

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทั่วไปของสารหนู

สารหนูหรืออาร์เซนิก (Arsenic; As) เป็นธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid) มีเลขอะตอม คือ 33 น้ำหนักอะตอม 74.92 เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุไนโตรเจน (Fowler et al., 2007) เป็นธาตุที่มีแพร่กระจายทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบว่ามีมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบบนเปลือกโลก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Wang et al., 2009; USDHHS, 2000) เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับที่ 14 ในน้ำทะเลและเป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับที่ 12 ในร่างกายมนุษย์ (Mandal & Suzuki, 2002)

สารหนูในธรรมชาติมักพบอยู่ร่วมกับแร่ธาตุอื่น ได้แก่ ตะกั่ว ดีบุก สังกะสีและทองแดง และมักพบรวมตัวกับสารประกอบของกำมะถัน หรือสารประกอบซัลไฟด์ เช่น Realgar (Tetra-arsenic tetra-sulfide), Orpiment (Arsenic tri-sulfide) และสารประกอบสารหนูที่พบมากที่สุด คือ รูปของ arsenopyrite (FeAsS) (Sparks, 1995; Baeyens et al., 2007) โดยสารหนูในรูปแร่ arsenopyrite (FeAsS) อาจมีปริมาณสารหนูตั้งแต่ร้อยละ 0.02 ถึง 0.5 ในหินภูเขาไฟอาจพบปริมาณมากถึง 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือในอัตราเฉลี่ย 2-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแหล่งแร่แมงกานีส อาจพบสารหนูมากถึง 15,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในหินปูน หินทราย มีปริมาณสารหนูน้อย (Bissen & Frimmel, 2003) ปริมาณสารหนูในสิ่งแวดล้อมที่ไม่ปนเปื้อน โดยทั่วไปตามธรรมชาติ (Background Concentration) แสดงได้ดังตารางที่ 1

สารหนูปรากฏอยู่ในธรรมชาติได้ทั้งในรูปแก๊ส สารละลายและผลึก ซึ่งมี 3 ธาตุรูป คือ สารหนูดำได้จากอาร์ซีน (AsH_3) เมื่อสลายตัวด้วยความร้อน สารหนูเหลืองได้จากการทำให้ไอสารหนูเย็นลงอย่างรวดเร็ว และสารหนูเทาเป็นธาตุรูปที่เสถียรในอุณหภูมิห้อง มีลักษณะเป็นมันเปราะ มีสีเทาซึ่งเปลี่ยนไปเป็นสีเทาแก่และสีดำต่อไปอย่างรวดเร็ว และสำหรับที่สารหนูขาวเป็นสารประกอบระหว่างสารหนูและออกซิเจน (As_2O_3)

รูปแบบของสารหนูในสิ่งแวดล้อมมี 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ สารหนูอินทรีย์และสารหนูอนินทรีย์ โดยส่วนใหญ่รูปที่พบในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ คือ รูปสารหนูอนินทรีย์ โดยเฉพาะ สารหนูชนิดอาร์ซีนิก (อิเล็กตรอนวงนอกเป็น 3; trivalent arsenic species; As^{3+}) มักพบในแหล่งน้ำสถานะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Anaerobic condition) และสารหนูอาร์ซีนิก (อิเล็กตรอนวงนอกเป็น 5; pentavalent arsenic species; As^{5+}) เป็นรูปที่เสถียร มักพบในแหล่งน้ำสถานะที่มีออกซิเจนสูง (Aerobic condition) จะพบสารหนูอาร์ซีนิก (Cullen & Reimer, 1989) และสำหรับรูปสารหนูอินทรีย์ (Organic arsenic) มักพบมีปริมาณน้อยในน้ำ (Surface water) เช่น ในทะเลสาบ Ontario (Azcue & Nriagu, 1995 cited in Smedley & Kinniburgh, 2002) พบความเข้มข้นของ As^{3+} มีค่าในช่วง 7-75 ไมโครกรัมต่อลิตร, As^{5+} มีค่าในช่วง 19-58 ไมโครกรัมต่อลิตร และ organic arsenic มีค่าในช่วงเพียง 0.01-1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการ methylation โดยจุลินทรีย์ (Bacteria, Yeasts, Algae) สารหนูอินทรีย์ชนิดที่พบมาก คือ di-methyl-arsenic acid (DMAA; $(CH_3)_2AsO(OH)$) และ mono-methyl-arsonic acid (MMAA; $CH_3AsO(OH)_2$) ซึ่งสารหนูอินทรีย์ 2 ชนิดนี้อยู่ในรูป pentavalent (Smedley & Kinniburgh, 2002)

การปนเปื้อนของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนสารหนูในสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุ คือ

- 1) จากกระบวนการทางธรรมชาติ (Natural source) เช่น การชะล้างพังทลายของหินดินที่เป็นแหล่งสะสมของสารหนู รวมถึงแหล่งแร่ พลังงานเชื้อเพลิง น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติและถ่านหิน โดย Bissen and Frimmel (2003) กล่าวว่า การมีอยู่ของสารหนูในแหล่งน้ำ จะสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดของสารหนูที่มีอยู่ในหิน ดิน แร่ และลักษณะทางด้านธรณีเคมี (Geochemical characteristic) ในบริเวณนั้น ๆ ด้วย
- 2) จากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source) เช่น การทำเหมือง ถลุงแร่ และการนำหิน ดิน แร่ต่าง ๆ ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบมาใช้ในการอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันดิบ การกลั่นน้ำมัน การปิโตรเลียม ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลหรือปนเปื้อนในน้ำทั้งจากการอุตสาหกรรม ลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ รวมไปถึงไอเสียควันจากการเผาไหม้ ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดการปนเปื้อนในอากาศและสามารถตกลง

สู่สิ่งแวดล้อม แหล่งน้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิตได้ เช่น กรณีโรงไฟฟ้าถ่านหิน เมือง Guizhou ประเทศจีน พบว่าโดยทั่วไป ถ่านหินที่นำมาใช้มีสารหนูประกอบอยู่ประมาณ 5 ไมโครกรัมต่อกรัม ค่าสูงที่สุดที่เคยพบอยู่ที่ 53,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน ที่อุณหภูมิสูง (1,200-1,500 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิต่ำ-ปานกลาง (800-1,200 องศาเซลเซียส) พบสารหนูถูกปล่อยออกมาที่ละอองฝุ่นและควันประมาณ 20% และ 70% ตามลำดับ และทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ พืชผักและสิ่งมีชีวิตในบริเวณพื้นที่นั้น (Lui et al., 2002; Kunli et al., 2004) และกรณีการฝังกลบขยะ ของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่เมือง Nakajo ประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากการฝังกลบขยะ ของเสียจากโรงงาน ซึ่งมีสารหนูซัลไฟด์ (Arsenic sulfide) ปนเปื้อนอยู่ทำให้น้ำใต้ดินบริเวณนี้มีความเข้มข้นของสารหนูอยู่ระหว่าง 25-4,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (Tsuda et al., 1995)

กิจกรรมของมนุษย์มักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สารหนูแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยสารประกอบสารหนูบางชนิด เช่น Arsenic trioxide เป็นชนิดที่มีความเป็นพิษสูง ส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของสารปราบศัตรูพืช สารฆ่าวัชพืช สารกำจัดแมลง สารรักษาเนื้อไม้และอัลลอยด์ สารหนูในรูปธาตุ จะใช้เป็นส่วนผสมของโลหะอัลลอยด์ เช่น ผสมกับตะกั่วในแบตเตอรี่ หรือในรูป gallium arsenide สำหรับเคลือบสีในนาฬิกาดิจิตอล หรือใช้เป็น ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diode; LED) สำหรับเครื่องมือต่าง ๆ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2546) และปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีการรายงานไว้ แสดงดังตารางที่ 2

การแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำผิวดินและในทะเล

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดิน

ค่า Background Concentration ของสารหนูในน้ำใต้ดินส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (Edmunds et al., 1989 cited in Smedley & Kinniburgh, 2002) อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่มีการศึกษาถึงในงานวิจัยในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก มีค่าไว้ในช่วงกว้างมาก จาก <0.5-5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นช่วงที่พบปรากฏในสถานะตามธรรมชาติ และในหลายพื้นที่ที่พบปัญหาจากการมีอยู่ของสารหนูในน้ำใต้ดินที่สูงกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ จนไม่สามารถนำมาใช้สำหรับอุปโภคบริโภคได้ เช่น ประเทศอาร์เจนตินา (1-7,500 ไมโครกรัมต่อลิตร) ชิลี (100-1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร) เม็กซิโก (8-620 ไมโครกรัมต่อลิตร) จีน (40-750 ไมโครกรัมต่อลิตร) ฮังการี (2-176 ไมโครกรัมต่อลิตร) อินเดีย (10-3,200 ไมโครกรัมต่อลิตร) บังกลาเทศ

(0.5-3, 500 ไมโครกรัมต่อลิตร) และเวียคนาม (1-3,050 ไมโครกรัมต่อลิตร) (Smedley & Kinniburgh, 2002) โดยส่วนใหญ่มีผลมาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ที่มีปริมาณสารหนูสูงหรือ บริเวณแหล่งแร่ มีการทำเหมือง-ถลุงแร่ เช่น ประเทศเนปาล พม่าและกัมพูชา สำหรับบางพื้นที่ ได้รับผลมาจาก geothermal water รวมไปถึงแหล่งน้ำพุร้อน (Hot spring) เช่นในพื้นที่บางส่วนของ ประเทศอาร์เจนตินา ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ ชิลี ไอร์แลนด์ ฝรั่งเศส และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำผิวดิน

ความเข้มข้นของสารหนูในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แหล่งน้ำผิวน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร (Ng, 2005 cited in Sharma & Sohn, 2009; Bissen & Frimmel, 2003) ระดับความเข้มข้นที่พบในน้ำจืดจะอยู่ในช่วง 0.15–0.45 ไมโครกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นในแม่น้ำที่ระดับ baseline concentration อยู่ในช่วง 0.13–2.1 ไมโครกรัมต่อลิตร (ดังตารางที่ 1) โดยระดับความเข้มข้นสูงที่พบ อาจเป็นบริเวณที่มีสารหนูอยู่แล้วตามธรรมชาติในบางพื้นที่นั้น หรือเป็นผลมาจากแหล่งความร้อนใต้พิภพ (Geothermal sources) หรือมีปริมาณสารหนูสูงในน้ำใต้ดิน เช่น ปริมาณที่พบในแม่น้ำจากพื้นที่แหล่งความร้อนใต้พิภพ มีรายงานอยู่ในช่วง 10–70 ไมโครกรัมต่อลิตร (Baeyens et al., 2007; Smedley & Kinniburgh, 2002) หรือในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งมลพิษ โดยการศึกษาของ Andreac and Andreac (1989 cited in Chapagain et al., 2007) พบว่า น้ำจากแม่น้ำ Zenne ประเทศเบลเยียม มีความเข้มข้นสารหนูสูงขึ้นเป็น 30 ไมโครกรัมต่อลิตร เนื่องจากได้รับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือน

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำทะเลและปากแม่น้ำ

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำทะเลที่ไม่ปนเปื้อน โดยทั่วไปมีค่าต่ำหรือมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1–2 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยเฉลี่ยปริมาณที่พบในทะเลเปิดจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าประมาณ 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับบริเวณปากแม่น้ำอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่า เนื่องจากอิทธิพลของแม่น้ำ ลำคลองที่ไหลลงสู่ทะเล โดยปริมาณที่พบมักต่ำกว่า 4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในสถานะตามธรรมชาติ และมักพบมีค่าสูงขึ้นเมื่อแหล่งน้ำหรือแม่น้ำที่ไหลลงทะเลนั้น ถูกผลกระทบจากการปล่อยของเสียจากการอุตสาหกรรมหรือเหมืองแร่ หรือโดย geothermal water (Smedley & Kinniburgh, 2002) และการศึกษาพฤติกรรมของสารหนูในระหว่างเกิดการผสมกันบริเวณปากแม่น้ำ ในบางการศึกษาพบพฤติกรรมการอนุรักษ์ (Conservative behavior) บริเวณปากแม่น้ำ Krka ที่ไม่มีการปนเปื้อนมลพิษ ในประเทศยูโกสลาเวีย โดย Seyler,

and Martin (1991 cited in Smedley & Kinniburgh, 2002) กล่าวว่าพบปริมาณสารหนูรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรง เมื่อค่าความเค็มเพิ่มขึ้น จากแหล่งน้ำจืด (ในลำคลอง) 0.13 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึงบริเวณชายฝั่งทะเล (ปากแม่น้ำ) 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารหนูที่พบในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ (ค่า Background Concentration)

ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	Background Concentration	อ้างอิง
แผ่นเปลือกโลก (The earth's crust)	2-5 mg/kg	USDHHS (2000)
ดินที่ไม่ปนเปื้อน(Uncontaminated soil)	5.0-11.0 mg/kg	Peterson et al. (1981)
ดินตะกอน (Sediment)	7.7 mg/kg	Spark (1995)
	<10 mg/kg	Mandal and Suzuki (2002)
น้ำทะเล (Natural water)	1-2 µg/L	Phillips (1990); Smedley and Kinniburgh, (2002)
น้ำลำคลอง (Stream water)	0.10-1.70 µg/L	Matschullat (2000)
น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Surface water and Groundwater)	1 – 10 µg/L	Bissen and Frimmel (2003)
แม่น้ำ (River; Baseline concentration)	0.13 – 2.1 µg/L	Smedley and Kinniburgh (2002);
น้ำจืด (Freshwater)	0.15 – 0.45 µg/L	Bissen and Frimmel (2003)
อากาศ (Atmosphere)	<0.3 µg/m ³	Wang and Milligan (2005)

หมายเหตุ: µg/kg = ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม, mg/kg = มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม,

µg/L = ไมโครกรัมต่อลิตร, µg/m³ = ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การแพร่กระจายของสารหนูในดินตะกอน

สารหนูที่มีอยู่ทั่วไปในดิน หิน แร่ต่าง ๆ นั้น สามารถถูกทำให้เกิดการแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม แหล่งน้ำและสะสมในดินตะกอน หรือเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ ซึ่งสารหนูในแหล่งน้ำ มักจับตัวอยู่กับสารแขวนลอยในมวลน้ำ และตะกอนดินที่ดูดซับสารหนูไว้บางส่วน Bhumbra and Keefer (1994) กล่าวว่าสารหนูที่ถูกดูดซับไว้ในดินตะกอนนั้น สามารถเกิดการละลายกลับเข้าสู่มวลน้ำได้ ภายใต้สภาวะที่แหล่งน้ำขาดออกซิเจน หรือมีปริมาณออกซิเจนต่ำ ปริมาณสารหนูที่พบในแหล่งน้ำ จึงโดยทั่วไปมักมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในดินตะกอน นอกจากนี้ ลักษณะของดินตะกอน และแร่ธาตุที่มีประกอบอยู่ ยังมีผลต่อปริมาณการสะสมของสารหนูอีกด้วย โดย Wang et al. (2009) กล่าวว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับขนาดอนุภาคของหิน ดินตะกอน โดยเฉพาะที่มีขนาดเล็ก มีความละเอียดมาก และมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เช่น ดินโคลน หรือดินตะกอนที่เต็มไปด้วยแร่ซัลไฟด์ เหล็กออกไซด์และฟอสเฟต เหล่านี้ ซึ่งอาจมีความเข้มข้นของสารหนูสูงถึง 20-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งมีชีวิต

สารหนูมักพบอยู่ในสิ่งมีชีวิตและอาหารทะเลมากกว่าในแหล่งน้ำ (Gontad, 2008) โดยพบว่าในปลาทะเลอาจมีปริมาณการสะสมถึง 10 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนัก (ส่วนในกล้ามเนื้อ หรือ ppm) และในปลาน้ำจืดมีปริมาณการสะสมสารหนูประมาณ 3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนัก (National Academy of Science, 1997) โดยเฉพาะกลุ่มสารหนูอินทรีย์ ได้แก่ อาร์ซีนีโนบีเทน (AB) พบ 96% ของปริมาณสารหนูทั้งหมดในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นรูปแบบหลักในกลุ่มสารหนูอินทรีย์ที่พบได้ในสัตว์ทะเล อาหารทะเล และอีก 4% ที่พบมากรองลงมา คือ อาร์ซีนีโนคลอไรด์ (AC), สารประกอบสารหนูกับหมู่เมทิล (Dimethyl-oxyarsylethanol, trimethyl-arsonium lactate) สารประกอบสารหนูกลุ่มอาร์ซีนีโนซูการ์และฟอสโฟลิปิด (Lau et al., 1987; Friberg et al., 1986; Leermakers et al., 2006) การสะสมของสารประกอบสารหนูชนิดอนินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตอาจพบได้ ในปริมาณที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารหนูอินทรีย์ จากการศึกษาของ Farmer and Johnson (1990 cited in Benramdane et al, 1998) พบว่าในปัสสาวะของคนมีการขับออกของสารหนูแต่ละรูปแบบแตกต่างกัน คือ อาร์ซีนีโน (As⁵⁺) 3.5%, อาร์ซีนีโน (As³⁺) 12.5%, โมโนเมทิลอาร์ซีนีโน (MMA) 16% และไดเมทิลอาร์ซีนีโน

(DMA) 66.5% ซึ่งสารหนูนินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตสามารถถูกทำให้เปลี่ยนรูปได้ โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ให้อยู่ในรูปสารหนูนินทรีย์หรือลดความเป็นพิษลงได้บางส่วน สัตว์ทะเลบางชนิดสามารถเปลี่ยนสารหนูนินทรีย์เป็นอาร์ซีโนปีเทน (AB) และอาร์ซีโนคลอไรด์ (AC) ได้ และจากการรับสัมผัสโดยการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนสารหนูนินทรีย์ เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ บางส่วนสามารถถูกเมตาบอลิซึมให้เปลี่ยนรูปเป็น MMA และ DMA ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่มีการรับสัมผัส (Rubio et al., 1993 cited in Villa-Lojo et al., 2002)

ความเป็นพิษของสารหนู

การรับสัมผัสกับสารหนู อาจเกิดขึ้นได้โดยตรงจากการหายใจ การซึมผ่านผิวหนัง การกินอาหารและน้ำดื่ม รวมไปถึงดินที่ปนเปื้อน ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มากที่สุด สำหรับการรับสัมผัสโดยการหายใจเอาฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม ควันทะไธ หรือแก๊สเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ถ่านหิน และการถูกรัง สารหนูอาจจับตัวอยู่กับอนุภาคต่าง ๆ ในอากาศ หรือถูกเผาและอยู่ในรูปแก๊ส เมื่อถูกพาเข้าไปในร่างกายทำให้เกาะสะสมอยู่ที่ปอด และการรับสัมผัสทางการกิน มักมีความเสี่ยงต่อการสะสมได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การรับสัมผัสทางผิวหนัง โดยเฉพาะสารหนูชนิดอนินทรีย์ ซึ่งมีในสิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ (Henke, 2009) โดยการศึกษาของ Abuji (2008) พบว่าสำหรับในคน การรับสารหนูทางการกิน จะถูกดูดซึมได้ดีบริเวณระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal Tract) ประมาณ 45-75% ของปริมาณสารหนูทั้งหมด โดยส่วนหนึ่งจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน

การรับสัมผัสกับสารหนูสามารถก่อให้เกิดพิษทั้งแบบฉับพลันและเรื้อรัง โดยการรับสารประกอบสารหนูชนิดอนินทรีย์ในปริมาณมาก สามารถทำให้เกิดความเป็นพิษแบบฉับพลัน เกิดอาการมีเมมา ส่งผลกระทบบั้รุนแรงต่อระบบการทำงานของกระเพาะอาหาร ลำไส้ เส้นเลือดหัวใจ และระบบประสาทได้ และพิษแบบเรื้อรังหรือการรับสัมผัสอย่างต่อเนื่องในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ มากกว่า 1-2 ปี ส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่อเซลล์ผิวหนัง ระบบประสาทและเส้นเลือด และอาจก่อให้เกิดเนื้องอก โรคมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปอดและความผิดปกติต่อเนื้อเยื่อในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (Benramdane et al., 1998) นอกจากนี้มีงานการศึกษาพบว่าสารประกอบของสารหนูที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จะสามารถทำให้โปรตีนหลายชนิดเกิดการตกตะกอน เนื่องจากการจับตัวกับ

พันธะกัมมันต์เป็นหลัก จึงเกิดโครงสร้างใหม่ และสารโปรตีนที่ได้นั้นจะขัดขวางไม่ให้เกิดกระบวนการที่จะนำไปสู่การสร้างสารพลังงาน หรือ ATP (De, 1994 อ้างถึงใน ไพฑูรย์ มกคงไฟ้, 2541)

นอกจากนี้การแสดงความเป็นพิษของสารหนูขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารหนู โดยสารหนูอินทรีย์จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบสารหนูอินทรีย์ โดยมีงานวิจัย Chatterjee et al. (1995 cited in Correia et al., 2010; Jain & Ali, 2000) กล่าวว่าความเป็นพิษของสารหนูอินทรีย์สูงกว่าสารหนูอินทรีย์ถึง 100 เท่า โดยสารหนูอาร์ซิไนท์ (As^{3+}) เป็นพิษมากกว่าสารหนูอาร์ซิเนต (As^{5+}) ถึง 10 เท่า (Squibb & Fowler, 1983 cited in Maity et al., 2003; Kumaresan & Riyazuddin, 2001) และบางการศึกษาพบว่าสารหนูอาร์ซิไนท์มีความเป็นพิษมากกว่าอาร์ซิเนต 60 เท่าในรูปออกซิไดซ์ ซึ่งสามารถเรียงลำดับความเป็นพิษจากมากไปน้อยได้เป็น อาร์ซิไนท์ (Arsenite; As^{3+}) > อาร์ซิเนต (Arsenate; As^{5+}) > โมโนเมทิลอาร์โซเนต (Mono-methylarsonate; MMA) > ไดเมทิลอาร์ซิเนต (Di-methylarsinate; DMA) (Jain & Ali, 2000) ขณะที่ Munoz et al. (1999) กล่าวว่าค่าที่ทำให้สิ่งมีชีวิตตายเป็นครึ่งหนึ่งของประชากรสิ่งมีชีวิตที่ศึกษา (LD_{50}) จากการรับอาร์ซิไนท์ อาร์ซิเนต ไดเมทิลอาร์ซิเนต (DMA; $(CH_3)_2AsO_2^-$) และกรดโมโนเมทิลอาร์โซนิค (MMA; $CH_3AsO_3^{2-}$) เป็น 34.5, 41, 1200 และ 1800 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสารหนูอาร์ซิไนคลอไลด์และรูปไตรเมทิลอาร์ซิไนออกไซด์มีความเป็นพิษต่ำกว่า As^{3+} เป็น 200 และ 300 เท่า (Munoz et al., 1999) และการศึกษาของ Benramdane et al. (1998) กล่าวว่าสำหรับในผู้ใหญ่หนึ่งคน ความเป็นพิษของสารหนูจากการรับเข้าไป โดยปริมาณที่ทำให้ตาย อาจจะอยู่ที่ 100-200 มิลลิกรัมของกรดสารหนู (Arsenious Acid) ดังนั้นองค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (USEPA) จึงได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยไว้ สำหรับปริมาณของสารหนูที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม น้ำดื่มและอาหารทะเล ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของสารหนูที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม อาหารทะเล และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล น้ำผิวดิน และดินตะกอน สำหรับประเทศไทย

เกณฑ์มาตรฐาน	ความเข้มข้น ของสารหนู	อ้างอิง
น้ำดื่ม	<10 µg/L <50 µg/L*	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (2549) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (2524) แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (2534)
น้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	<50 µg/L	ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2551)
อาหารทะเล	<2.0 mg/kg	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (2529)
- สหรัยทะเล สัตว์ จำพวกหอยและปลาหมึก	<1.0 mg/kg	Food Standard Australia New Zealand (2013)
- ปลาและสัตว์น้ำที่มี เปลือกแข็ง เช่น กุ้งและปู	<2.0 mg/kg	Food Standard Australia New Zealand (2013)
น้ำทะเล	<10 µg/L	ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (2537) และฉบับที่ 27 (2549)
น้ำผิวดิน	<10 µg/L	ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537)
น้ำใต้ดิน	<10 µg/L	ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (2543)
ดินตะกอน	9.79 mg/kg**	กรมควบคุมมลพิษ (2553)

หมายเหตุ: mg/kg = มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

µg/L = ไมโครกรัมต่อลิตร

* เกณฑ์อนุโลมสูงสุด

** ฉบับร่างการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนของประเทศไทย

การวิเคราะห์สารหนูด้วยเทคนิค HG-AAS

การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวมในสิ่งแวดล้อม ซึ่งมักพบในปริมาณน้อย ระดับไมโครกรัมต่อลิตร จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่มีความไวในการวิเคราะห์สูง หรือสามารถวิเคราะห์ค่าได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยเทคนิค HG-AAS (Hydride Generation Atomic Absorption Spectrophotometer) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไป มีขั้นตอนการใช้งานและการดูแลรักษาที่ง่าย ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำ และสามารถวิเคราะห์ได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยเฉพาะเทคนิค HG-AFS (Hydride Generation Atomic Fluorescence Spectrophotometer) ที่สามารถวิเคราะห์ได้ระดับต่ำกว่านาโนกรัมต่อลิตร (Hung et al., 2004; Akter et al., 2005; Correia et al., 2010)

เทคนิค HG-AAS และ HG-AFS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เทคนิคแยกสารหนู (Separation Techniques) ที่มีประสิทธิภาพสูง และระบบตรวจวัด (Detector System) ซึ่งเป็นเทคนิคที่อาศัยคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารหนูที่มีความจำเพาะ คือ สามารถวิเคราะห์สารหนูได้เฉพาะรูปที่เปลี่ยนเป็นสารประกอบของไฮไดรด์ได้ โดยเฉพาะรูปอาร์ซีนี (As^{3+}) โดยที่สารหนูไฮไดรด์เกิดจากการทำปฏิกิริยากับโซเดียมโบโรไฮไดรด์และกรดไฮโดรคลอริก ดังนั้นการวิเคราะห์สารหนูรวมจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสารประกอบของสารหนูทุกรูปให้อยู่ในรูปอาร์ซีนี (As^{3+}) ก่อน โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เป็นตัวรีดิวซ์ จึงมีงานการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์สารหนูเพื่อพัฒนาให้ได้ค่าสารหนูรวมที่มีความเที่ยงและความแม่นยำมากที่สุด

Coelho et al. (2002) ทำการวิเคราะห์สารหนูอาร์ซีนี (As^{3+}) และสารหนูอนินทรีย์รวม (Total Inorganic Arsenic) ในรูปแก๊สไฮไดรด์ โดยใช้เทคนิค Flow Injection Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry (FI-HGAAS) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ จากแม่น้ำ Uberabinha ประเทศบราซิล 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดโพลีเอทิลีน และเก็บรักษาในสถานะที่เป็นกรด ($\text{pH} < 2$) ด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 ไมโครลิตร สำหรับกระบวนการวิเคราะห์อาร์ซีนี (As^{3+}) จะใช้สารละลาย reducing agent 0.1% (w/v) NaBH_4 โดยที่ As^{5+} ในสารละลายตัวอย่างจะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นรูปไฮไดรด์ ขณะที่ 3.0% (w/v) NaBH_4 จะถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์รวม ซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนรูปทั้ง As^{3+} และ As^{5+} เป็นรูปไฮไดรด์

Correia et al. (2010) ได้ทำการวิเคราะห์สารหนูรวมในตัวอย่างน้ำทะเล ด้วยเทคนิค Hydride Generation Atomic Fluorescence Spectrometry (HG-AFS) ทำการศึกษาและประเมินผล

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างให้ได้สภาวะเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์รูปสารหนูรวมนั้น สารละลายตัวอย่างจะถูกเติม potassium iodide (KI) และ ascorbic acid ที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 1% KI, 0.2% ascorbic acid และ 3.5 M (mol/L) HCL แล้วทำการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 2.0, 3.5 และ 5.0 M พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 3.5 M ถูกเลือกมาใช้ทดสอบในขั้นตอน Pre-reduction ต่อไป โดยทำการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่ 0.7, 1.5 และ 3.0% (w/v) NaBH_4 ใน 0.4% (w/v) NaOH พบว่าที่ 3.0% (w/v) NaBH_4 ให้ค่าการวิเคราะห์ดีที่สุด และประสิทธิภาพของเทคนิค HG AFS นี้ สามารถวิเคราะห์ได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (Limit of Detection; LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถรายงานผลได้เชิงปริมาณ (Limit of Quantification; LOQ) เท่ากับ 36 และ 120 นาโนกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ในช่วง 0.12-6.0 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (R^2) เป็น 0.9995

Stanic et al. (2009) ทำการศึกษาผลที่อาจเกิดและความเป็นไปได้จากการใช้ L-ascorbic acid เป็น reductant เพื่อให้เกิดรูปไฮไดรด์ของสารหนู ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HG-AAS โดยพบว่าที่ 5 M HCl และที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ KI ตั้งแต่ 0.5% KI ขึ้นไป สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ค่าการดูดกลืนแสงของอาร์ซีนี (As³⁺) และอาร์ซีนเท (As⁵⁺) สูงขึ้นและใกล้เคียงกัน ทั้งที่มีการเติมและไม่เติมสารละลาย L-ascorbic acid ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.5% (w/v) L-ascorbic acid นอกจากนี้แล้วยังศึกษาผลระดับความเข้มข้นของ NaBH_4 ร่วมกับกรด HCl พบว่าที่ 0.4% NaBH_4 กับ 5 M HCl มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

Antheminis et al. (2005) ทำการศึกษารัสซีน (As³⁺) และสารหนูอนินทรีย์รวม (iAsT) ในน้ำตัวอย่าง ในรูปไฮไดรด์ ด้วยเทคนิค HG-AAS โดยการวิเคราะห์รัสซีนจะใช้ 0.5% m/v NaBH_4 และ 1.5 M HCl ขณะที่การวิเคราะห์ As³⁺ ใช้ 3.0% m/v NaBH_4 และ 9 M HCl ซึ่งได้จากการทดสอบการวิเคราะห์สารมาตรฐานอาร์ซีนเท (As⁵⁺) แล้ว พบว่าสามารถเปลี่ยนรูปเป็นไฮไดรด์ได้ดี โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงของการวิเคราะห์เท่ากับค่าที่ได้จากสารมาตรฐาน As³⁺ ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน จึงใช้ในการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์รวม โดยได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์จาก Certified Reference Material NIST CRM 1643d ได้ค่า % Recovery

เท่ากับ 96% (53.79 ± 2.43 ไมโครกรัมต่อลิตร, $n=5$) และการทดสอบด้วยเทคนิค spiked sample โดยการเติมสารละลาย As^{3+} และ As^{5+} ที่รู้ความเข้มข้น ได้ค่า % Recovery อยู่ในช่วง 97–101%

Sigrist and Beldomenico (2004) ทำการศึกษาการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์รวม (iAsT) ด้วยเทคนิค FI-HGAAS ในตัวอย่างน้ำใต้ดิน ซึ่งเก็บรักษาให้อยู่ในสถานะที่เป็นกรดด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริก และทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของ $NaBH_4$ พบว่าที่ 0.035% และ 0.2% (m/v) $NaBH_4$ เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ As^{3+} และ iAsT ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ iAsT ในสารละลายตัวอย่างปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร และ 5% potassium iodide ใน 5% ascorbic acid 1 มิลลิลิตร ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.5% KI, 0.5% ascorbic acid และ 30% HCl

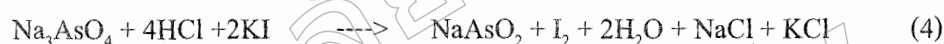
Willam and Nobbins (1982) ศึกษาการวิเคราะห์สารหนู โดยเทคนิค Hydride Generation พบว่าสารหนูอาร์ซีนี (As^{3+}) จะเปลี่ยนรูปเป็นไฮไดรด์หรือแก๊สอาร์ซีนีได้ดี ที่ 1% KI นอกจากนี้การวิเคราะห์จะทำได้ดีในสถานะกรด 20% HCl ทำให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้นและค่าการรบกวนจาก background ต่ำ ในขณะที่การใช้กรดไนตริก (HNO_3) อาจทำให้เกิดการตกตะกอนของ KI และการเกิดปฏิกิริยาได้น้อยลง

Munoz et al. (1999) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ด้วยเครื่อง HG-AAS โดยใช้สารละลายเปลี่ยนรูปสารหนู KI ร่วมกับ ascorbic acid โดยใช้สารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใน 50% (v/v) HCl เติม 5% (m/v) KI ใน 5% (m/v) ascorbic acid 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้น 30 นาที ทำการกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร โดยความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายเปลี่ยนรูป สำหรับการวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์รวมที่ใช้ คือ 1% KI กับ 1% (m/v) ascorbic acid ซึ่งในการทดสอบเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% Recovery) ของเทคนิคการวิเคราะห์อยู่ที่ 96-99%

การวิเคราะห์สารหนูสามารถทำได้ ด้วยเทคนิค Hydride Generation Atomic Absorption Spectrophotometry (HG-AAS) และ Hydride Generation Atomic Fluorescence Spectrophotometry (HG-AFS) ซึ่งสารละลายที่เติมลงในตัวอย่างและสารละลาย $NaBH_4$ (Reducing Agent) ในสถานะที่เป็นกรดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารหนู เป็นแก๊ส หรือสารหนูรูปไฮไดรด์ (AsH_3) ดังสมการ (1) และ (2) ซึ่งจะถูกระบุเป็นปริมาณสารหนูต่อไป



สำหรับสารหนูรูปอาร์ซีนไนท์ (มีอิเล็กตรอนวงนอกเป็น 3; As^{3+}) สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นแก๊สได้ดีกว่ารูปอาร์ซีนเทท (มีอิเล็กตรอนวงนอกเป็น 5; As^{5+}) ถึง 40% ดังนั้นการวิเคราะห์สารหนูรวมจึงต้องเปลี่ยนสารประกอบสารหนูทุกรูปให้เป็นรูปอาร์ซีนไนท์ (As^{3+}) ก่อนด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ดังสมการ (3) และ (4) แล้วจึงทำการวิเคราะห์



ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวมเพื่อทำให้เกิดเป็นไฮไดรด์ (AsH_3) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ สามารถทำได้ตามวิธีการจากคู่มือแนะนำการวิเคราะห์สารหนู ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ของ Varian รุ่น SpectrAA 55B และเครื่อง Atomic Fluorescence Spectrophotometer ของ PS Analytical รุ่น 10.055 Millennium Excalibur system (P S Analytical Ltd., 1997) ซึ่งทำการเติม KI ในสารละลายตัวอย่างในสภาวะกรด ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 1% KI และ 3 M HCl เช่นเดียวกับการศึกษาของ Correia et al. (2010), Willam and Nobbins (1982) และ Munoz et al. (1999) ที่วิเคราะห์ปริมาณสารหนูรวมใน condition ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 1% KI นอกจากนี้ Stanic et al. (2009) ยังกล่าวว่าที่ระดับความเข้มข้นของ KI ตั้งแต่ 0.5% ขึ้นไปทำให้เกิดปฏิกิริยาในการวิเคราะห์สารหนูรูปอาร์ซีนไนท์ (As^{3+}) และอาร์ซีนเทท (As^{5+}) ได้ดี ทั้งที่เติมและไม่เติม L-ascorbic acid

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับบริเวณนิคม ฯ มาบตาพุด จังหวัดระยอง

จากการสำรวจจำนวนประชากรจังหวัดระยอง ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2553) พบว่า ปี 2552 มีประชากร 612,095 คน (ธันวาคม 2552) ประชากรแฝงจำนวน 455,138 คน คิดเป็นร้อยละ 74.4 ของประชากรตามทะเบียนราษฎร ดังนั้นมีประชากรที่อาศัยอยู่ในจังหวัดระยองทั้งสิ้น 1,067,233 คน เมื่อเปรียบเทียบ พบว่า ผู้ประกันตนที่ไม่ได้ย้ายทะเบียนราษฎรมีจำนวนถึง 253,414 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 23.7 ของประชากรแฝงทั้ง

อุตสาหกรรมไปนอกเขตพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดในแผน โดยโรงงานขอซื้อที่ดินจากชาวบ้านและ
 ขอมวนกเข้ากับนิคม ฯ ทำให้เกิดปัญหาการใช้พื้นที่ตามผังเมือง มีการใช้พื้นที่รองรับอุตสาหกรรม
 เพิ่มมากขึ้น ไม่มีพื้นที่กันชน (Buffer Zone) ระหว่างพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน จึงมีโอกาส
 เกิดผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงได้มากขึ้น นับตั้งแต่ในปี 2536 เป็นต้นมา เริ่มเกิดการ
 ร้องเรียนโดยประชาชนที่อาศัยอยู่รอบพื้นที่นิคม ฯ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากมลพิษสิ่งแวดล้อม
 เป็นระยะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) และปัจจุบันพื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด ได้ถูกกำหนดให้เป็นเขต
 ควบคุมมลพิษประกอบด้วย 5 นิคม ฯ คือ นิคม ฯ มาบตาพุด, นิคม ฯ เหมราชตะวันออก
 (อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และเคมีภัณฑ์), นิคม ฯ เอเชีย (อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและซิลิโคน), นิคม ฯ
 อาร์ ไอ เอส และนิคม ฯ ผาแดง (อุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติก) และท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด
 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554; กรมโรงงานอุตสาหกรรม,
 2550)

การปนเปื้อนสารหนูในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด

การปนเปื้อนสารหนูในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด อาจมาจากขยะ ของเสียจากชุมชน กาก
 ของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงาน และรวมถึง
 กระบวนการต่าง ๆ ของโรงงาน เช่น ควนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ โรงงานถลุงเหล็ก การทำ
 แบตเตอรี่และหลอมตะกั่ว การใช้แร่หรือทรัพยากรธรรมชาติในการอุตสาหกรรม การปิโตรเลียม
 โรงกลั่นน้ำมันดิบ โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้
 วัตถุดิบในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจมีสารหนูเป็นส่วนประกอบอยู่ และสามารถส่งผลกระทบต่อ
 สิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตได้ เช่น กรณีการศึกษาบริเวณปากแม่น้ำ Ra of Huelva ประเทศสเปน ที่
 ได้รับอิทธิพลจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม Huelva Industrial Estate พบว่ามีการปล่อยสาร
 หนูออกมา 228 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง (Lopez et al., 2011) และ Stigter et al.
 (2000) ศึกษาโลหะหนักปริมาณน้อย (Trace Heavy Metal Elements) ในอากาศซึ่งได้รับมลพิษ จาก
 ฝุ่นควันที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำมัน การกลั่นน้ำมันและการเผาไหม้
 ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่ามีสารหนู เป็นธาตุหนึ่ง
 พบเด่น ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลังการเผาไหม้ โดยพบว่าในน้ำมันดิบที่ทำการศึกษามี

ค่าเฉลี่ย 13.7 ไมโครกรัมต่อกรัม (อยู่ในช่วง 10–37 ไมโครกรัมต่อกรัม) และกรณีโรงไฟฟ้าถ่านหิน เมือง Guizhou ประเทศจีน พบว่าฝุ่นควันและไอเสียจากกิจกรรมของโรงงาน เป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนของสารหนูรวมในอาหาร (50–80%), อากาศ (10–20%), น้ำ (1–5%), และที่ผิวหนัง คนงานทำเหมืองถ่านหิน ซึ่งรับสัมผัสโดยตรง (1%) (Lui et al., 2002; Kunli et al., 2004)

กรมควบคุมมลพิษ (2551 อ้างถึงใน กรมควบคุมโรค, 2552) พบว่าบางสถานีเก็บตัวอย่าง ในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด พบว่ามีค่าโลหะหนักบางชนิดเกินเกณฑ์มาตรฐานในแหล่งน้ำที่ได้มีการ กำหนดไว้ (คุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน น้ำบาดาล และบ่อน้ำใต้ดินระดับต้น) ได้แก่ สังกะสี แมงกานีส และสารหนู โดยเกณฑ์มาตรฐานในน้ำทิ้งทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ที่กำหนดไว้ ตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (2539) สำหรับสารหนูกำหนดไว้ที่ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรมควบคุมมลพิษ (2553) กล่าวว่าสารหนู (As) เป็นธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญ ที่ถูกพบปนเปื้อน ในพื้นที่มาบตาพุด และจากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมพื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด ของ กรมควบคุมมลพิษ (2555) พบปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดิน จากบ่อน้ำตื้น ในปี 2551-2554 มีค่าเฉลี่ย 23.1 (n=146), 15.1 (n=95), 10.9 (n=137) และ 12.5 (n=135) ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และบ่อน้ำบาดาลในปี 2551, 2552, 2553 และ 2554 มีค่าเฉลี่ย 15.2 (n=77), 31.9 (n=62), 42.2 (n=73) และ 16.0 (n=38) ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน กำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (2543) แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค ตามประกาศ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2551) ที่ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบว่า ปริมาณที่พบมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2551 ถึง 2553 สำหรับในน้ำผิวดินบางสถานีพบ ค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งบริเวณที่พบเป็นบริเวณที่อยู่ ในเขตควบคุมมลพิษ พื้นที่นิคม ฯ ได้รับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและชุมชน ในขณะที่ปริมาณสาร หนูที่พบน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งหน้านิคม ฯ ทุกสถานี ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่ กำหนดไว้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (2549)

รวดเร็วกับ O_2 และ V_2O_5 บนพื้นที่ผิวของตัวเร่ง (Catalyst Surface) ไปเป็นรูป As_2O_3 ซึ่งขัดขวางกระบวนการผลิตได้

รุ่งฟ้า อินทจักร (2545) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของสารหนู ในบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการและนิคม ฯ มาบตาพุด พบว่ามีปริมาณสารหนูละลายน้ำ ที่ระดับผิวน้ำ ใกล้เคียงกัน ในทั้ง 2 พื้นที่ คือ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 4.2 และ 4.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สารหนูที่ละลายน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารหนูอนินทรีย์ ค่าความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการมีค่าสูงกว่าบริเวณชายฝั่งนิคม ฯ มาบตาพุด มีความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนเท่ากับ 14.2 และ 8.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะของดินตะกอนบริเวณชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการที่เป็นโคลนในขณะที่ชายฝั่งนิคม ฯ มาบตาพุดเป็นโคลนปนทราย ความเข้มข้นของสารหนูในตัวอย่างปลา, หอยแครง และหอยแมลงภู่ จากพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ มีค่าอยู่ในช่วง 13.9-25.2, 12.2-12.3 และ 17.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างปลา, หอยแมลงภู่ และหอยกะพง จากพื้นที่ชายฝั่งนิคม ฯ มาบตาพุดมีค่าอยู่ในช่วง 5.7-19.6, 10.4-18.6 และ 18.3-25.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งกล่าวว่าเป็นช่วงความเข้มข้นที่พบในอาหารทะเลโดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในอาหารทะเล โดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 2.0 ไมโครกรัมต่อกรัม และเกินเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์ (Food Standard Australia New Zealand, 2013) ที่กำหนดปริมาณสารหนูแบบอนินทรีย์ไว้ ในปลาและสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง เช่น กุ้ง ปู มีค่าได้ไม่เกิน 2.0 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนในสาหร่ายทะเลและสัตว์จำพวกหอยและปลาหมึก มีค่าได้ไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อกรัม

ปิยวัฒน์ สายพันธุ์ และสุเทพ เรืองวิเศษ (2552) ทำการศึกษาการประเมินการได้รับสารหนูทั้งหมดจากอาหารที่บริโภคในแต่ละวันของประชากรที่อยู่ในวัยผู้ใหญ่ของอำเภอร่อนพิบูลย์ ผ่านการเก็บตัวอย่างแบบ duplicate portion sampling และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูด้วยเครื่อง AAS จากจำนวนอาหาร 100 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณสารหนูอยู่ระหว่าง 0.49-1.33 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ฯ สำหรับอาหารทะเลที่กำหนดไว้ และสามารถประมาณค่าปริมาณการได้รับสารหนูต่อวันของประชากรในร่อนพิบูลย์ได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 130.72-550.26 ไมโครกรัมต่อ

วัน และมีค่าเฉลี่ยคือ 274.97 ± 74.78 ไมโครกรัมต่อวัน โดยพบว่าเพศชายได้รับสารหนูผ่านทาง การบริโภคอาหารต่อวันในปริมาณที่สูงกว่าเพศหญิง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Kerdthep et al. (2009) ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและสารหนูในอาหารทะเลจากอำเภอเมือง จังหวัดระยอง โดยการสุ่มตัวอย่างมาจากตลาดในระหว่างเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ 2551 และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในอาหารทะเลอยู่ในช่วง $0.009-0.731$ ไมโครกรัมต่อกรัม และมีค่าความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วง $0.401-7.032$ ไมโครกรัมต่อกรัม โดยที่ในหมึกหอม (*Sepioteuthis lessoniana*) เป็นชนิดที่มีค่าสูงที่สุดคือ 7.032 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานฯ อาหารทะเล ที่กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 2.0 ไมโครกรัมต่อกรัม และเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์ (Food Standard Australia New Zealand, 2013) ที่กำหนดปริมาณสารหนูแบบอนินทรีย์ไว้สำหรับในปลา สัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง และสัตว์จำพวกหอยและปลาหมึก

สัจจะ และคณะ (2544) ทำการศึกษาระดับสารหนูในปัสสาวะของชาวบ้าน ตำบล ร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ในเบื้องต้นที่ได้ทำการตรวจปัสสาวะของคนในหมู่ 13 ก่อน ในปี 2542-2543 ได้เก็บตัวอย่างปัสสาวะจาก 539 คน ของประชากรทั้งหมดในหมู่ที่ 13 จำนวน 1,549 คน ตรวจพบค่าเฉลี่ยของสารหนูในปัสสาวะของประชากรเท่ากับสารหนู 83 ไมโครกรัมต่อกรัม ครีอะดีนีน โดยประมาณร้อยละ 60 ของประชากรที่ตรวจ มีค่าสารหนูในปัสสาวะสูงเกินค่าปกติ เมื่อคำนวณโดยใช้มาตรฐานความปลอดภัยของสารเคมีจากการประกอบอุตสาหกรรม American Conference of Government Industrial Hygiene; ACGIH (ถ้าสารหนูเกิน 50 ไมโครกรัมต่อกรัม ครีอะดีนีน ถือว่าสูงเกินปกติ)

วรรณวิมล ภัทรสิริวงศ์ และคณะ (2547) ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำและดินจากพื้นที่ทำการเกษตรและตัวอย่างผลผลิตการเกษตรในอำเภอร่อนพิบูลย์ โดยเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน 2545 ถึงกรกฎาคม 2546 ในตำบลร่อนพิบูลย์ ตำบลควนพัง ตำบลควนชุมและตำบลหินตก พบว่าในแหล่งน้ำผิวดินมีปริมาณสารหนูอยู่ระหว่าง $<0.26-663$, $<0.26-9.9$, $4.9-326$ และ $<0.26-13.5$ ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับซึ่งบางจุดมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนด ในตัวอย่างดิน (0-15 เซนติเมตร จากผิวดิน) มีค่าอยู่ระหว่าง $4.9-1385$, $0.11-18.2$, $3-283$ และ $2.3-37.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และสำหรับในผลผลิตการเกษตร 3 ชนิด คือ

ขมิ้น หมากร และมะพร้าว จากแหล่งที่พบการปนเปื้อนสูงในตำบลร่อนพิบูลย์ พบว่าสารหนูอินทรีย์ (As^{3+} และ As^{5+}) เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด (14.4–84.5%) ส่วนสารหนูอินทรีย์พบเป็นส่วนน้อย

ธงชัย สุธีรศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ (2551) ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES พบว่ามีอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) อยู่ค่อนข้างสูง (28,945–99,961 และ 6,427–55,568 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ขณะที่ความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนจากคลองบางใหญ่พบสูงกว่าพื้นที่รองรับน้ำทั้งคลองบางใหญ่ เท่ากับ 18–92 (เฉลี่ย 43 ± 23) และ 8–35 (เฉลี่ย 21.9 ± 9) ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในวัสดุธรรมชาติทั่วไป (หินตะกอน) แต่ต่ำกว่าในวัสดุธรรมชาติของภูเก็ต (หินแกรนิต) กล่าวว่าจะมีแหล่งที่มาจากการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในอดีตและสารฆ่าศัตรูพืช และจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นความเข้มข้นของสารหนูกับเหล็กในดินตะกอนจากพื้นที่รองรับน้ำทั้งคลองบางใหญ่พบความสัมพันธ์ในเชิงบวก ($R^2=0.552$, $R=0.743$, $N=12$)

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552) พบปริมาณสารหนูในตัวอย่างดินตะกอนจากพื้นที่บริเวณบ้านดอนกลาง ตำบลชะเอม อำเภอนาทม จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าอยู่ในช่วง 7.6–23.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับบริเวณบ้านหนองขุยและบ้านพุดามัน ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าอยู่ในช่วง 6.3–17.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (2547) ที่กำหนดไว้ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับน้ำใต้ดินจากบ่อบาดาล (ความลึก <30 เมตร) และน้ำใต้ดินจากบ่อบาดาล (ความลึก >30 เมตร)

พรศรี มิ่งขวัญ และคณะ (2556) ทำการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลจากสถานการณ์อุทกภัย ปี 2554 โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินระดับผิวหน้า 5–9 เซนติเมตรจากอ่าวไทยตอนใน ในเดือนกรกฎาคม 2555 พบว่ามีปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 0.09–0.27 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย และกล่าวถึงดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index; I_{geo}) แสดงให้เห็นว่าตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในไม่มีการปนเปื้อนของสารหนู