บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

5.1 ปริมาณสารหนูรวมในน้ำบ่อตื้นและบ่อบาดาล พื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด

ปริมาณสารหนูรวมในน้ำใต้ดิน จากบ่อน้ำตื้นและบ่อบาดาล มีค่าอยู่ในช่วง <0.01–15.15 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ซึ่งหมายความรวมถึงน้ำบาดาล (ตามที่กฎหมายกำหนดว่าด้วยน้ำบาดาล) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2543) ฉบับที่ 20 กำหนดเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ของสารหนู (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) ไว้ที่ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า 3 สถานี (ร้อยละ 27.3) ได้แก่ บ่อน้ำตื้นบริเวณบ้านตากวน1 (สถานี MP5) และบ่อน้ำบาดาลบ้านหนองแฟบ (สถานี MP1 และ MP2) มีค่าความเข้มข้นของสารหนูรวมสูงกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร เล็กน้อย และทุกสถานียังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ของสารหนูระดับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่เกณฑ์ที่เหมาะสม คือ ต้องไม่มีสารหนูปนเปื้อนอยู่ ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2551) โดยตัวอย่างน้ำที่พบค่าสูงส่วนใหญ่เป็นน้ำจากบ่อบาดาล (ความลึกที่เก็บ 20 เมตร; MP1 และ MP2) และสังเกตพบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารหนูรวมในน้ำใต้ดินที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าโดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง Background Concentration ที่สามารถตรวจพบได้ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน อยู่ในช่วง 1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร (Bissen & Frimmel, 2003) และเช่นเดียวกับการศึกษาของ Edmunds et al. (1989 cited in Smedley & Kinniburgh, 2002, p523) กล่าวถึงค่า Baseline UK หรือ Background Concentrations ของสารหนูในน้ำใต้ดินประเทศต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีค่าความเข้มข้น <10 ไมโครกรัมต่อลิตร แม้ว่าในงานวิจัยที่ศึกษาถึงปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินส่วนใหญ่ พบว่ามีค่าในช่วงกว้างตั้งแต่ <0.5 ถึง 5000 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นช่วงที่เกิดขึ้นได้ทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งปริมาณที่พบสูงมักมีผลมาจากสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น เช่น สภาวะ oxidizing และ reducing ของชั้นหินหรือดินที่อุ้มน้ำนั้น และโดยเฉพาะในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนใต้พิภพ (Geothermal) การทำเหมืองและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ในการศึกษาของ Anawar et al. (2002) พบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปริมาณสารหนูในน้ำบ่อบาดาลที่ประชาชนใช้บริโภค ของประเทศบังคลาเทศ มีค่าอยู่ในช่วง 30-750 ไมโครกรัมต่อลิตร และแนวโน้มสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำ โดยความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน จากบ่อน้ำตื้นและบ่อบาดาลบริเวณตำบลมาบตาพุด ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ ทัศนาวลัย เหมสมิติ (2553) ซึ่งเป็นจุดเก็บเดียวกันและทำการออกเก็บตัวอย่างครั้งเดียวกันในปี 2553 โดยศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำใต้ดินพบว่าสถานีที่มีค่าความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุด เป็นน้ำจากบ่อตื้นบริเวณบ้านตากวน สถานี MP7 (มีค่าความเข้มข้นของเหล็ก 27.26 มิลลิกรัมต่อลิตร) น้ำบ่อบาดาล บริเวณบ้านหนองแฟบ สถานี MP2, MP1 และน้ำบ่อตื้นบริเวณบ้านตากวน MP5 มีค่าสูงรองลงมาตามลำดับ (มีค่าความเข้มข้นของเหล็ก 20.43, 15.42 และ 12.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณสารหนูในน้ำบ่อบาดาลที่พบในการศึกษาครั้งนี้ คือ มีค่าค่อนข้างสูงกว่าสถานีอื่น แต่อย่างไรไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) ในน้ำใต้ดิน ของ ทัศนาวลัย เหมสมิติ (2553) กับปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดินจากการศึกษาครั้งนี้

จากการศึกษาครั้งนี้จุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่บริเวณรอบนอกของเขตโรงงานอุตสาหกรรมในนิคม ฯ มาบตาพุด และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชุมชน บ้านเรือน และมีโรงงานอุตสาหกรรมกระจายตัวอยู่ จากรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ (2555) พบปริมาณสารหนูในบ่อน้ำตื้นและน้ำบาดาล ในช่วงปี 2554 มีค่าเฉลี่ย 12.5 (ช่วง 10-120 ไมโครกรัมต่อลิตร, N=135) และ 16 ไมโครกรัมต่อลิตร (ช่วง 5-130 ไมโครกรัมต่อลิตร, N=38) ตามลำดับ ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน และพบสูงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2551 เป็นต้นมา และกล่าวว่าคุณภาพน้ำใต้ดินในเขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง ยังมีแนวโน้มคงที่ คือ มีปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักชนิดที่เป็นแร่ธาตุ ซึ่งมีอยู่ในดินตามธรรมชาติ จึงมีโอกาสปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน (จากบ่อน้ำตื้น น้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์) เนื่องจากมีชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดินในพื้นที่ตั้งอยู่ในแนวรอยเลื่อน ทำให้มีโลหะหนักตามธรรมชาติถูกชะละลายออกมาเป็นจำนวนมากได้ และน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้พบปริมาณสารหนูในน้ำใต้ดิน น้ำบ่อตื้นและบ่อบาดาลมีค่าค่อนข้างสูงในบางสถานี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.2 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในน้ำและดินตะกอนจากลำคลอง

5.2.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดิน

จากการศึกษาปริมาณสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดิน จากลำคลองต่าง ๆ ในพื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด จังหวัดระยอง มีค่าอยู่ในช่วง 2.31-72.06 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.90±15.73 ไมโครกรัมต่อลิตร มีจำนวน 12 สถานี หรือร้อยละ 32.4 มีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537) โดยสถานีที่มีค่าสูงที่สุด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ถึง 7 เท่า ได้แก่สถานีที่อยู่ในกลุ่มคลองห้วยใหญ่ สถานี HYC2 และ HYC3 โดยภาพรวมจึงมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่าคลองอื่น ๆ ในขณะที่มีเพียงน้ำผิวดินคลองทับมาที่มีปริมาณสารหนูรวมต่ำที่สุดและยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ทั้งหมด พื้นที่ใกล้เคียงส่วนใหญ่เป็นสวนผลไม้ ไร่ยางพาราและสับปะรด มีบ้านเรือนชุมชนกระจายตัวอยู่สองฝั่งคลอง อยู่ห่างจากเขตนิคม ฯ มาบตาพุดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มคลองอื่น จึงเป็นไปได้ว่าบริเวณกลุ่มคลองทับมายังไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตนิคม ฯ ที่อาจเป็นแหล่งที่มาปริมาณสารหนูในมวลน้ำ ส่วนกลุ่มคลองชากหมากซึ่งไหลผ่านโรงงานอุตสาหกรรมในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด โดยส่วนใหญ่ (4 สถานี; ร้อยละ 66.7) มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ฯ เล็กน้อย โดยเฉลี่ยมีค่าความเข้มข้นของสารหนูรวมในน้ำใกล้เคียงกับที่พบในกลุ่มคลองพะยูน ที่อยู่บริเวณรอบนอกของพื้นที่เขตนิคม ฯ มาบตาพุด พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชุมชน ไร่สับปะรด ไร่มันสำปะหลังและโรงงานอุตสาหกรรมที่กระจายตัวอยู่ สถานีที่พบปริมาณสารหนูสูงที่สุดอยู่ถัดลงมาจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ที่โดยทั่วไปจะมีการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก ส่วนใหญ่ใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำบาดาล (กรีนสยาม มาร์เก็ตติ้ง, 2556) ดังนั้นหากมีการนำน้ำจากแหล่งน้ำที่มีปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูมาใช้ในกิจกรรม โดยเฉพาะจากแหล่งน้ำใต้ดินที่อาจมีการปนเปื้อนสารหนูสูง จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น อาจเป็นที่มาของปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินที่รับน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังบริเวณนี้ได้

จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2555) พบว่าความเข้มข้นของสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดิน ในเขตควบคุมมลพิษ บริเวณนิคม ฯ มาบตาพุด (ระยอง) มีค่าอยู่ในช่วง 1.4-53.3 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ และพบว่ามีค่าค่อนข้างสูงกว่าเมื่อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปรียบเทียบกับการศึกษาของ Mapila et al. (2006) ที่พบปริมาณสารหนูรวมในแหล่งน้ำจืด Okavango Delta, NW Botswana มีค่าอยู่ในช่วง 1.1–3.1 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.7 ไมโครกรัมต่อลิตร และบางสถานีมีสูงเกินค่าเฉลี่ยทั่วโลก (Global Average) สำหรับปริมาณสารหนูรวมในลำน้ำ (Stream Water) ที่ 1.7 ไมโครกรัมต่อลิตร และ Matschullat (2000) กล่าวว่าค่าความเข้มข้นของสารหนูละลายน้ำ จากลำน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อน โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 0.1–1.7 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับ Wang and Mulligan (2005) พบว่าความเข้มข้นของสารหนูในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในแหล่งน้ำประเทศแคนาดา โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 1–2 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ โดยส่วนใหญ่ที่พบในน้ำผิวดิน มีค่าไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (Bissen & Frimmel, 2003; Mandal & Suzuki, 2002) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีจำนวน 24 สถานี หรือคิดเป็นร้อยละ 65 ที่พบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่พบทั่วไป (ต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร) นอกจากนี้ Matschullat (2000) กล่าวว่าค่าความเข้มข้นของสารหนูในแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีการศึกษาถึง มักมีค่าอยู่ในช่วงกว้าง และมีความแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม และค่า Background Concentration ของสารหนูบริเวณนั้น ๆ (Mandal & Suzuki, 2002)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูรวมในน้ำผิวดินจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าโดยภาพรวมมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของ Zheng et al. (2003) ที่พบค่าความเข้มข้นของสารหนูในแม่น้ำ Moira ประเทศแคนาดา มีค่าอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 2–140 ไมโครกรัมต่อลิตร และแหล่งน้ำผิวดินจากบริเวณต่าง ๆ ในเมือง Quebec ที่มีจำนวน 523 ชุมชน มีระดับความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในช่วง 1.0–25.0 ไมโครกรัมต่อลิตร (เฉลี่ย 1.6 ไมโครกรัมต่อลิตร) โดยส่วนใหญ่มากกว่า 99% ของตัวอย่างที่ศึกษา มีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (Ministère de l' Environment du Québec, 2003 อ้างใน Health Canada, 2006) ซึ่งเป็นไปได้ว่ากิจกรรมจากบ้านเรือนและชุมชน น่าจะมีผลต่อการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำผิวดินค่อนข้างน้อย ขณะที่การศึกษาของ Arana et al. (2003) พบปริมาณสารหนูและธาตุโลหะหนักอื่น ๆ ในแหล่งน้ำ บริเวณแม่น้ำ Rio Grand (เป็นพรมแดนระหว่างเม็กซิโกกับสหรัฐอเมริกา) ที่ได้รับน้ำจากโรงบำบัดน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรม โรงหลอมโลหะ และชุมชน พบปริมาณสารหนูในน้ำมีค่าอยู่ในช่วง <4-22 ไมโครกรัมต่อลิตร และบริเวณเดียวกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในการศึกษาของ Peralta et al. (1993 cited in Arana et al., 2003) พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณสารหนูในน้ำผิวดินในการศึกษานี้ เล็กน้อย

โดยภาพรวมจากการศึกษาครั้งนี้พบปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดียวกันหรือมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบกับการศึกษาจากบริเวณที่มีกิจกรรมของมนุษย์ชุมชนและอุตสาหกรรม แต่มีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่พบโดยทั่วไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยสถานีที่พบค่าสูงมักอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรมในเขตนิคม ฯ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงไฟฟ้า หรือได้รับน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสีย น้ำหล่อเย็นของโรงงานและน้ำทิ้งของเทศบาลชุมชน ที่ปล่อยลงสู่ลำคลอง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของการปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินครั้งนี้ น่าจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่เป็นส่วนใหญ่ แม้ว่ารูปแบบการกระจายตัวของปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำไม่มีความชัดเจนนัก ทำให้ไม่สามารถบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดที่แน่นอนได้ว่ามาจากกิจกรรมใด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและกิจกรรมต่าง ๆ จากมนุษย์ที่หลากหลายประกอบกัน ซึ่งสามารถส่งผลต่อการละลายอยู่ในมวลน้ำ การเจือจาง การถูกพัดพา หรือสะสมในดินตะกอนท้องน้ำบริเวณต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมในพื้นที่มีผลให้เกิดการมีอยู่ของสารหนูในมวลน้ำ โดยเฉพาะบางบริเวณมีค่าสูง จึงควรมีการศึกษาติดตามระดับการสะสม เพื่อเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่อย่างใกล้ชิดมากขึ้น

5.2.2 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในดินตะกอน จากลำคลอง

ความเข้มข้นของสารหนูรวมในดินตะกอน (ขนาด <125 ไมโครเมตร) จากลำคลองมีค่าอยู่ในช่วง 3.21-48.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.86±13.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับร่างเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอน (ในแหล่งน้ำผิวดิน) จากสารอันตราย (Sediment Quality Guideline: SQGs) ระดับ TEC (Threshold Effects Concentrations) สำหรับประเทศไทย ที่กำหนด ค่าความเข้มข้นของสารหนูไว้ ที่ไม่เกิน 9.79 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) พบว่ามีทั้งหมด 27 สถานี หรือคิดเป็นร้อยละ 72.97 ของตัวอย่างดินตะกอนจากลำคลอง ที่มีค่าสูงเกินร่างเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ที่กำหนด เป็นสถานีในกลุ่มคลองห้วยใหญ่ 10 สถานี คลองชากหมาก 6 สถานี คลองพะยูน 5 สถานีและคลองทับมา 6 สถานี เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นของสารหนูรวมในดินที่ใช้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมไว้ที่ 3.9 ไมโครกรัมต่อกรัม พบว่า สถานีที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุด จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าถึง 12 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นของสารหนูรวมในดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมกำหนดค่าความเข้มข้นไว้ที่ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (หรือไมโครกรัมต่อกรัม) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (2547) พบว่า สถานีที่มีค่าความเข้มข้นสารหนูรวมในดินตะกอนสูงสุด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ฯ 1.8 เท่า

จากการศึกษาของ Mandal and Suzuki (2002) กล่าวว่าระดับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในดินตะกอน โดยทั่วไปมีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้มีมากถึง 26 สถานี หรือร้อยละ 70.3 ที่มีค่าสูงเกินระดับที่พบทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาครั้งนี้กับ Mapila et al. (2006) ที่พบว่ามีปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอน จากแหล่งน้ำจืด Okavango Delta, NW Botswana มีค่าอยู่ในช่วง 0.2–7.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดินตะกอนโดยส่วนใหญ่เป็นทรายละเอียดถึงขนาดปานกลาง (Medium Grain) และค่าความเข้มข้นสารหนูรวมที่พบในหินทรายหรือทรายหยาบมีค่า เฉลี่ย 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Onishi, 1969 cited in Mapila at al., 2006) ซึ่งค่อนข้างต่ำกว่าปริมาณที่พบในดินตะกอนลำคลอง ในการศึกษานี้ แต่อยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของ Barringer et al. (2010) พบดินตะกอนท้องน้ำจากลำน้ำ (Stream Water) บริเวณที่ราบชายฝั่ง ระหว่าง Crosswicks และ Raccoon Creeks ซึ่งมีสินแร่กลุ่มซัลไฟด์ (Glauconitic) อยู่ พบปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 15–25 ไมโครกรัมต่อกรัม

โดยภาพรวมปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอนจากลำคลอง บริเวณพื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด ค่อนข้างแปรปรวน อาจเนื่องมาจากมีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอนได้ ทั้งความแตกต่างของลักษณะดินตะกอน แหล่งที่มาของสารหนู กิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ คุณสมบัติด้านธรณีเคมี การมีอยู่ของแร่ธาตุต่าง ๆ รวมถึงกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินตะกอน สภาวะแวดล้อม (Conditions) ในแหล่งน้ำ ที่น่าจะมีผลต่อการสะสมในดินตะกอนท้องน้ำหรือเกิดการละลายกลับสู่มวลน้ำได้ (Accumulation and Remobilization) ซึ่งเป็นขบวนการที่มีสำคัญมากต่อโอกาสที่สิ่งมีชีวิตจะได้รับเข้าสู่ร่างกาย (Bioavailability) (Bryan & Langston, 1992) ดังนั้นการตรวจติดตามปริมาณสารหนูในพื้นที่ และการศึกษาค่า Background Concentration ของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารหนูในพื้นที่ ควรได้รับความสนใจมากขึ้น เพื่อสามารถระบุได้ชัดเจนว่าปริมาณสารหนูที่พบมีแหล่งที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์หรือเป็นธาตุที่มีอยู่เดิมในหิน ดินตะกอนตามธรรมชาติ และสามารถช่วยเป็นแนวทางในการเฝ้าระวัง ป้องกัน หรือแก้ปัญหาการปนเปื้อนที่อาจเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตต่อไป เพื่อมิให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำในพื้นที่ได้รับอันตราย ซึ่งสุดท้ายอาจสะสมจนสูงเกินระดับความปลอดภัยในการบริโภคได้

5.2.3 การแพร่กระจายและความเป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดของสารหนูรวม ในน้ำและดินตะกอน จากลำคลอง

ลักษณะการกระจายตัวของของสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดินและดินตะกอนจากลำคลองต่าง ๆ ในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด ค่อนข้างมีความแปรปรวน โดยส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์กันในทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้นกลุ่มคลองชากหมาก

1. กลุ่มคลองทับมา พบปริมาณสารหนูในมวลน้ำมีค่าต่ำ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ทุกสถานี ขณะที่ดินตะกอนในบางสถานีมีค่าค่อนข้างสูง แต่โดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่ากลุ่มคลองอื่น พื้นที่โดยส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ พืชพรรณ บางจุดได้รับน้ำทิ้งบ้านเรือนชุมชน ไร่ สวนยางพาราและโรงงานอุตสาหกรรมนิคมพัฒนา ที่กระจายตัวอยู่บริเวณใกล้เคียง ดินตะกอนส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรายหยาบ มีค่า % Ignition loss หรือปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนค่อนข้างต่ำ โดยสถานีที่พบค่า % Ignition loss สูง และมีการสะสมของสารหนูในดินตะกอนสูง ได้แก่ สถานี KNK1 และ KLK2 แต่โดยภาพรวมทั้งกลุ่มคลองพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันในทางสถิติ ในบางสถานี เช่น KTM3 พบปริมาณสารอินทรีย์ต่ำแต่ปริมาณสารหนูในดินตะกอนสูง จึงอาจเป็นไปได้ว่ามีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอนมากกว่าปริมาณสารอินทรีย์ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาการกระจายและการสะสมตัวของโลหะหนักในดินตะกอน พื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุด ของ สุวรรณา ภาณุตระกูล (2555) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างครั้งเดียวกัน ในปี 2553 (เป็นจุดเก็บตัวอย่างเดียวกัน) จากข้อมูลความเข้มข้นของเหล็กในดินตะกอน พบว่ามีความสอดคล้องกับปริมาณสารหนูในดินตะกอนของการศึกษาครั้งนี้ (ค่า Pearson Correlation=0.847, Sig.=0.001, R^2=0.717) โดยเฉพาะสถานี KNK1 KLK2 และ KTM3 พบว่าความเข้มข้นของเหล็กสูง (มากกว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

20 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และปริมาณสารหนูในดินตะกอนสูง (มากกว่า 30 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) เช่นกัน

2. กลุ่มคลองพะยูน โดยภาพรวมสถานีที่อยู่บริเวณต้นลำคลองมีค่าความเข้มข้นของสารหนูสูงทั้งในน้ำและดินตะกอน ยกเว้นสถานี KNT1 ที่อยู่บริเวณปลายลำคลองก่อนออกสู่ทะเล พบว่ามีปริมาณสารหนูรวมในน้ำต่ำที่สุด แต่มีปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอนและค่า % Ignition loss สูงที่สุดในกลุ่มคลอง (48.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 11.06 % ตามลำดับ) ลักษณะดินตะกอนเป็นสีน้ำตาลดำและมีซากพืชค่อนข้างมาก ขณะเก็บตัวอย่างดินสังเกตได้ว่ามีฟองอากาศผุดขึ้นมาและมีลักษณะเป็นคราบคล้ายสนิมเหล็กบริเวณผิวหน้าน้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ขึ้นปกคลุม น้ำค่อนข้างใสและนิ่ง แต่อาจได้รับสารอินทรีย์และความสกปรกจากบ้านเรือนริมคลองใกล้เคียง และโรงงานอุตสาหกรรมที่กระจายตัวอยู่ด้านเหนือลำคลองขึ้นไป เช่น สถานีต้นลำคลอง PYC3 พบปริมาณสารอินทรีย์สูง (10.81%) มีปริมาณสารหนูในน้ำและดินตะกอนสูง พื้นที่ใกล้เคียงมีโรงงานเกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งคาดการณ์ว่าน่าจะเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสารหนูบริเวณนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกับการศึกษาของไพฑูรย์ มงกงไผ่ (2541) ที่พบว่าปริมาณสารหนูในดินตะกอนสูง (ช่วง 13 – 41.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมีกิจกรรมเกี่ยวกับการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ที่อาจฟุ้งในอากาศและตกลงสู่แหล่งน้ำได้ และสถานี BBC1 ที่รับน้ำจากสถานี BBC2 (ที่มีปริมาณสารหนูในน้ำสูงเกินมาตรฐาน ฯ เล็กน้อย) แม้ตัวอย่างดินตะกอนจะมีลักษณะเป็นทรายหยาบ แต่กลับพบว่ามีค่า % Ignition loss ค่อนข้างสูง (7.4%) และพบว่ามีปริมาณสารหนูในดินตะกอนสูงอีกด้วย ทั้ง 2 สถานี ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณสารหนูในสถานี BBC1 น่าจะมีแหล่งที่มาจากบริเวณสถานี BBC2 พื้นที่ใกล้เคียงเป็นโรงปู๋ย และข้อมูลการรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ (2555) กล่าวว่าสถานี BBC2 พื้นที่คลองด้านบนตั้งอยู่ในพื้นที่นิคม ฯ เหมราชตะวันออก (มาบตาพุด) น้ำค่อนข้างขุ่นและไหลค่อย บริเวณทั้งสองฝั่งคลองเป็นโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่นิคม ฯ ได้รับน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียของทางนิคม ฯ ส่งผลให้น้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นในสถานี BBC1 น้ำขุ่น มีกลิ่นเหม็น ตะกอนหนาแน่น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการสะสมปริมาณสารหนูและสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณนี้ได้ โดยรายงานของ Hartley et al. (2004 cited in Wang et al.,

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2012, p268) กล่าวว่าการมีอยู่ของสารหนูในดินตะกอนที่ส่วนใหญ่เป็นดินทราย จะคงอยู่เพียงระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะภายใต้สภาพความเป็นด่าง (Alkaline Conditions)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์กับการสะสมของสารหนูในดินตะกอนคลองพะยูนไม่พบความสัมพันธ์กันในทางสถิติ และปัจจัยด้านธรณีเคมีของดินตะกอนน่าจะมีอิทธิพลต่อการสะสมสารหนูในดินตะกอนมากกว่าการละลายอยู่ในมวลน้ำ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลกับค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน จาก สุวรรณา ภาณุตระกูล (2555) แล้ว พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน ไม่สอดคล้องกับปริมาณสารหนูในมวลน้ำคลองพะยูน แต่สอดคล้องกับปริมาณสารหนูในดินตะกอน ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส และทองแดง (ค่า Pearson Correlation=0.950, 0.848 และ 0.837, Sig.=0.004, 0.033 และ 0.038, R^2=0.903, 0.718 และ 0.700 ตามลำดับ) โดยเฉพาะสถานี KNT1 ที่พบว่ามีความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส และทองแดงในดินตะกอน สูงที่สุดในกลุ่มคลองเช่นเดียวกัน

3. กลุ่มคลองห้วยใหญ่ โดยเฉลี่ยปริมาณสารหนูรวมในมวลน้ำค่อนข้างสูง เนื่องจากบริเวณกลางลำคลอง สถานี HYC3 และ HYC2 มีปริมาณสารหนูรวมในมวลน้ำสูง (72.07 และ 70.52 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าในลำน้ำตามธรรมชาติที่ 0.1–1.7 ไมโครกรัมต่อลิตร (Matschullat, 2000) ถึง 42 เท่า เป็นจุดที่อยู่ใกล้เขตบ้านเนินพยอม มีแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลมาบตาพุดและอาจมีขยะอุตสาหกรรมตกค้างอยู่ด้วย (ธวัช กล่อมแก้ว, 2547, หน้า 16) ซึ่งอาจเป็นที่มาของปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำบริเวณนี้ได้ แต่ปริมาณสารหนูในดินตะกอนกลับมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าสถานีอื่น (ดินตะกอนมีลักษณะเป็นทรายหยาบและทรายละเอียด มีค่า % Ignition loss ต่ำ) และพบปริมาณสารหนูในน้ำลดต่ำลงเป็น 10 เท่าในสถานีที่อยู่ถัดลงมา HYC1 (6.95 ไมโครกรัมต่อลิตร) แต่พบการสะสมของสารหนูในดินตะกอนมีค่าสูง (ดินตะกอนมีลักษณะเป็นทรายละเอียดสีเทาดำ ค่า % Ignition loss เท่ากับ 8.45%) สุดท้ายแล้วมวลน้ำจากกลุ่มคลองห้วยใหญ่จะไหลลงสู่ทะเลบริเวณคลองตากวนสถานี TKC2 และ TKC1 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารหนูสูงทั้งในมวลน้ำและดินตะกอน และสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินและร่างเกณฑ์มาตรฐานดินตะกอนแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้อีกด้วย (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537; กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อพิจารณาลักษณะดินตะกอนกลุ่มคลองห้วยใหญ่ ส่วนใหญ่เป็นดินละเอียด มีสีน้ำตาลดำ มีซากพืชปน และมีค่า % Ignition loss หรือปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังพบว่ามีอิทธิพลต่อการสะสมสารหนูในดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน ของ สุวรรณา ภาณุตระกูล (2555) พบว่าปริมาณสารหนูในดินตะกอนมีความสอดคล้องกับความเข้มข้นของเหล็กในดินตะกอน (ค่า Pearson Correlation=0.937, Sig.=0.000, R^2=0.878) โดยเฉพาะสถานี LC2 ที่พบว่ามีความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุดในกลุ่มคลอง และสถานี HYC5 ที่อยู่บริเวณต้นคลอง พบความเข้มข้นของเหล็กในดินตะกอนต่ำที่สุด เช่นเดียวกับปริมาณสารหนูในดินตะกอนที่พบในการศึกษาครั้งนี้

4. กลุ่มคลองชากหมาก พบลักษณะการกระจายตัวของสารหนูรวมในดินตะกอนชัดเจนกว่าที่พบในมวลน้ำ และมีความสัมพันธ์กันเชิงลบในทางสถิติ (p<0.05) โดยร้อยละ 67 ของปริมาณสารหนูรวมที่พบในมวลน้ำมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน ฯ เล็กน้อย แต่เป็นสถานีที่มีปริมาณสารหนูในดินตะกอนค่อนข้างต่ำ ขณะที่สถานี CMC5 และ CMC3 มีปริมาณสารหนูในมวลน้ำต่ำแต่ในดินตะกอนมีค่าสูง โดยที่ดินตะกอนกลุ่มคลองชากหมากส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรายหยาบปนทรายละเอียด แต่เหตุที่พบปริมาณสารหนูในดินตะกอน (2 สถานีดังกล่าว) ค่อนข้างสูง และโดยเฉพาะ CMC5 พบปริมาณสารอินทรีย์มีค่าต่ำ แต่กลับมีการสะสมของสารหนูในดินตะกอนสูง จึงคาดการณ์ว่าอาจมีการสะสมอยู่ในรูปของแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติบริเวณนั้น (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554, หน้า 16) และจากรายงานของ Hartley et al. (2004 cited in Wang et al., 2010, p268) กล่าวว่าการมีอยู่ของสารหนูในดินตะกอนที่เป็นดินทราย จะคงอยู่เพียงระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งสถานี CMC5 มีค่า pH ต่ำกว่าสถานีอื่น จึงอาจส่งผลต่อการสะสมตัวในดินได้เพียงระยะเวลาไม่นานหรืออาจมีปัจจัยอื่นประกอบด้วย อย่างไรก็ตาม สังเกตพบว่าปริมาณสารหนูในมวลน้ำและดินตะกอนจากกลางลำคลองลงไป ที่เริ่มไหลผ่านเขตนิคม ฯ มาบตาพุดลงสู่อ่าวประดู่ พบว่ามีค่าค่อนข้างสูงและมีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงเช่นกัน และสอดคล้องกับ กรมควบคุมมลพิษ (2555) พบปริมาณสารหนูในมวลน้ำคลองชากหมากมีค่าเฉลี่ย (เท่ากับ 9.3 ไมโครกรัมต่อลิตร) ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ฯ เล็กน้อย โดยสถานีเหนือปากคลองชากหมากขึ้นไป 700 เมตร และที่บริเวณปากคลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มีปริมาณสารหนูเฉลี่ย (12.9 และ 14.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) เกินเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ถัดลงมาจากบริเวณที่ได้รับน้ำหล่อเย็นและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในนิคม ฯ ดังนั้นอาจบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของปริมาณสารหนูในคลองชากหมากได้ นอกจากนี้ พบว่าบริเวณปากคลองชากหมากก่อนไหลลงสู่อ่าวประดู่ (CMC1) มีปริมาณสารหนูในดินตะกอนลดลง (ลักษณะเป็นดินละเอียด มีซากพืชปน) แต่ในมวลน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของเขตน้ำขึ้น-น้ำลง เกิดความปั่นป่วนของมวลน้ำ โดยสังเกตได้ว่าน้ำมีสีค่อนข้างขุ่น สอดคล้องกับ Arana et al. (2003) พบว่าแม่น้ำ Rio Grand ซึ่งมีความขุ่นของน้ำมากด้วยอิทธิพลจากการไหลของกระแสน้ำที่รุนแรง ทำให้พบการละลายกลับหรือแขวนลอยอยู่ในมวลน้ำ (พบสูงสุด 22 ไมโครกรัมต่อลิตร) มากกว่าการสะสมในดินตะกอนท้องน้ำ (พบสูงสุด 2.32 ไมโครกรัมต่อกรัม)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ในกลุ่มคลองชากหมากพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูทั้งในมวลน้ำและดินตะกอน แต่พบว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน ของ สุวรรณา ภาณุตระกูล (2555) โดยค่าความเข้มข้นของเหล็ก มีลักษณะการกระจายตัวเช่นเดียวกับปริมาณสารหนูทั้งในมวลน้ำ (เชิงลบ) และดินตะกอน (ค่า Pearson Correlation=-0.941 และ 0.995, Sig.=0.005 และ 0.003, R^2=0.886 และ 913 ตามลำดับ) โดยเฉพาะสถานี CMC5 และ CMC3 ที่พบความเข้มข้นของสารหนูและเหล็กในดินตะกอนสูงเช่นเดียวกัน (มากกว่า 30 ไมโครกรัมต่อกรัม และมากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกรัม) หรืออาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของเหล็กมีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอนคลองชากหมาก

โดยภาพรวมจากการศึกษาครั้งนี้ เมื่อพิจารณาปัจจัยควบคุมการสะสมตัวของสารหนูในตัวย่าง จากค่า % Ignition loss หรือปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากลำคลองทุกสถานี พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอน และพบว่าดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นดินละเอียด สีดำ มีซากพืชปนและมีกลิ่นเหม็น มักพบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากสารประกอบอินทรียวัตถุ (Organic Substance) หรือฮิวมัส (Humus) ในดินตะกอนนั้นเหมาะสมต่อการดูดซับของธาตุ โลหะหนักบนอนุภาคดินตะกอน ดังนั้นจึงมักพบการสะสมของสารหนูในดินตะกอน โดยเฉพาะในรูปสารประกอบอินทรีย์ได้ (Chapagain et al., 2007; Wang et al., 2010) จากรายงานของ Saada et al. (2003 cited in Wang et al., 2010)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กล่าวว่าการดูดซับของสารหนูกับกรดฮิวมิกนั้น เกิดขึ้นที่ประจุบวก (ของ amine group) บนอนุภาคอินทรียวัตถุ สอดคล้องกับ Chapagain et al. (2007) ที่ศึกษาดินตะกอนจากบริเวณแม่น้ำ Scheldt ประเทศเบลเยียม ซึ่งรับน้ำทิ้งของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่กระจายตัวอยู่ต้นน้ำ มีความเข้มข้นของสารหนูในช่วงกว้าง 2.3–140.2 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ดินตะกอน (ที่ทุกระดับความลึก 10, 30, 60 และ 90 เซนติเมตร) และเปอร์เซ็นต์การมีอยู่ของโคลน (% Clay Content) มีผลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอน ขณะที่มีเปอร์เซ็นต์การมีอยู่ของทราย (% Sand Content) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) มีผลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอนในเชิงลบ หรือกล่าวได้การแพร่กระจายของสารหนูในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical) ของดินตะกอนบริเวณนั้น และในการศึกษาครั้งนี้สังเกตพบว่า ปริมาณสารหนูดินตะกอนบางสถานี (เมื่อพิจารณาแต่ละกลุ่มคลอง) ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน เนื่องมีปัจจัยควบคุมอื่นที่มีผลต่อการสะสมตัวของสารหนูมากกว่า เช่น การสะสมอยู่ในรูปแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น Fe Mn และ Al ในรูปของ oxide และ hydroxide (Baeyens et al., 2007; Wang et al., 2010) และจากการเปรียบเทียบข้อมูลกับ สุวรรณา ภาณุตระกูล (2555) พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดิน (การศึกษาครั้งนี้) ในขณะที่ความเข้มข้นของทองแดง แมงกานีส และโดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของเหล็ก มีความสอดคล้องกับปริมาณสารหนูในดินตะกอน (ค่า Pearson Correlation=0.348, 0.386 และ 0.881, Sig.=0.035, 0.018 และ 0.000, R^2=0.121, 0.149 และ 0.776 ตามลำดับ) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ ธงชัย สุธีรศักดิ์ และไตรภพ ผ่องสุวรรณ (2551) พบว่าปริมาณสารหนูในดินตะกอนบริเวณแหล่งรองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ตมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในดินตะกอน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าทองแดง แมงกานีส และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กในดินตะกอน มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอน จากลำคลองบริเวณนิคม ฯ มาบตาพุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.3 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในน้ำและดินตะกอน จากชายฝั่งทะเล

5.3.1 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในน้ำทะเล

จากผลการศึกษาปริมาณสารหนูรวมในน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งทะเลหน้านิคม ฯ มาบตาพุด ครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.77-3.39 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.19±0.55 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณสารหนูรวมในน้ำทะเล ในครั้งที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.78-1.81 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93±0.20 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณสารหนูรวมในน้ำทะเลที่พบจากการศึกษาทั้ง 2 ครั้ง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ในทุกประเภทของการใช้ประโยชน์น้ำทะเล ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (2549) ที่กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารหนูในน้ำทะเลมีค่าได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

ค่าความเข้มข้นของสารหนูรวมในน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งหน้านิคม ฯ มาบตาพุด จากการศึกษาครั้งนี้ อยู่ในช่วงความเข้มข้นของสารหนูที่พบโดยทั่วไปในน้ำทะเลที่ 1-5 ไมโครกรัมต่อลิตร (Ferguson & Gavis, 1972 cited in Fowler et al., 2007) และการศึกษาของ Mandal and Suzuki (2002) กล่าวว่าปริมาณสารหนูในน้ำทะเลโดยปกติมีค่า 1.0–8.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Peterson and Carpenter (1993 cited in Smedley & Kinniburgh, 2002) พบปริมาณสารหนูในน้ำจาก Saanich Inlet, British Columbia มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2–2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร และกล่าวถึงความเข้มข้นของสารหนูที่พบจากบริเวณน้ำปากแม่น้ำ มีความแปรปรวนมาก เนื่องจากความแตกต่างทางสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ทั้งแม่น้ำที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ ความเค็ม และค่า redox ที่ผิวหน้าดินท้องน้ำ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารหนูที่พบในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูที่พบโดยทั่วไปมักมีค่าต่ำกว่า 4 ไมโครกรัมต่อลิตร (Smedley & Kinniburgh, 2002)

ในขณะที่ปริมาณสารหนูในน้ำทะเลบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ จากรายงานสถานการณ์มลพิษ ของประเทศไทย ปี 2549 (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) พบปริมาณสารหนูในชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนในและฝั่งตะวันตก มีค่าอยู่ในช่วง 2.4–129 และ 1.2–14.8 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยบริเวณที่พบสูงที่สุด คือ ปากแม่น้ำเจ้าพระยา (หน้าโรงงานฟอกย้อม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จังหวัดสมุทรปราการ) และปากคลองบ้านแหลม (จ.เพชรบุรี) ซึ่งมีค่าค่อนสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้

อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายตัวของสารหนูรวมในน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งจากการศึกษาทั้ง 2 ครั้ง มีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างชัดเจน และเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ บริเวณสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง โดยเฉพาะบริเวณปากคลองชากหมาก ที่ไหลผ่านนิคม ฯ มาบตาพุด เป็นบริเวณที่มีค่าสูงที่สุดและมีปริมาณลดลงตามระยะห่างฝั่งที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) บ่งชี้ว่าแหล่งที่มาของสารหนูรวมในน้ำทะเลจากการศึกษาครั้งนี้ น่าจะมีที่มาจากกิจกรรมบนแผ่นดินเป็นหลัก โดยเฉพาะบริเวณโดยรอบคลองชากหมาก สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสารหนูรวมในแหล่งน้ำผิวดิน ที่แสดงให้เห็นว่าน้ำในคลองชากหมากมีการปนเปื้อนสารหนูรวมอยู่ทั้งในมวลน้ำและดินตะกอน โดยได้รับน้ำทิ้ง น้ำหล่อเย็นจากโรงงานอุตสาหกรรมในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด และพบปริมาณสารหนูค่อนข้างสูง ชี้ให้เห็นได้ว่ากิจกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมในเขตนิคม ฯ มาบตาพุด น่าจะเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสารหนูรวมในน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งหน้านิคม ฯ มาบตาพุด

5.3.2 ปริมาณและการแพร่กระจายของสารหนูรวมในดินตะกอน จากชายฝั่งทะเล

ความเข้มข้นของสารหนูรวมในดินตะกอนที่มีขนาด เล็กกว่า 125 ไมโครเมตร จากชายฝั่งทะเลหน้านิคม ฯ มาบตาพุดที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.18-16.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.34±3.81 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับร่างเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ที่ระดับ TEC (Threshold Effects Concentrations) ที่กำหนดไว้ 9.79 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง พบว่าบางสถานีมีค่าสูงเกินร่างเกณฑ์มาตรฐาน ฯ ได้แก่ สถานี MP01, MP02 และ MP03 ซึ่งอยู่ในอ่าวประดู่ที่รับน้ำจากปากคลองชากหมาก โดยสถานี MP01 ที่อยู่ใกล้ปากคลองชากหมากที่สุด และพบว่ามีปริมาณสารหนูในดินตะกอนสูงที่สุด (16.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และมีค่าลดลงในสถานีถัดออกไปที่ MP02 (12.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งพบค่า % Ignition loss หรือปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนสูงมากกว่าบริเวณอื่นในชายฝั่งทะเลที่ทำการศึกษาครั้งนี้ (13.34% และ 13.53% ตามลำดับ) และสถานีที่พบปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอนสูงเกินมาตรฐาน ฯ นี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อยู่ในบริเวณอ่าวประดู่ที่เป็นแหล่งเลี้ยงหอยแมลงภู่ มีแพหอยเป็นจำนวนมาก จึงควรมีการป้องกันและแก้ไขปัญหา ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ต่อสัตว์น้ำบริเวณนั้นได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอนชายฝั่งทะเล กับเกณฑ์คุณภาพดินตะกอนโดยทั่วไป (Sediment Quality Guideline; SQG) ของรัฐฟลอริดา สำหรับปริมาณสารหนูระดับที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีค่าอยู่ที่ 7.24 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ระดับที่อาจมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีค่าอยู่ที่ 41.6 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (MacDonald, 1994 อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ยังต่ำกว่าเกณฑ์ SQG ของรัฐฟลอริดา ระดับที่อาจมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และต่ำกว่าเกณฑ์ SQG สำหรับประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ระดับที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต กำหนดค่าไว้ที่ 20 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และระดับที่อาจมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ที่ 70 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ANZECC, 1998 อ้างถึงในกรมควบคุมมลพิษ, 2553) แต่อย่างไรก็ตาม มี 9 สถานี ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ SQG ของรัฐฟลอริดา ระดับที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ที่ 7.24 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ได้แก่ สถานี MP01, MP02, MP03 และ MP04 อยู่ในอ่าวประดู่ สถานี MP12, MP14, MP15 และ MP16 อยู่บริเวณท่อน้ำทิ้งของโรงไฟฟ้าบีเอลซีพีเข้าไปถึงในอ่าวของท่าเรือน้ำลึก และสถานี MP19 ตั้งอยู่บริเวณปากคลองบางเบิด (ใกล้สถานีเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน BBC1)

ค่าความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนจากการศึกษานี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการศึกษาของ Garnaga et al. (2006) ที่พบว่าปริมาณสารหนูในดินตะกอนชายฝั่งทะเลบริเวณ Lithuanian Economic Zone ทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลบอลติก (Baltic Sea) มีค่าอยู่ในช่วง 1.1–19.0 ไมโครกรัมต่อกรัม เฉลี่ย 3.4 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยแบ่งบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นจุดที่อยู่ไกลฝั่ง (10-66 ไมล์ทะเล) เป็นบริเวณที่มีการทิ้งสารเคมี จากการทำสงครามในอดีต พบปริมาณสารหนูมีค่าสูงกว่า (มีค่าเฉลี่ย 9.7 ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่พบในสถานีต่าง ๆ บริเวณใกล้ชายฝั่ง (ระยะ 0.7-9.2 ไมล์ทะเล จากฝั่ง มีค่าเฉลี่ย 2.1 ไมโครกรัมต่อกรัม) และปริมาณสารหนูในดินตะกอนเฉพาะบริเวณใกล้ชายฝั่งที่พบนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนจากการศึกษานี้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของไพฑูรย์ มกกงไผ่ (2541) ที่พบปริมาณสารหนูในดินตะกอน จากปากแม่น้ำบางปะกงถึงศรีราชา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีกิจกรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนตลอดแนวชายฝั่ง มีปริมาณสารหนูแพร่กระจายอยู่ในช่วง 13–43 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.89±1.55 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสถานีใกล้ปากแม่น้ำ (จากการเก็บตัวอย่างเดือน มิถุนายน, สิงหาคม, ตุลาคมและธันวาคมปี 2539 และเดือนกุมภาพันธ์ และเมษายนปี 2540) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 36.58–38.58 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มีโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โรงไฟฟ้าบางปะกง พบมีค่าสูงกว่าสถานีไกลจากปากแม่น้ำ คือ มีปริมาณสารหนูเฉลี่ยจากอยู่ในช่วง 16.33–25.50 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่อนข้างสูงกว่าที่พบในการศึกษาครั้งนี้

5.3.3 การแพร่กระจายและความเป็นไปได้ของแหล่งที่มาของสารหนูรวมในน้ำและดินตะกอน จากชายฝั่งทะเล

ลักษณะการกระจายตัวของสารหนูรวมในน้ำทะเลและดินตะกอน บริเวณชายฝั่งนิคม ฯ มาบตาพุด มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะบริเวณปากคลองชากหมาก ที่สถานี MP01 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารหนูรวมสูงกว่าสถานีอื่นอย่างชัดเจน ทั้งในมวลน้ำและดินตะกอน และมีค่าลดลงตามระยะห่างฝั่งที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าปริมาณสารหนูในน้ำทะเลและดินตะกอนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) และปริมาณสารหนูทั้งในน้ำทะเลและดินตะกอนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระยะห่างฝั่งที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ซึ่งบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณสารหนูทั้งในมวลน้ำและดินตะกอนชายฝั่งทะเลมีแหล่งที่มาจากกิจกรรมบนแผ่นดิน โดยเฉพาะโดยรอบคลองชากหมากที่ไหลผ่านเขตนิคม ฯ มาบตาพุด ลงสู่ชายฝั่งทะเล และสังเกตว่าได้ว่ารูปแบบการกระจายตัวของสารหนูในตัวอย่างจากชายฝั่งทะเลมีความที่ชัดเจนมากกว่ากว่าบนแผ่นดิน ทั้งนี้อาจเนื่องมามีปัจจัยรบกวนที่น้อยกว่า

นอกจากนี้แล้วยังพบว่าปริมาณสารหนูรวมในน้ำทะเลและดินตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ p<0.05 สำหรับน้ำทะเล และที่ p<0.01 สำหรับตัวอย่างดินตะกอน) เมื่อพบปริมาณสารอินทรีย์ หรือค่า % Ignition loss ในดินตะกอนเพิ่มขึ้น โดยสถานีบริเวณปากคลองชากหมาก MP01 และ MP02 มีค่าสูง % Ignition loss สูงที่สุด ดินตะกอนมีลักษณะเป็นโคลนสีค่อนข้างดำ แต่บริเวณสถานีที่เป็นดินตะกอนหยาบ ทรายหยาบจะมีค่า % Ignition loss ต่ำ และมักพบว่ามีการสะสมของสารหนูในดินตะกอนต่ำด้วยเช่นกัน เช่น สถานี MP6 ที่อยู่บริเวณใกล้ชายฝั่ง

(ห่างจากปากคลองตากวนประมาณ 2 กิโลเมตร) พบว่ามีค่า % Ignition loss ต่ำที่สุด และมีปริมาณสารหนูรวมในดินตะกอนต่ำ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของสารหนูรวมในน้ำทะเล ค่า % Ignition loss ลักษณะดินตะกอนและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดของสารหนู อิทธิพลอย่างมากต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอน ซึ่งโดยทั่วไปมักพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์เชิงบวก หรือมีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูในดินตะกอน (Chapagain et al., 2007; Wang et al., 2010)

เมื่อพิจารณาปัจจัยอื่นที่น่าจะอิทธิพลต่อการสะสมตัวของสารหนูในน้ำและดินตะกอน โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนจากชายฝั่งทะเลของ สุวรรณา ภาณุตระกูล (255) ที่ทำการเก็บตัวอย่างในครั้งเดียวกัน ปี 2553 พบว่าปริมาณสารหนูในน้ำทะเล (การศึกษาครั้งนี้) สัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง สังกะสี และแมงกานีสในดินตะกอน (ค่า Pearson Correlation=0.599, 0.824, 0.904 และ 0.771, Sig.=0.003, 0.000, 0.000 และ 0.000, R^2=0.359, 0.679, 0.818 และ 0.594) ขณะที่ปริมาณสารหนูดินตะกอนสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แมงกานีสและเหล็กในดินตะกอน (ค่า Pearson Correlation=0.848, 0.890, 0.810, 0.458, 0.553 และ 0.671, Sig.=0.000, 0.000, 0.000, 0.028, 0.006 และ 0.000, R^2=0.720, 0.791, 0.657, 0.210, 0.305 และ 0.450) โดยพบว่ามีลักษณะการกระจายตัวเช่นเดียวกัน คือ พบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณปากคลองชากหมากและในอ่าวประดู่มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะลักษณะการกระจายตัวของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี มีค่าความเข้มข้นลดลงเมื่อระยะห่างจากฝั่งเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในการศึกษาครั้งนี้ หรืออาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติด้านธรณีเคมีของดิน ทั้งปริมาณสารอินทรีย์ในดิน รวมไปถึงธาตุ โลหะหนักอื่น ๆ ในดิน มีความสำคัญต่อการสะสมตัวของสารหนู ทั้งเกิดการดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคสารอินทรีย์ ดินตะกอน หรือเกิดการจับตัวตกตะกอนได้ ซึ่งสามารถใช้ประกอบการป้องกันและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นนี้ได้ต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้มีอาจยังไม่ครบสมบูรณ์ดีนัก ในการศึกษารายละเอียดส่วนอื่น ๆ ที่อาจมีความสำคัญต่อการประเมินสถานการณ์ด้านมลภาวะของสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับข้อมูลด้านการวิจัยสารหนูทั้งในแหล่งน้ำ ดินตะกอน กระทั่งสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำยังมีการศึกษาถึงอยู่น้อย ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยเฉพาะในพื้นที่โดยรอบนิคม ฯ มาบตาพุด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบปัญหาด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชนอยู่ในปัจจุบัน จึงใคร่ขอเสนอแนะการศึกษาค้นคว้าที่จะมีต่อไป คือ

5.5.1 ควรมีการศึกษาถึงการแพร่กระจายของปริมาณสารหนูตามฤดูกาล เพื่อสามารถการประเมินสภาวะการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม ที่อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำเศรษฐกิจในระบบห่วงโซ่อาหารได้

5.5.2 ควรมีการศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อประกอบการประเมินสถานการณ์ด้านมลภาวะสิ่งแวดล้อม และอาจชี้ถึงแหล่งกำเนิดมลพิษสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในพื้นที่นิคม ฯ มาบตาพุดได้ชัดเจนมากขึ้น

5.5.3 ควรมีการศึกษาถึงชนิดของสารหนูร่วมด้วย ซึ่งมีความสำคัญด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และยังมีการศึกษาถึงค่อนข้างน้อยสำหรับในประเทศไทย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำผิวดิน น้ำทะเลและดินตะกอน จากการศึกษาครั้งนี้และพื้นที่ต่าง ๆ

สถานีที่ทำการศึกษา	ช่วงเวลา	As ในน้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	As ในดินตะกอน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
น้ำบ่อตื้นและบ่อบาดาล	กุมภาพันธ์ 2553	ND-15.15	-	การศึกษานี้
คลองทับมา	มีนาคม 2553	2.31–5.51	7.18-47.90	การศึกษานี้
คลองพะยูน	มีนาคม 2553	4.95–28.76	5.94-48.22	การศึกษานี้
คลองห้วยใหญ่	มีนาคม 2553	4.61–72.06	3.21-39.39	การศึกษานี้
คลองชากหมาก	มีนาคม 2553	6.96–12.87	9.88-36.91	การศึกษานี้
ชายฝั่งทะเล นิคม ฯ มาบตาพุด	กุมภาพันธ์ และ พฤษภาคม 2553	0.77-3.39 (1.07±0.44)	1.18-16.54 (6.34±3.81)	การศึกษานี้
ชายฝั่งทะเล นิคม ฯ มาบตาพุด	เมษายน ถึงกรกฎาคม 2541	ค่าเฉลี่ย 4.1	ค่าเฉลี่ย 8.5	กรมควบคุมมลพิษ (2542)
ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนใน	2549	2.4-129	-	กรมควบคุมมลพิษ (2549)
ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันตก	2549	1.2-14.8	-	กรมควบคุมมลพิษ (2549)
ชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรปราการ	-	ค่าเฉลี่ย 4.2	ค่าเฉลี่ย 14.2	รุ่งฟ้า อินทจักร (2545)
น้ำแม่น้ำท่าจีน ประเทศไทย	ตลอดปี 2525	1.2- 6.8	-	กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2529)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สถานีที่ทำการศึกษา	ช่วงเวลา	As ในน้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	As ในดินตะกอน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
แม่น้ำบางปะกงถึงศรีราชา	มิถุนายน 2539 ถึงเมษายน 2540	<0.0108-1.86	13.00-43.00	ไพฑูรย์ มกกงไผ่ (2541)
ทะเลสาบสงขลา	มกราคม 2533	3-15	-	ประดิษฐ์ มีสุข และ เสาวณี โพชนุกูล (2534)
ตำบลร่อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช	2533-2534	ND- 0.246	100.7-1,854.84	ตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์ (2540)
คลองบางใหญ่และแหล่งรองรับน้ำทิ้ง จังหวัดภูเก็ต	2546-2547	-	18-92 (43±23) 8-35 (21±9)	ธงชัย สุธีรศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ (2551)
River Scheldt, Belgium	สิงหาคม 2547	-	2.3-140.2	Chapagain et al. (2007)
Okavango Delta, NW Botswana	กุมภาพันธ์ 2546	1.1–1.3	0.2-7.0	Mapila et al. (2006)
Manchar lake, Pakistan	2548-2550	35-157	11.3-55.8	Arain et al. (2009)
Rio Grande (Mexico)	พฤศจิกายน 2543 ถึงพฤษภาคม 2545	<4.0-22	สูงสุด 2.320	Arana et al. (2003)
Pemek Sb mine, Slovakia	มิถุนายน ถึงกรกฎาคม 2551	<1.0-5	45-390	Hiller et al. (2012)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University