศ. 1989 โดยประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) และความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-carcinogenic risk) จากการได้รับสารหนูจากการอุปโภคบริโภคน้ำประปาหมู่บ้านและน้ำบ่อต้นที่เข้าสู่ร่างกายใน 2 เส้นทาง ได้แก่ ทางเดินอาหาร (Ingestion) และทางผิวหนัง (Dermal Contact) โดยไม่รวมเส้นทางการได้รับสารผ่านทางหายใจ (Inhalation) โดยทำการประเมินความเสี่ยงสำหรับคน 2 กลุ่ม คือ เด็ก (อายุ 0-6 ปี) และผู้ใหญ่ ทั้งนี้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) จากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร (Ingestion) และทางผิวหนัง (Dermal contact) จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ และเนื่องจากการสำรวจข้อมูลพบว่าชุมชนศึกษาใช้น้ำประปาเฉพาะในการประกอบอาหาร (indirect ingestion) เท่านั้น โดยไม่ได้ใช้เป็นน้ำดื่ม (direct ingestion) ทำให้ค่า IR ที่ใช้ในการคำนวณในสมการที่ (1) สำหรับเด็กและผู้ใหญ่เท่ากับ 0.96 และ 1.67

ลิตร/วัน ตามลำดับ (Hossain, 2013 : 1221) รายละเอียดของค่าคงที่สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake) แสดงดังตารางที่ 1

สำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ ซึ่งค่า Slope factor และ Reference dose แสดงดังตารางที่ 2

$$I_{\text{Ingestion}} = \frac{CW \times IR \times EF \times EP}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$I_{\text{Dermal contact}} = \frac{CW \times SA \times PC \times ET \times EF \times EP \times CF}{BW \times AT} \quad (2)$$

โดยที่ ;	I	=	ปริมาณสารที่ร่างกายได้รับ (mg/kg-weight/day)
	CW	=	ความเข้มข้นของสารในน้ำ (mg/l)
	IR	=	อัตราการสัมผัสน้ำ (l/day)
	EF	=	ความถี่ของการสัมผัส (day/year)
	EP	=	ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
	BW	=	น้ำหนักของร่างกาย (kg)
	AT	=	ระยะเวลาเฉลี่ย (day)
	SA	=	พื้นที่ผิวที่สัมผัส (cm ²)
	PC	=	ค่าคงที่จำเพาะต่อสารเคมีที่ซึมผ่านทางผิวหนัง (cm/hr),
	ET	=	เวลาในการสัมผัส (hr/day)
	CF	=	ค่าที่ใช้สำหรับการแปลงค่าปริมาตรน้ำ (1 L/ 1000 cm ³)
	Cancer risk	=	$I \times SF$ (3)
	HQ	=	$\frac{I}{RfD}$ (4)

โดยที่ ;	Cancer risk	=	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง
	HQ	=	ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง
	I	=	ปริมาณสารที่ได้รับ (mg/kg-day)
	SF	=	Slope factor (mg/kg-day) ⁻¹
	RfD	=	Reference Dose (mg/kg-day)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่สำหรับคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกาย (Intake)

ตัวแปร	หน่วย	ค่าคงที่		แหล่งอ้างอิง
		เด็ก	ผู้ใหญ่	
IR	l/day	0.96	1.67	Hossain (2013)
EF	day/year	365	365	US-EPA (1989)
EP	year	6	70	US-EPA (1989)
BW	kg	12	55*	US-EPA (1989)
AT	day	2,190	25,550	US-EPA (1989)
SA	cm ²	7,200**	18,150**	US-EPA (1989)
PC	cm/hr	0.001	0.001	US-EPA (1989)
ET	hr/day	0.20	0.20	US-EPA (1989)
CF	-	0.001	0.001	US-EPA (1989)

หมายเหตุ : * ข้อมูลจาก จรรยา (2552) อ้างจาก Stuart M.E., et al (2001)

** ค่าเฉลี่ยของทั้งเพศชายและหญิง

ตารางที่ 2 ค่า Slope factor และค่า Reference dose ของสารหนู ตามเส้นทางต่างๆ ของการได้รับเข้าสู่ร่างกาย

ค่าอ้างอิง	เส้นทางของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย	
	ทางเดินอาหาร	ทางผิวหนัง
ค่า Slope Factor ; SF (หน่วย : mg/kg-day) ⁻¹	1.50	3.66
ค่า Reference Dose ; RfD (หน่วย : mg/kg-day)	0.0003	0.000123

ที่มา : US-EPA (1993)

ความเสี่ยงรวมเป็นการนำความเสี่ยงจากแต่ละเส้นทางมารวมกัน US-EPA (1989) กำหนดว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งที่สามารถยอมรับได้อยู่ในช่วง 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} ส่วนความเสี่ยงรวมจากความเป็นอันตรายอื่นนอกเหนือจากมะเร็งต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หากสูงกว่านี้จำเป็นต้องจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ความเข้มข้นของสารหนู

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในแหล่งน้ำและน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคบริเวณพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกจังหวัดสุราษฎร์ธานี แสดงดังตารางที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 น้ำผิวดิน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำผิวดินจำนวน 13 ตัวอย่างพบว่าความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วง 0.002 – 0.03 มก./ล. โดยมีจำนวน 1 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 7.70) ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.01 มก./ล. จุดที่มีความเข้มข้นเกินคือน้ำจากคลองบางหา ตำบลบ่อผุด อำเภอเกาะสมุย ซึ่งมีความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.03 มก./ล. ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับน้ำผิวดินที่ไหลผ่านและไม่ไหลผ่านพื้นที่ที่มีการทำเหมืองและแต่งแร่ในอดีตในตำบลร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในระหว่างปี พ.ศ. 2535-2540 ซึ่งตรวจพบสารหนูมีค่าอยู่ในช่วง 0.002-0.652 มก./ล. (อนงค์, 2540 : 17-21) และสารหนูในน้ำผิวดินโดยรอบพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม Patancheru ประเทศอินเดีย อยู่ในช่วง 0.006 – 0.1 มก./ล. ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ทางองค์การอนามัยโลก (WHO) และหน่วยงานของรัฐบาลอินเดียที่กำหนดมาตรฐานของสารหนูในน้ำให้ไม่ได้เท่ากับ 0.01 มก./ล. (Satyanarayanan *et al.*, 2009)

1.2 น้ำขุมเหมืองแร่ดีบุกเก่า

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูจากน้ำขุมเหมืองแร่ดีบุกเก่าจำนวน 15 ตัวอย่างพบว่า ความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วง 0.002 – 0.185 มก./ล. โดยพบตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของสารหนูที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจำนวน 10 จุด (คิดเป็นร้อยละ 66.67) ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของสารหนูเกินค่ามาตรฐานเก็บจากขุมเหมืองแร่ดีบุกเก่าตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านนาสารจำนวน 8 จุด อำเภอเวียงสระ และเกาะสมุย อำเภอละ 1 จุด สำนักงานทรัพยากรธรณีจังหวัดสุราษฎร์ธานี (2530) รายงานว่าแหล่งที่พบแร่มากที่สุด ได้แก่ อำเภอบ้านนาสาร รองลงมาคือ อำเภอเวียงสระ และอำเภอกาญจนดิษฐ์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ตัวอย่างน้ำจากขุมเหมืองในอำเภอบ้านนาสารมีค่าเกินมาตรฐานถึง 8 ตัวอย่าง

1.3 น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำอุปโภคบริโภคประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคซึ่งกำหนดให้มีสารหนูในน้ำได้ไม่เกิน 0.01 มก./ล. โดยพบว่าน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของสารหนูเกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ น้ำประปาบาดาลจำนวน 5 จุด (คิดเป็นร้อยละ 62.50) ซึ่งเก็บตัวอย่างจากอำเภอบ้านนาสาร อำเภอพนมจำนวน 2 และ 1 จุดตามลำดับ ซึ่งมีความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.02 มก./ล. และอำเภอเกาะสมุย จำนวน 2 จุดมีความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.04 มก./ล. และน้ำประปาภูเขาจำนวน 2 จุด (คิดเป็นร้อยละ 40) ซึ่งเป็นตัวอย่างจากอำเภอพนม ซึ่งมีความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.05 มก./ล. สำหรับน้ำประปาผิวดินและน้ำประปาขุมเหมืองเก่ามีความเข้มข้นของสารหนูต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด แต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าน้ำจากระบบประปาชนิดต่างๆ ในจังหวัดชุมพรซึ่งเป็นพื้นที่เหมืองแร่ดีบุกเก่าเช่นเดียวกัน โดยมีค่าความเข้มข้นสารหนูในน้ำประปาประเภทต่างๆ อยู่ในช่วง <0.001-0.032 (กลุ่มวิชาการและมาตรฐาน สำนักบริหารสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556 : 29)

สำหรับบ่อน้ำตื้นจำนวน 13 จุด พบจุดที่มีค่าสารหนูเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน จำนวน 2 จุด (คิดเป็นร้อยละ 15.39) ซึ่งเป็นตัวอย่างจากอำเภอพนมและอำเภอเกาะสมุย ซึ่งมีความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.06 และ 0.02 มก./ล. ตามลำดับ โดยผลการศึกษาอยู่ในช่วงเดียวกันกับน้ำบ่อน้ำตื้นในพื้นที่ภาคใต้ 9

จังหวัด จำนวน 268 บ่อ ซึ่งตรวจพบสารหนูมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 3.3 มก./ล. โดยเกินค่ามาตรฐานเฉพาะใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดชุมพร จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดตรัง จำนวน 56 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 20.90 (พรพรรณ, 2538)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำประเภทต่างๆ

ประเภทของแหล่งน้ำ	จำนวน ตัวอย่างน้ำ	ความเข้มข้นของสารหนู (มก./ล.)		ร้อยละของ ตัวอย่างน้ำ ที่มีสารหนูเกิน มาตรฐาน	มาตรฐาน คุณภาพน้ำ (มก./ล.)
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด		
น้ำผิวดิน	13	0.002	0.03	7.70	0.01*
น้ำชุมชนเมืองแร่ดีบุกเก่า	15	0.002	0.185	66.67	0.01*
น้ำประปาผิวดิน	5	0.001	0.005	0	0.01**
น้ำประปาบาดาล	8	0.002	0.04	62.50	0.01**
น้ำประปาชุมชนเมือง	2	0.002	0.01	0	0.01**
น้ำประปาภูเขา	5	0.003	0.05	40.00	0.01**
น้ำบ่อตื้น	13	0.001	0.06	15.39	0.01*

หมายเหตุ * มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537

** มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค (2550)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ พบว่าน้ำชุมชนเมืองแร่ดีบุกเก่ามีค่าความเข้มข้นของ สารหนูสูงที่สุด เนื่องจากในพื้นที่เมืองแร่ดีบุกเก่าซึ่งมีแร่อาร์เซนไฟไรต์ (FeAsS) ปนอยู่มากเมื่อมีการแต่งแร่ โดยใช้สารเคมีจะเป็นสาเหตุสำคัญทำให้สารหนูเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้มาก และในปัจจุบันพื้นที่เมือง เก่าที่ถูกทิ้งร้างไว้อย่างคงมีกองขี้แร่หรือหางแร่ที่เกิดจากการแต่งแร่ในอดีต เมื่อฝนตกทำให้เกิดการชะล้างสาร หนูลงสู่ชุมชนเมืองเก่าซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ต่ำสุดและใช้รองรับน้ำที่ไหลบ่าลงในชุมชนเมืองเก่า (สมทรัพย์, 2537 : 26) แต่เมื่อนำไปใช้ในการผลิตประปาต้องผ่านทั้งกระบวนการและรวมตะกอนทางเคมี การตกตะกอน และ การกรอง จึงทำให้ความเข้มข้นของสารหนูลดลง

2. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

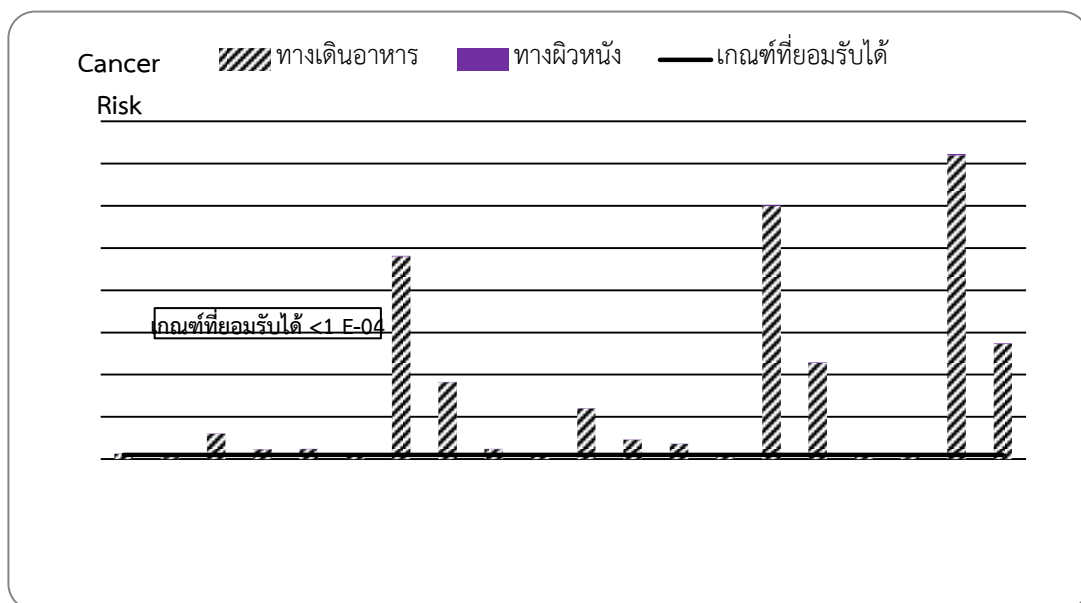
2.1 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk)

จากการประเมินความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารหนูจากน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภคทั้ง 5 ประเภทสำหรับเด็กและผู้ใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง $1.20\text{E}-04$ – $7.23\text{E}-03$ และ $4.58\text{E}-05$ – $2.75\text{E}-03$ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 2) ซึ่งพบว่าสำหรับเด็กมีความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากการรับสารหนูจากน้ำทุกประเภทสูง กว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA (1989) สำหรับผู้ใหญ่พบความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากการรับ สารหนูจากน้ำประปาภูเขาสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ส่วนน้ำประปาผิวดิน น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมชนเมืองและน้ำ

บ่อต้น พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เฉพาะกรณีที่มีความเข้มข้นของสารหนูต่ำกว่า 0.002 มก./ล. เท่านั้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.003 มก./ล. ซึ่งค่านี้นต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาทำให้เข้าใจว่าเป็นน้ำที่ปลอดภัยสำหรับการอุปโภคบริโภค แต่เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงแล้วพบว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งสำหรับเด็กและผู้ใหญ่เท่ากับ $3.61\text{E}-04$ และ $1.37\text{E}-04$ สอดคล้องกับความเสี่ยงของเด็กและผู้ใหญ่ที่ดื่มน้ำบริเวณใกล้กับแม่น้ำเชียงเจียง ประเทศจีนโดยใช้ความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.0037 มก./ล. พบว่าความเสี่ยงในเด็กและผู้ใหญ่เท่ากับ $4.48\text{E}-04$ และ $2.08\text{E}-04$ ตามลำดับ (Wang *et al.*, 2011 : 171) ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีค่าสูงกว่าความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งผิวหนังเฉลี่ยในผู้ใหญ่ของชุมชนในจังหวัด Hanam ประเทศเวียดนาม จากการใช้น้ำบ่อในการดื่มเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ $25.3\text{E}-05$ และยังพบว่าความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งผิวหนังจะสูงขึ้นเป็น 11.5 เท่า หากไม่ได้มีการกรองน้ำก่อนนำไปบริโภค (Tung *et al.*, 2014 : 7585)

เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งทั้งในเด็กและผู้ใหญ่พบว่า น้ำบ่อต้นมีความเสี่ยงรวมที่สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำประปาภูเขา น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมชน และน้ำประปาผิวดิน ตามลำดับ เส้นทางการรับสัมผัสสารหนูที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงที่สุดคือการรับสัมผัสผ่านทางเดินอาหารเนื่องมาจากระยะเวลาที่สัมผัสกับสารหนูต่อวันของทางเดินอาหารมากกว่าทางผิวหนัง โดยความเสี่ยงรวมจากการรับสัมผัสทั้ง 2 เส้นทางในเด็กสูงกว่าผู้ใหญ่



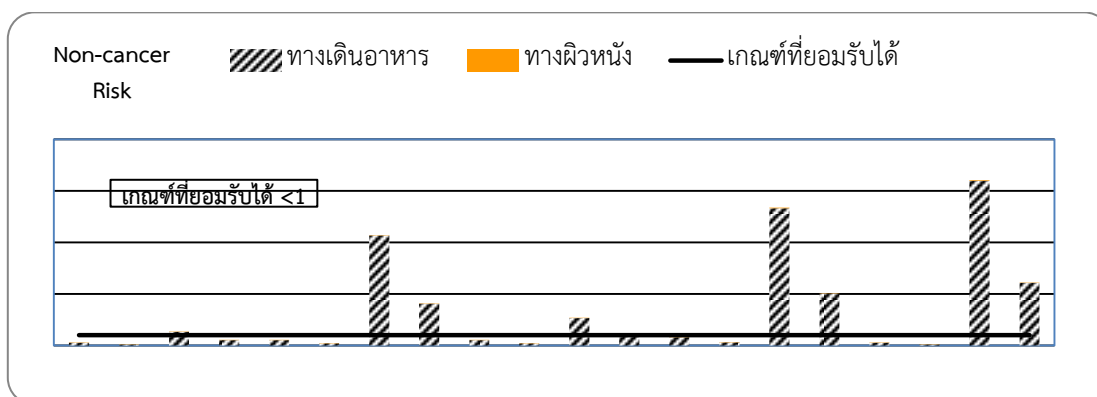
รูปที่ 2 ผลการประเมินความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารหนูจากน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประเภทต่างๆ

2.2 ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non – carcinogenic risk)

จากการประเมินความเสี่ยงรวมจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งในน้ำประปาหมู่บ้านและน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคทั้ง 5 ประเภท สำหรับเด็กและผู้ใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 0.27 – 16.06 และ 0.10 – 6.10 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 3) ซึ่งพบว่าสำหรับเด็กมีความเสี่ยงรวมจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากการรับสารหนูจากน้ำทุกประเภทสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA (1989) สำหรับผู้ใหญ่พบความเสี่ยงรวมจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากการรับสารหนูจากน้ำ 4 ประเภท ได้แก่ น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมเหืองเก่า น้ำประปาภูเขา และน้ำบ่อตื้นสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยพบความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เฉพาะกรณีที่มีความเข้มข้นของสารหนูต่ำกว่า 0.009 มก./ล. สำหรับน้ำประปาผิวดินมีความเสี่ยงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทั้งหมด ยกเว้นความเสี่ยงรวมในเด็กมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้เฉพาะในกรณีที่ความเข้มข้นมีค่าสูงสุด (0.005 มก./ล.) โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.34

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารหนูในน้ำเท่ากับ 0.01 มก./ล. ซึ่งค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่กำหนดในมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาทำให้เข้าใจว่าเป็นน้ำที่ปลอดภัยสำหรับการอุปโภคบริโภค แต่เมื่อประเมินความเสี่ยงแล้วพบว่าความเสี่ยงรวมจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งสำหรับเด็กและผู้ใหญ่เท่ากับ 2.68 และ 1.02 โดยเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับความเสี่ยงของเด็กและผู้ใหญ่ที่ดื่มน้ำบริเวณใกล้กับแม่น้ำเชิงเจียงประเทศจีน โดยใช้ความเข้มข้นของสารหนูเท่ากับ 0.01 มก./ล. ทำให้ความเสี่ยงในเด็กและผู้ใหญ่เท่ากับ 2.69 และ 1.25 (Wang *et al.*, 2011 : 171) ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้

เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งทั้งในเด็กและผู้ใหญ่พบว่า น้ำบ่อตื้นมีความเสี่ยงรวมสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำประปาภูเขา น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมเหือง และน้ำประปาผิวดิน ตามลำดับ เส้นทางการรับสัมผัสสารหนูที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงที่สุดคือ การรับสัมผัสผ่านทางเดินอาหาร แต่ในทางกลับกันการรับสัมผัสทางผิวหนังมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทั้งหมด เนื่องมาจากค่า Reference Dose ของการรับสัมผัสทางเดินอาหารสูงกว่าทางผิวหนัง โดยความเสี่ยงรวมจากการรับสัมผัสทั้ง 2 เส้นทางในเด็กสูงกว่าผู้ใหญ่



รูปที่ 3 ผลการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากการได้รับสารหนูจากน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประเภทต่างๆ

2.3 การจัดการความเสี่ยง

จากการประเมินความเสี่ยงในน้ำประปาทุกประเภท พบว่า มีความเสี่ยงเกินค่าที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะทางเดินอาหาร ซึ่งชาวบ้านส่วนใหญ่จะนำน้ำไปใช้ประโยชน์โดยทางอ้อม คือ การใช้ในการหุงต้มและประกอบอาหาร เช่น หุงข้าว ล้างผัก ผลไม้และเนื้อสัตว์ ดังนั้นจึงควรจะทำให้การบำบัดน้ำโดยการเก็บกักน้ำให้ตกตะกอนไว้ในภาชนะอย่างน้อยเป็นเวลา 10 วัน (พรพรรณ, 2538 : 88) หรือใช้เครื่องกรองที่มีไส้กรองเป็นเหล็กซัลเฟตร่วมกับถ่านกัมมันต์ หรือสารดูดซับอื่นๆ (บรรจง, 2541 : 16) เพื่อลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำก่อนนำมาบริโภคซึ่งจะเป็นการลดปริมาณสารหนูที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารซึ่งเป็นเส้นทางหลักที่เข้าสู่ร่างกาย

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำประเภทต่างๆ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งพบว่าน้ำประปาบาดาลและน้ำประปาภูเขามีความเข้มข้นเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา ส่วนน้ำประปาผิวดินและน้ำประปาชุมชนเมืองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา สำหรับน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน น้ำจากชุมชนเมืองแร่ดีบุกเก่า และน้ำบ่อตื้นมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน เมื่อประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าน้ำบ่อตื้นมีความเสี่ยงรวมสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำประปาภูเขา น้ำประปาบาดาล น้ำประปาชุมชนเมือง และน้ำประปาผิวดิน ตามลำดับ เส้นทางการรับสัมผัสสารหนูที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงทางการรับสัมผัสผ่านทางเดินอาหารมากกว่าทางผิวหนัง โดยความเสี่ยงรวมจากการรับสัมผัสทั้ง 2 เส้นทางในเด็กสูงกว่าผู้ใหญ่

จากผลการประเมินความเสี่ยงเห็นได้ว่าถึงแม้ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำอุปโภคบริโภคจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทำให้เข้าใจว่าปลอดภัยสำหรับการอุปโภคบริโภค แต่เมื่อประเมินความเสี่ยงแล้วพบว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งมีค่าเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงไม่ควรพิจารณาความปลอดภัยในการอุปโภคบริโภคจากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ควรตรวจวัดความเข้มข้นของสารหนูร่วมกับทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค

เนื่องจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นพื้นที่แหล่งศักยภาพแร่ดีบุก ซึ่งมีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารหนูเมื่อเกิดการชะล้างพังทลายของดินและหินลงสู่แหล่งน้ำได้ ดังนั้นการจัดการความเสี่ยงในเบื้องต้นควรแจ้งข้อมูลความเสี่ยงที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ให้กับหน่วยงานที่ดูแลระบบประปาหมู่บ้านเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อกำจัดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ สำหรับประชาชนที่จะนำน้ำประปาไปใช้ประกอบอาหารจำเป็นต้องบำบัดน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของสารหนูก่อนนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัด **สุราษฎร์ธานี**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์, กรุงเทพฯ.
- กรมทรัพยากรธรณี. กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา. 2543. เอกสารเผยแพร่เศรษฐกิจธรณีวิทยา ฉบับที่ กศ 6/2543 **ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกและแร่หายากในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย**. 227 หน้า
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. สำนักบริหารสิ่งแวดล้อม. กลุ่มวิชาการและมาตรฐาน. 2556. รายงานการตรวจสอบคุณภาพน้ำชุมชนเหมือง และน้ำใช้ภายในชุมชนบริเวณพื้นที่เหมืองแร่ **เก่า เพื่อเฝ้าระวังภาวะสุขภาพของชุมชน จังหวัดชุมพร**. 32 หน้า
- การประปาส่วนภูมิภาค. 2550. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค. ผวก. ให้ความเห็นชอบ เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2550 ต่อท้ายบันทึกข้อความของ กคน. ที่ มท 55702-2/258 ลงวันที่ 11 กรกฎาคม 2550
- ณรงค์ หล่อใจ, ศักดิ์ ชนาเกียรติ, กัมพล มณีประพันธ์ และวี จารุรักษา. 2531. การศึกษาสภาพความอยู่รอด **ของเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และ นครศรีธรรมราช**. 59 หน้า
- ธวัชชัย บุญทอง และรัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์. 2543. รายงานวิชาการฉบับที่ ทธ.ข. 1-1/2543 สถานการณ์ปัญหา **การแพร่กระจายของสารหนู อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา, สงขลา.
- บรรจง วิทย์วิรศักดิ์. 2541. รายงานผลการศึกษา โครงการสำรวจการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบ่อต้นในลุ่ม **น้ำปากพอง บริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ และตำบลใกล้เคียง**. 16 หน้า
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและ **รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน**. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 11 (ตอนที่ 16) วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537, 7 หน้า.
- ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล. 2551. การปนเปื้อนสารหนูในน้ำใต้ดินเขตลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง. วารสารวิชาการ **ม.อบ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2551: 27-39**
- พรพรรณ บวรสาโชติ. 2538. การปนเปื้อนสารหนูในบ่อบาดาลและบ่อน้ำตื้นใน 9 จังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย **และวิธีการจัดการสารหนู**. 95 หน้า
- สำนักงานทรัพยากรธรณีจังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2530. **กิจกรรมและสถานการณ์เกี่ยวกับแร่ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พ.ศ. 2530**. 68 หน้า
- สมทรัพย์ อธิคมรังสฤษฎ์. 2537. สารหนูในน้ำบาดาลและน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ 7 จังหวัดของประเทศไทย. 37หน้า
- องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2554. ยุทธศาสตร์ในการพัฒนาของจังหวัดภูเก็ต. 54 หน้า
- อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์. 2540. การศึกษาติดตามปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู **อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช**. 49 หน้า

ภาษาต่างประเทศ

- 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 Assn, Washington,DC
- Hossain M. Amir, Mohammad Mahmudur Rahman, Matthew Murrill, Bhaskar Das, Bimol Roy, Shankar Dey, Debasish Maity and Dipankar Chakraborti. 2013. “Water consumption patterns and factors contributing to water consumption in arsenic affected population of rural West Bengal, India” **Science of the Total Environment** 463-464 : 1217-1224.
- Satyanarayanan Krishna AK, and M, Govil PK. 2009. Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: A case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India. **J Hazard Mater** 167:366-373.
- Tung Bui HuyTran, Thi Tuyet-Hanh, Richard Johnston and Hung Nguyen-Viet. 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
- Wang Zhenxing, Liyuan Chai, Yunyan Wang, Zhihui Yang, Haiying Wang and Xie Wu. 2011. Potential health risk of arsenic and cadmium in groundwater near Xiangjiang River, China: a case study for risk assessment and management of toxic substances. **Environ Monit Assess** DOI 10.1007/s10661-010-1503-7 (2011) 175:167-173
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency). 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Office of Emergency and Remedial Response, US-EPA. Washington, D.C. EPA/540/1-89/002.
- US-EPA. 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>