

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำสั้นเรื่อง

โลหะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของหินเปลือกโลกในธรรมชาติ เมื่อเปลือกโลกเกิดการกัดเซาะและพังทลาย โลหะบางส่วนจะถูกชะพาออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่การทำเหมืองแร่ หรือการเปิดหน้าดิน จะเร่งให้เกิดการชะล้างโลหะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น (Santos *et al.*, 2005) โลหะที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจึงมีที่มาจากธรรมชาติและมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โลหะบางชนิด เช่น สังกะสี (zinc; Zn), โครเมียม (chromium; Cr), ทองแดง (copper; Cu), แมงกานีส (manganese; Mn) และเหล็ก (iron; Fe) เป็นโลหะที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตต้องการโลหะเหล่านี้ในความเข้มข้นระดับหนึ่ง แต่หากมีความเข้มข้นมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่โลหะบางชนิด เช่น แคดเมียม (cadmium; Cd) ตะกั่ว (lead; Pb) หรือปรอท (mercury; Hg) นอกจากจะไม่มี ความจำเป็นในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตแล้วยังมีความเป็นพิษสูง (Clark, 1992)

โลหะหนักที่ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำ ทำที่สุดจะไปสะสมกันอยู่ในตะกอนท้องน้ำ บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างแม่น้ำและทะเลที่เรียกว่า เอสทูรี (estuary) ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะฟิสิกเคมีกัล (physicochemical condition) มาก โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับมวลน้ำจะถูกกำจัดออกไปสะสมอยู่กับตะกอน บางส่วนที่เหลือก็จะถูกพาออกสู่ทะเล (Chester, 1993; Jickells and Rae, 1997; Stumm and Morgan, 1996) อย่างไรก็ตาม โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนอาจจะกลายเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนกลับเข้าสู่มวลน้ำได้ เมื่อสภาวะฟิสิกเคมีกัลของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลง ทำให้สมดุลเคมี ณ รอยต่อระหว่างตะกอนผิวหน้า (surface sediment) กับมวลน้ำเหนือผิวตะกอน (overlying water column) เปลี่ยนแปลงไปและปลดปล่อยโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนออกสู่มวลน้ำ (Zwolsman *et al.*, 1996; Valdés *et al.*, 2005) นอกจากนี้การที่ตะกอนเป็นแหล่งรองรับและสะสมโลหะหนักที่ปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตหน้าดิน (benthos) จึงมีโอกาสได้รับโลหะหนักไปสะสมอยู่ในร่างกาย ซึ่งจะถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร ไปสะสมในสิ่งมีชีวิตในลำดับขั้น โทรฟิค (throphic) ที่สูงขึ้น และทำที่สุดก็มาถึงมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคในลำดับขั้นสุดท้าย

ทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลสาบธรรมชาติแห่งเดียวในประเทศไทย มีทางออกติดต่อกับทะเลอ่าวไทย ได้รับอิทธิพลจากทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม เป็นแหล่งน้ำและแหล่งทรัพยากรที่สำคัญของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทะเลสาบตอนนอกที่ติดต่อกับอ่าวไทยเป็นเอสทูรี น้ำเป็นน้ำกร่อยตลอดเวลา ส่วนทะเลสาบตอนใน น้ำจะเป็นน้ำจืดเกือบตลอดปี แต่ในฤดูแล้งความเค็มอาจจะมากกว่า 0 psu จนถึง 10 psu (practical salinity unit) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) ซึ่งการผสมผสานระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็มนี้เป็นสภาวะที่ก่อให้เกิดการแยกตัวของโลหะหนักออกจากมวลน้ำและสะสมอยู่กับตะกอนท้องน้ำ (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

การใช้ประโยชน์ที่ดินและทรัพยากรรูปแบบต่างๆ ในพื้นที่รอบทะเลสาบสงขลา เป็นไปอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน โดยปราศจากการอนุรักษ์และฟื้นฟูให้เหมาะสม ก่อให้เกิดการสะสมของมลสารต่างๆ ได้แก่ โลหะหนัก สารอินทรีย์ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เป็นต้น ลงสู่ทะเลสาบ ซึ่งการศึกษาการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของโลหะหนักในตะกอนทะเลสาบสงขลา ยังมีน้อยมากและเป็นการศึกษาในทะเลสาบตอนนอก หรือเฉพาะบางส่วนของทะเลสาบ โดยเน้นบริเวณปากคลอง ยังไม่มีการศึกษาครั้งใดที่ทำการศึกษารอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของทะเลสาบสงขลาทั้งระบบ นอกจากนี้การศึกษานี้ในแต่ละครั้งก็ใช้วิธีการในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ต่างกัน ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันโดยตรง การจัดการทะเลสาบอย่างยั่งยืนจำเป็นจะต้องรู้ถึงสถานการณ์การปนเปื้อนครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ลักษณะการแพร่กระจาย และพื้นที่ที่สะสมสารเหล่านี้ ซึ่งจะนำไปสู่การบ่งชี้แหล่งที่มาของสารได้

1.2 แหล่งกำเนิดและที่มาของการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนในแหล่งน้ำ

ตะกอน หมายถึง เศษแตกหักของของแข็ง หรือมวลของแข็ง ทั้งที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งเกิดจากการผุพังทลายของหิน โดยมีกระแสลม กระแสน้ำ หรือธารน้ำแข็ง เป็นตัวกลางพัดพาให้ไปตกตะกอนในที่ต่างๆ หรืออาจจะเกิดจากการแยกตัวออกจากสารละลายโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีที่เกิดขึ้นในมวลน้ำ หรือจากสารที่ขับออกมาจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต แล้วตกตะกอนนอนก้นและสะสมอยู่บนพื้นท้องน้ำ (Gary *et al.*, 1977 อ้างใน Sompongchaiyakul, 1989) ในระหว่างที่ตะกอนถูกพัดพาเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่ง ไปอีกที่หนึ่งนั้น ตะกอนจะผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีเคมี (geochemical) ดังนั้นองค์ประกอบของตะกอนจึงอาจจะแตกต่างจากหินต้นกำเนิด (parent rock) การเปลี่ยนแปลงต่างๆ นี้ยังคงเกิดอย่างต่อเนื่องหลังจากที่ตะกอนนอนก้นแล้ว โดยกระบวนการไดอะเจเนซิส (diagenesis) ซึ่งขึ้นอยู่กับ

องค์ประกอบของตะกอนเอง และสถานะฟิสิกเคมีกัลของสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น (Sompongchaiyakul, 1989)

ตะกอนมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งเก็บสะสมและเก็บกักมลสารในแหล่งน้ำ (Kishe and Machiwa, 2003; An and Kampbell, 2003; Sirinawin and Sompongchaiyakul, 2005; Acevedo-Figueroa *et al.*, 2006) ตะกอนสามารถยึดเกาะหรือดูดซับมลสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลหะหนัก ไว้กับอนุภาคของมัน (Axelsson, 2004; Maanan *et al.*, 2004) และนำพามลสารเหล่านี้ ไปปลดปล่อยยังที่ต่างๆ ที่มันไปตกตะกอน (Salomon and Förstner, 1984; Axelsson, 2004)

ดังนั้นโลหะหนักในตะกอนอาจจะเกิดตามธรรมชาติโดยอยู่ในโครงสร้างของ ตะกอนเอง (lattice-held fraction) หรือเกิดขึ้นระหว่างการพัดพาไปสู่แหล่งสะสมหลังจากแตกหัก พังทลายจากต้นกำเนิด ซึ่งส่วนนี้จะยึดเกาะกับอนุภาคตะกอนโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออน การ ดูดซึม หรือการตกตะกอนร่วม ไม่ได้อยู่ในโครงสร้าง (non-lattice-held fraction) (Förstner and Wittman, 1983; Salomon *et al.*, 1987; Sompongchaiyakul, 1989) กระบวนการไดอะเจเนซิสซึ่ง ดำเนินขึ้นหลังการตกตะกอน ทำให้โลหะหนักที่สะสมอยู่กับตะกอนละลายกลับออกสู่มวลน้ำ ระหว่างตะกอน (interstitial water หรือ pore water) เมื่อสถานะฟิสิกเคมีกัลในแหล่งน้ำ เปลี่ยนแปลง โลหะในน้ำระหว่างตะกอนนี้ก็แพร่กลับสู่มวลน้ำผิวหน้า ทำให้ตะกอน เปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักในแหล่งน้ำ ดังนั้นตะกอนจึงไม่ได้เป็นแหล่งเก็บกัก ที่ถาวรของโลหะหนัก แต่อาจจะกลายเป็นแหล่งกำเนิดได้

จากการที่โลหะหนักเป็นองค์ประกอบของหินเปลือกโลก ดังนั้นจึงพบโลหะหนัก อยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม รูปแบบของโลหะที่ถูกตรึงอยู่ในโครงผลึกแร่หรือ (lattice-held metals) จะ แสดงความเป็นพิษได้น้อยมาก การกัดเซาะพังทลายให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีโครงสร้างและมี พื้นที่ผิวมาก ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในรูปแบบ non-lattice-held metals เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง โลหะหนักส่วนนี้จะถูกปลดปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ง่าย เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะทางเคมี ที่ยึดเหนี่ยวไว้มีน้อยกว่าพันธะที่ยึดเหนี่ยวโลหะไว้กับโครงผลึกแร่ ดังนั้นเมื่อสถานะทางฟิสิกเคมี กัลเปลี่ยนแปลงไป โลหะส่วนนี้จึงถูกปล่อยออกมาอยู่ในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับ (uptake) เข้าสู่ร่างกายได้ง่าย จึงอาจเรียกโลหะส่วนนี้ว่า “bioavailable metals” โลหะส่วนนี้หลายตัวมีความ เป็นพิษสูงและถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตในลำดับชั้นโทรฟิคที่สูงขึ้นไป (Salomon and Förstner, 1984) ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตามธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมของ มนุษย์ จะถูกควบคุมโดยลักษณะธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำ (OzEstuaries, 2004) และผันแปรตามวัตถุดิบ กำเนิด ปริมาณสารอินทรีย์ เนื้อดิน และระดับความลึกของดิน หากว่าโลหะนั้นมีมากโดย

ธรรมชาติ ก็จะทำให้บริเวณนั้นมีความเข้มข้นพื้นฐาน (background concentration) สูง เช่น อลูมิเนียม และเหล็ก แต่โลหะบางชนิดมีความเข้มข้นในโครงสร้างเปลือกโลกต่ำ ค่าความเข้มข้นพื้นฐานก็จะต่ำ เช่น พรอท แคลเมียม เงิน และเซเลเนียม เป็นต้น (Elder, 1988)

แคลเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี เป็นโลหะที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย โลหะทั้งห้านี้มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ และการนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้จึงมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามการใช้ประโยชน์

แคลเมียม เป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน ในสภาพธรรมชาติแคลเมียมเป็นสารเจือปนในสินแร่สังกะสี เช่น ในสินแร่สฟาเลอไรต์ (Zns) หรือคาลาไมน์ ($ZnCO_3$) (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ฉะนั้นในการทำเหมืองสังกะสี จะได้แคลเมียมซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) การปนเปื้อนของแคลเมียมในสิ่งแวดล้อมเกิดจากการนำแคลเมียมมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการทำโลหะผสมที่หลอมละลายได้ง่าย ใช้ฉาบผิวเหล็กกล้ากันสนิม ใช้ทำเครื่องรองรับส่วนเคลื่อนที่ในเครื่องยนต์ และในการชุบด้วยไฟฟ้า แคลเมียมมีคุณสมบัติเป็นตัวควบคุมนิวตรอนได้ดี จึงใช้ทำ control rods ในปฏิกรณ์ (โครงการพัฒนาเพื่อหาความรู้สำหรับเครื่องจ่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย, 2542; ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2545; ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545; สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2548)

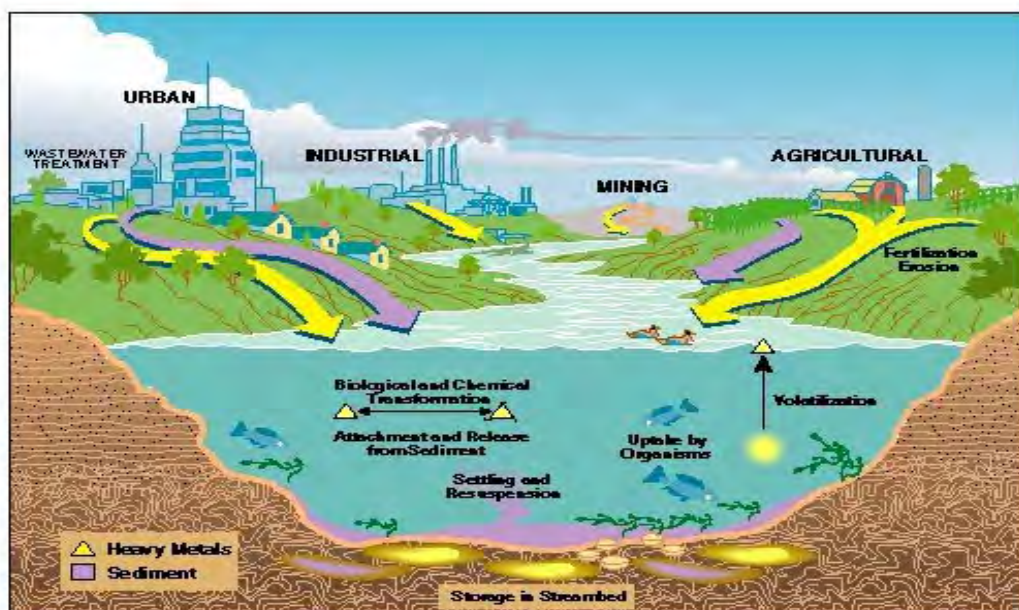
โครเมียม เป็นโลหะสีขาวแข็งคล้ายเหล็ก พบในแร่โครมไอออน เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากการนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น นำมาผสมกับโลหะทำให้เกิดความแข็งแรงทนทาน ทำให้โลหะไม่เป็นสนิมทนต่อการผุกร่อน โลหะโครเมียมที่บริสุทธิ์ใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า สารประกอบของโครเมต (chromate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมฟอกหนัง และการย้อมสีขนสัตว์ (โครงการพัฒนาเพื่อหาความรู้สำหรับเครื่องจ่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย, 2542; สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2548)

ทองแดง พบในแร่แคลโคไพไรท์ ($CuFeS_2$) บอร์ไนท์ (Bu_3FeS_4) แคลโคไซต์ (Cu_2S) มาลาไคท์ ($Cu_2(OH)_2CO_3$) อาซูไรท์ ($Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$) และคริสโซคลอรา ($CuSiO_3 \cdot H_2O$) (สุวิชัย สัมปัตตะวนิช และงามพิศ อังคทะวานิช, 2518) ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี รองจากเงิน จึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิตลวด สายไฟ ท่อน้ำ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ รวมถึงการทำสีย้อม เป็นต้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2545)

ตะกั่ว เป็นโลหะอ่อน สีเทา หรือขาวแกมน้ำเงิน พบในแร่กาลีนา (PbS) เซอร์รัสไชท์ (PbCO₃) แองกลีไชท์ (PbSO₄) (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545; ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2545) มีการนำตะกั่วในรูปอนินทรีย์มาใช้ประโยชน์มาก เช่น ใช้ทำจนวนหุ้มสายเคเบิล จนวนกันกัมมันตรังสี ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและแก้ว ใช้ทำเม็ดสี เช่น ตะกั่วขาว (2PbCO₃, Pb(OH)₂) ตะกั่วแดง (Pb₃O₄, CaPbO₄, PbCrO₄) ซึ่งถ้ามีการนำเม็ดสีเหล่านี้มาใช้ทาของเล่นเด็กหรือดินสอจะเป็นอันตรายมาก ส่วนตะกั่วอินทรีย์ เช่น เตตระเมทิลเลด (tetramethyl lead) และเตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead) ใช้ผสมน้ำมัน ซึ่งตะกั่วแอลคิลเหล่านี้เป็นสารที่ถูกที่สุดในการเพิ่มค่าออกเทน (octane) ในน้ำมัน เมื่อเกิดการเผาไหม้ตะกั่วก็จะถูกปล่อยออกมากับไอเสียด้วย (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

สังกะสี พบได้ในแร่สฟาเลอไรท์ (ZnS) สมิทโซไนท์ (ZnCO₃) เฮมิมอร์ไฟท์ (Zn₄(Si₂O₇)(OH)₂·H₂O) ซิงค์ไชท์ (ZnO) วิลเลมไมท์ (Zn₂(SiO₄)) และแฟรงคลินไนท์ (Franklinite) (สุธรรม แยมนิยม และงามพิศ แยมนิยม, 2519) สังกะสีเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การชุบโลหะ การทำบรอนซ์ ภาชนะโลหะเคลือบ สี น้ำยารักษาคุณภาพไม้ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น โลชั่นบำรุงผิว ยาสระผมกันรังแค ยารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค และในทางเกษตรก็มีการนำมาใช้เป็นสารคลุกเมล็ดฆ่าเชื้อรา (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

ถึงแม้จะพบว่าโลหะนั้นมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ แต่ก็พบว่ามนุษย์เป็นตัวการเร่งให้เกิดการชะล้างโลหะออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น โลหะเหล่านี้แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม โดยฟุ้งกระจายไปในอากาศ หรือถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำ และท้ายที่สุดจะไปสะสมอยู่ในดินหรือตะกอนที่องน้ำ โลหะหนักที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ อาจถูกปลดปล่อยออกสู่แหล่งน้ำทั้งจากแหล่งที่มาที่ระบุได้ (point sources) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนหรือเมือง และเหมืองแร่ หรือจากแหล่งที่มาที่กระจาย (non-point sources) โดยการชะพามาจากพื้นที่ชุมชนและพื้นที่การเกษตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-1 โลหะเหล่านี้เมื่อเข้าสู่แหล่งน้ำ จะเกิดการสะสมในแหล่งน้ำ และผ่านกระบวนการทางชีวธรณีเคมี ถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิต



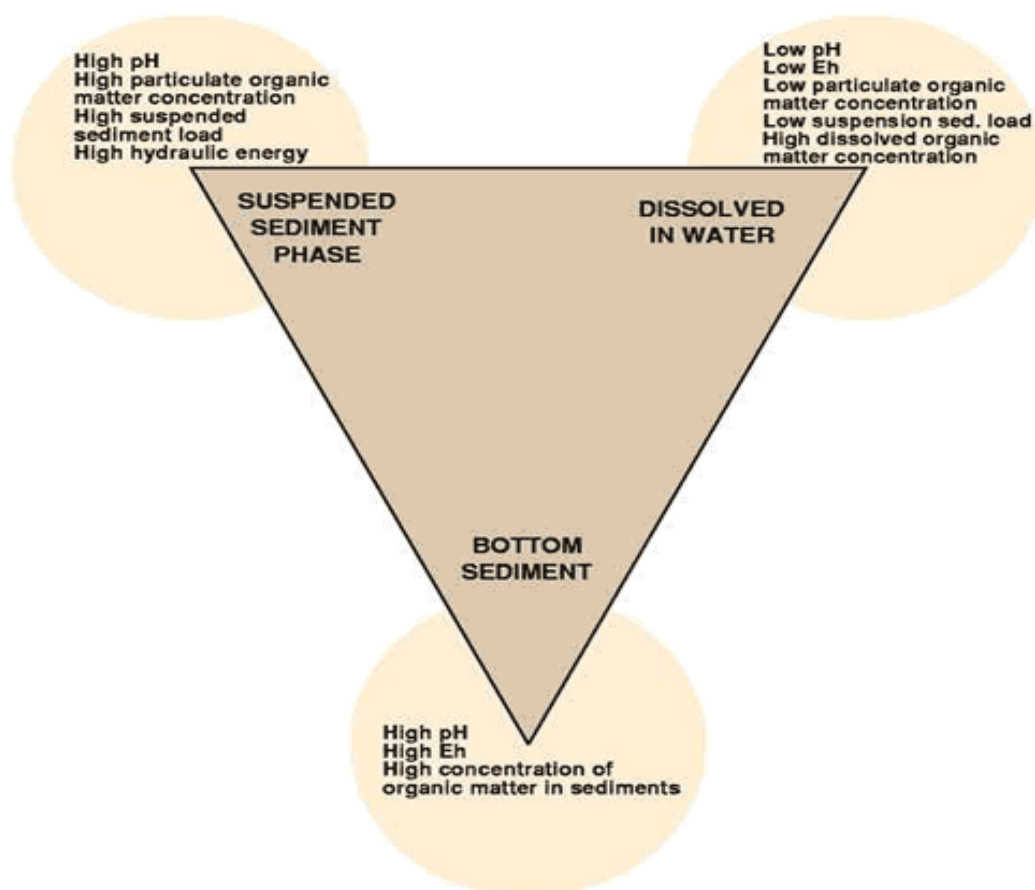
ภาพประกอบที่ 1-1 แหล่งที่มาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตะกอนจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์
ที่มา: U.S. Geological Survey Circular 1133

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนักในแหล่งน้ำแพร่กระจายอยู่ในหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นสารละลาย ตรึงอยู่กับสารแขวนลอย ตรึงอยู่กับตะกอน หรือสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต กระบวนการที่ควบคุมรูปแบบทางเคมีของโลหะในแหล่งน้ำ ประกอบด้วยกระบวนการดูดซับ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การตกตะกอน และการดูดซึมไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (Elder, 1988) กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมากที่สุด โดยพบว่าโลหะหนักถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวอนุภาคเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (iron and manganese oxyhydroxide) ที่แยกตัวออกจากมวลน้ำ อนุภาคสารอินทรีย์ และอนุภาคแร่ดินเหนียว (Elder, 1988)

รูปแบบที่ละลายอยู่ในมวลน้ำของโลหะหนัก เป็นรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ (bioavailable) ในสถานะที่แหล่งน้ำมีสถานะพีเอชต่ำ มีอนุภาคแขวนลอยในน้ำน้อย และมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำสูง รูปแบบละลายของโลหะหนักในมวลน้ำจะมีมากขึ้นเพราะว่าในสถานะเหล่านี้ทำให้ ค่าการละลายของโลหะเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับของพื้นผิวของของแข็งลดลง นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion; H^+) จะแข่งขันกับโลหะหนักในการเข้าจับกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ (Elder, 1988)

ในสถานะที่น้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น โลหะจะละลายน้ำได้ลดลงและแยกตัว (coagulate) ออกจากมวลน้ำ โดยเหล็กและแมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์และเปลี่ยนเป็น เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นของแข็ง แยกตัวออกจากมวลน้ำ พร้อมทั้งทำให้โลหะอื่นที่ละลายอยู่ตกตะกอนร่วม (co-precipitate) นอกจากนี้ในสถานะที่แหล่งน้ำมีพีเอชและรีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential; Eh) สูง หรือมีสารอินทรีย์ในตะกอนสูง อนุภาคของแร่ดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์จับอยู่ (clay-organic) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ จะจับตัวเป็นตะกอน (floculate) และตกตะกอนอย่างรวดเร็ว โลหะหนักที่แยกตัวจากมวลน้ำ ไม่ว่าจะด้วยกระบวนการใด ก็จะไปตกตะกอนสะสมอยู่ที่ตะกอนท้องน้ำ หรืออาจกระจายอยู่ในรูปตะกอนแขวนลอย (Salomon and Förstner, 1984) ภาพประกอบที่ 1-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของโลหะหนักกับสถานะฟิสิกัลเคมีกัลในแหล่งน้ำ (Elder, 1988; OzEstuaries, 2004) รูปแบบของโลหะหนักในแหล่งน้ำขึ้นกับสถานะฟิสิกัลเคมีกัลของแหล่งน้ำนั้นๆ



ภาพประกอบที่ 1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของโลหะหนักในแหล่งน้ำกับสถานะฟิสิกัลเคมีกัลของแหล่งน้ำ

ที่มา: Elder (1988); OzEstuaries (2004)

1.4 ความสำคัญของตะกอนต่อสิ่งแวดล้อม

โลหะหนักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ จะต้องอยู่ในรูปแบบ “bioavailable” คือไม่ได้อยู่ภายในโครงสร้างของอนุภาคตะกอนแต่จะสะสมอยู่กับตะกอนโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือถูกดูดซับ หรือตกตะกอนร่วม โลหะเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อสภาวะฟิสิกเคมีกลับเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงพีเอช การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย หรือการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำ (Salomon and Förstner, 1984; Elder, 1988; Sompongchaiyakul, 1989; Axelsson, 2004) อย่างไรก็ตาม ในแหล่งน้ำที่มีสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการรีดักชัน (reduction) ของซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์โดยแบคทีเรีย โลหะที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอนและน้ำเหนือผิวตะกอนจะเกิดสารประกอบโลหะซัลไฟด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในสภาพที่ไร้ออกซิเจนจนกระทั่งเกิดกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน โลหะจะถูกตรึงไว้กับตะกอนและไม่ถูกปลดปล่อยออกมา จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตน้อย แต่ถ้าตะกอนเหล่านี้ได้รับออกซิเจน อาทิ มีการขุดลอกตะกอน ก็จะเกิดการออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้ซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟต โลหะก็จะละลายออกมาจากตะกอนได้มาก (Salomon and Förstner, 1984) และมีโอกาสส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้มากกว่า การแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนักระหว่างตะกอนกับมวลน้ำอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางฟิสิกเคมีกลับเช่นนี้ ทำให้ตะกอนเป็นได้ทั้งแหล่งกักหรือสะสม (sink) และแหล่งกำเนิด (source) มลสารในแหล่งน้ำ (Sompongchaiyakul, 1989)

โดยทั่วไป ตะกอนในแหล่งน้ำ ไม่ได้นอนก้นอยู่บริเวณท้องน้ำตลอดเวลา บางครั้งตะกอนอาจจะถูกกวนให้แขวนลอยอยู่ในมวลน้ำ เช่น จากพายุ กระแสน้ำ หรือจากการกวนของใบพัดของเรือ ทำให้โลหะหนักในน้ำระหว่างตะกอนและโลหะหนักที่สะสมอยู่บนผิวตะกอนมีโอกาสละลายกลับสู่มวลน้ำได้มากขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำ รับสัมผัสกับโลหะหนักมากขึ้น (U.S. EPA, 2004)

เนื่องจากตะกอนมีบทบาทสำคัญในการเก็บกักและเคลื่อนย้ายมลสาร ตะกอนจึงถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อแหล่งน้ำ โดยใช้บ่งชี้แหล่งกำเนิด เส้นทางการเคลื่อนย้าย และแหล่งที่มลสารไปสะสมในแหล่งน้ำ ซึ่งพบว่าข้อมูลสถานการณ์การปนเปื้อนที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง (Bubb and Lester, 1994; Murray, 1996 อ้างถึงใน Birch *et al.*, 2001) และนอกจากนี้ตะกอนยังสามารถที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของแหล่งน้ำในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้วย (Birch *et al.*, 2001)

1.5 ผลกระทบของตะกอนต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

เนื่องจากเอสทูรีมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญของระบบนิเวศทางทะเลของโลก ทั้งในแง่การเป็นแหล่งอาหาร เส้นทางการอพยพชั่วคราวของสัตว์น้ำ และเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนหลายชนิด (Acevedo-Figueroa *et al.*, 2006) ดังนั้นหากตะกอนในเอสทูรีปนเปื้อนโลหะหนัก ก็จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เช่น ปู กุ้ง และตัวอ่อนของแมลงที่อาศัยอยู่บนหน้าดิน โดยสิ่งมีชีวิตหน้าดินจะรับโลหะหนักทั้งจากการกลืนกินโดยตรงหรือจากที่ปลดปล่อยออกจากตะกอน และก่อให้เกิดการถ่ายทอดสะสมในสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation) ตามลำดับชั้นทางโทรฟิคที่สูงขึ้นในห่วงโซ่อาหาร (Altındağ and Yiğit, 2005) โลหะหนักในสิ่งมีชีวิตในลำดับโทรฟิคสูงจึงมีความเข้มข้นของโลหะหนักสะสมในร่างกายสูง (biomagnification) ดังนั้นปลา ปู กุ้ง นกน้ำ สัตว์น้ำต่างๆ และแม้แต่สัตว์บก ก็มีโอกาสดำรับโลหะหนักด้วย แม้จะไม่ได้อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีโลหะหนักปนเปื้อนโดยตรง สิ่งมีชีวิตชนิดใดที่ทนต่อพิษของโลหะหนักได้น้อยก็จะตาย ในขณะที่บางชนิดอาจทนทานได้มากกว่า แต่อาจจะเกิดปัญหาสุขภาพ เช่น ครีบเปื่อย เกิดเนื้องอก หรืออาจส่งผลกระทบต่อระบบการสืบพันธุ์ เช่น การกลายเป็นเพศผู้ของสัตว์น้ำ (imposex) (Borgmann *et al.*, 2004; Midorikawa *et al.*, 2004; Sudarayanto *et al.*, 2004) นอกจากนี้แล้ว เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์หรือพืชที่ปนเปื้อนโลหะหนักสะสมอยู่ ก็อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ทั้งชนิดเรื้อรัง (chronic) เช่น มะเร็ง และเกิดความบกพร่องของระบบประสาท หรือแบบเฉียบพลัน (acute) หากได้รับในปริมาณมากๆ

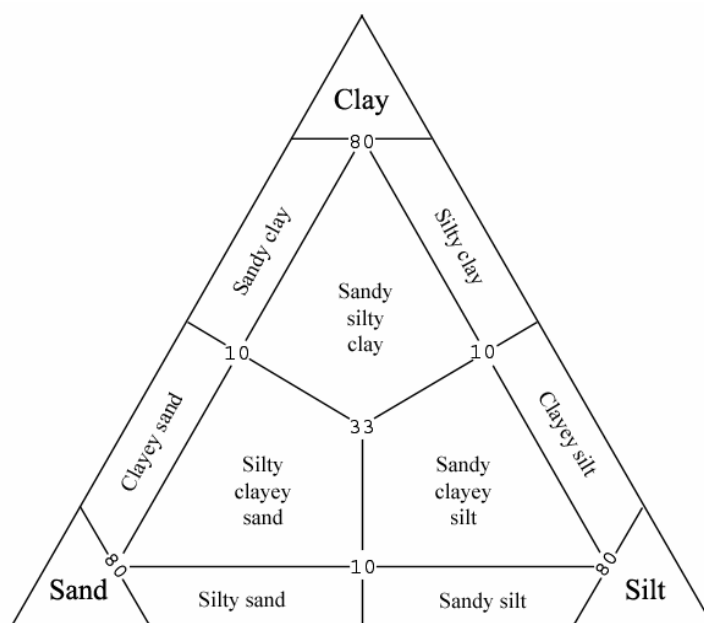
1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในตะกอน

ปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนนั้นขึ้นกับคุณสมบัติของตะกอน อาทิ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ปริมาณของสารอินทรีย์ องค์ประกอบขนาดและองค์ประกอบแร่ธาตุของตะกอน (Macleod *et al.*, 1999; Vertačnik *et al.*, 1995; Ong *et al.*, 2006; Buccolieri *et al.*, 2006) และยังพบว่าโลหะหนักสามารถถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวอนุภาคเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ไฮดรอกไซด์ที่แยกตัวออกจากมวลน้ำได้อีกด้วย

1.6.1 องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอน

ตะกอนไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด แต่ละบริเวณจะมีการกระจายของขนาดอนุภาคตะกอนที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางกายภาพที่กระทำต่อตะกอน ตะกอนมีองค์ประกอบขนาด และการกระจายของขนาด ตั้งแต่ใหญ่จนถึงเล็กมากๆ (<0.45 ไมครอน) แต่

เพื่อให้ง่ายในเชิงปฏิบัติ อาจจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มขนาด คือ ทราย (sand) (>63 ไมครอน), ทรายแป้ง (silt) (2-63 ไมครอน) และดินเหนียว (clay) (<2 ไมครอน) โดยขนาดอนุภาคขนาดทรายและทรายแป้งมีองค์ประกอบทางแร่หลัก คือ quartz และ feldspar ที่เกิดจากการผุพังของแร่ดั้งเดิม ส่วนอนุภาคขนาดดินเหนียวมีองค์ประกอบทางแร่หลัก คือ aluminosilicates ที่เกิดจากการผุพังของแร่ทุติยภูมิ ตะกอนที่มีองค์ประกอบของขนาดอนุภาคต่างกัน จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป และมาตรฐานที่ใช้ในการเรียกชื่อก็มีอยู่หลายแบบด้วยกัน โดยทุกแบบจะกำหนดชื่อโดยแยกตามปริมาณสัมพัทธ์ของแต่ละกลุ่มขนาดอนุภาค โดยใช้ไคอะแกรมสามเหลี่ยม สำหรับมาตรฐานที่นิยมใช้กันในทางตะกอนจากแหล่งน้ำ คือ ตามแบบของ Gorsline (1960) (อ้างใน Sompongchaiyakul, 1989) ดังภาพประกอบที่ 1-3



ภาพประกอบที่ 1-3 ไคอะแกรมสามเหลี่ยมสำหรับเรียกชื่อตะกอนตามสัดส่วนขององค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอน

ที่มา : Gorsline (1960) อ้างถึงใน Sompongchaiyakul (1989)

โลหะหนักส่วนใหญ่ในตะกอนจะยึดเกาะหรือดูดซับกับตะกอนที่มีขนาดอนุภาคละเอียด (<63 μ m) ได้แก่ อนุภาคดินเหนียวและทรายแป้ง ได้ดีกว่าตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ เช่น ทราย เนื่องจากตะกอนขนาดอนุภาคละเอียดนั้น โครงสร้างจะเป็นอลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) หรือที่เรียกว่า แร่ดินเหนียว ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนี้มีช่องว่างและพื้นที่ผิวมาก อีกทั้งยังมีประจุ ทำให้สามารถสร้างพันธะกับสารอินทรีย์และโลหะหนักได้มาก ขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่จะมีโครงสร้างเป็นซิลิเกต หรือที่เรียกว่า ควอร์ตซ (quartz) ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ประกอบ

กับขนาดอนุภาคที่ใหญ่ จึงมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาน้อย (Sompongchaiyakul, 1989; DON, 2000; Bentivegna *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 1989 อ้างใน Ong *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงมักพบว่าความเข้มข้นของโลหะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคของตะกอนลดลง (Förstner and Wittman, 1983; Loring and Rantala, 1995)

1.6.2 ปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอน

สารอินทรีย์เป็นตัวแปรที่สำคัญ มีส่วนในการควบคุมปริมาณโลหะหนักในตะกอน เนื่องจากสารอินทรีย์จะคีเลต (chelate) กับโลหะหนัก และตรึงโลหะไว้ในรูปโลหะอินทรีย์ สะสมอยู่กับตะกอน ดังนั้นจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการเคลื่อนย้าย ทับถม และเก็บกักโลหะหนักในตะกอน (Sompongchaiyakul, 1989; Loring and Rantala, 1995) จึงมักพบว่าตะกอนที่มีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมากมักจะมิมลสารที่เป็นทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมากด้วย (Ujević *et al.*, 2000)

สารอินทรีย์ในตะกอนมาจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ (Förstner and Wittman, 1983; Bentivegna *et al.*, 2004) โลหะหนักอาจจะคีเลตอยู่กับสารอินทรีย์ตั้งแต่สารอินทรีย์ยังละลายอยู่ในมวลน้ำแล้วจึงถูกดูดซับสู่ตะกอน หรืออาจจะถูกคีเลตโดยสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับบนตะกอน ซึ่งไม่ว่าจะเกิดขึ้นด้วยวิธีใด เมื่อโลหะหนักเข้ามาสะสมอยู่ในตะกอนแล้ว ก็อาจถูกปลดปล่อยกลับสู่มวลน้ำได้อีก เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลาย (Förstner and Wittman, 1983; Peltier *et al.*, 2003)

1.7 การเลือกวิธีการในการวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอน

การวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของข้อมูลที่ ต้องการ และการนำข้อมูลไปใช้ หากเลือกวิธีการที่ไม่เหมาะสมก็อาจนำไปสู่การแปรผลที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ ความพร้อมของห้องปฏิบัติการก็มีผลอย่างมากต่อความถูกต้องของข้อมูล ทั้งนี้เนื่องจากโลหะหนักมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติอยู่แล้ว ดังนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนได้ง่ายขณะทำการวิเคราะห์ วิธีการที่นิยม โดยสรุปแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) การย่อยหรือสกัดโลหะหนักจากตะกอนให้อยู่ในรูปสารละลายแล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่องมือ 2) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะจากตะกอนโดยตรงด้วยเครื่องมือ กรณีหลังนี้ใช้เมื่อความเข้มข้นของโลหะนั้นมีค่าสูง วิธีการวิเคราะห์เพื่อวัตถุประสงค์ทางสิ่งแวดล้อม นิยมใช้การย่อยหรือสกัดด้วยกรด ก่อนที่จะนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS) หรือวิธีอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคัลอีมิชชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer; ICP-OES)

โลหะหนักที่สกัดหรือย่อยจากตะกอน จะเป็นโลหะที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ (bioavailable) เท่านั้น หรือเป็นโลหะทั้งหมด (total metal) ที่บางส่วนตรึงอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งไม่ได้มีผลต่อสิ่งมีชีวิต จะขึ้นกับความเข้มข้นของกรดที่ใช้ อย่างไรก็ตาม การสกัดเพื่อวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่เป็น bioavailable นั้นค่อนข้างเปรียบเทียบกันยาก และยังไม่มียุทธวิธีที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Sompongchaiyakul, 1989; Loring and Rantala, 1995) สำหรับการย่อยตะกอนด้วยกรดเข้มข้น จะได้โลหะส่วนใหญ่ถึงโลหะทั้งหมดที่อยู่ในตะกอน ซึ่งโลหะเหล่านี้จะรวมกันทั้งพวกที่สิ่งมีชีวิตนำเข้าสู่ร่างกายได้ และนำเข้าสู่ร่างกายไม่ได้ กรดที่นิยมใช้ในการย่อยหรือสกัดโลหะหนักออกจากตะกอน พอจะสรุปได้ดังนี้

- 1) กรดกัดทอง (Aqua regia; HCl:HNO₃ ในสัดส่วน 3:1) ร่วมกับ กรดไฮโดรฟลูออริก (HF)
- 2) กรดไนตริก (HNO₃) ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3) กรดไนตริก ร่วมกับ กรดกัดทอง
- 4) กรดไนตริก ร่วมกับ กรดเปอร์คลอริก (HClO₄)

อย่างไรก็ดี Loring and Rantala (1995) พบว่าการย่อยตะกอนด้วยวิธีที่ 2, 3 และ 4 จะไม่สามารถละลายแร่กลุ่มซิลิเกตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของตะกอนได้หมด กรดไฮโดรฟลูออริก เป็นกรดเพียงชนิดเดียว ที่สามารถย่อยสลายโครงผลึกแร่ซิลิเกตได้หมด และปลดปล่อยโลหะที่อยู่ภายในโครงผลึก (เช่น อลูมิเนียม เหล็ก และลิเทียม) ออกมาได้ทั้งหมด การไม่ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกจึงมักมีของแข็งตกค้างอยู่ ซึ่งจะถูกรองแยกออกไป สัดส่วนของโลหะที่ติดค้างอยู่กับของแข็งที่กรองแยกออกไปนั้น เป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในตะกอนที่ใช้วิธีการย่อยที่แตกต่างกัน มักจะไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้

อย่างไรก็ตาม นักวิจัยบางกลุ่มมีความเห็นว่า ปริมาณโลหะที่ติดค้างอยู่ในแร่กลุ่มที่ทนต่อกรด เช่น กลุ่มแร่ซิลิเกต ย่อมจะไม่สลายตัวออกมาส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต แต่คงไม่มีใครรับประกันได้ว่าในระยะยาวแล้ว กระบวนการทางเคมี ชีวเคมี และฟิสิกส์ในธรรมชาติจะไม่สามารถเปลี่ยนโลหะที่ติดค้างอยู่นั้นให้ออกมาส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการย่อยแบบ Total acid digestion จึงยังคงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ (ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และครุณี ผ่องสุวรรณ, 2545)

โลหะที่ข้อยได้ทั้งหมดนี้ไม่ได้เป็นโลหะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากส่วนหนึ่งมาจากหินต้นกำเนิด จึงต้องทำการปรับฐาน (normalization) โดยเทียบกับโลหะที่มีอยู่มากจนแม้ว่าจะมีการปนเปื้อนก็ไม่ทำให้ปริมาณรวมเปลี่ยนแปลงไป โลหะเหล่านี้ ได้แก่ อลูมิเนียม (aluminium; Al) และลิเทียม (lithium; Li) (Loring and Rantala, 1995)

ดังนั้นการเลือกใช้การย่อยตะกอนแบบ Total acid digestion หรือ Total (HF) decomposition จึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันและเหมาะสม โดยเมื่อนำมาปรับฐานกับอลูมิเนียมหรือลิเทียม จะทำให้ทราบศักยภาพการปนเปื้อน (contamination potential) ของตะกอน (Loring and Rantala, 1995; ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และครุณี ผ่องสุวรรณ, 2545)

1.8 การปรับฐานทางธรณีเคมี (geochemical normalization)

จากการที่โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นมีที่มาจากทั้งธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะแยกแยะว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนนั้น ส่วนไหนมาจากธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากการผันแปรของปริมาณโลหะหนักในตะกอนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจาก ปริมาณ ลักษณะโดยธรรมชาติ การกระจายของขนาดอนุภาค และแหล่งกำเนิดของโลหะธาตุหรือองค์ประกอบของแร่ในตะกอน (Loring and Rantala, 1995) การที่จะแยกสัดส่วนว่าโลหะหนักในตะกอนมาจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์เท่าใด จำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ คือ การปรับฐานทางธรณีเคมี (geochemical normalization) เพื่อลดความแปรปรวนของความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนที่เกิดจากความแตกต่างของขนาดเม็ดตะกอนและแร่ประกอบในตะกอน และเพื่อบ่งชี้ถึงความผิดปกติของความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอน (Loring and Rantala, 1995; ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และครุณี ผ่องสุวรรณ, 2545) วิธีการปรับฐานนั้นทำโดยการเลือกธาตุโลหะที่จะใช้อ้างอิง ที่เรียกว่า ธาตุอนุรักษ์ ได้แก่ อลูมิเนียม และลิเทียม (Loring and Rantala, 1995) และจากการศึกษาของ Windom *et al.* (1989) อ้างถึงใน Trimble *et al.* (1999) ได้ทำการหาความเข้มข้นของโลหะหนักปริมาณน้อย (trace metal) ในตะกอนจากปากแม่น้ำและชายฝั่งทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกา ในบริเวณที่เป็นสถานที่ตั้งของเมืองและแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญต่างๆ จำนวน 450 ตัวอย่าง และนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของอลูมิเนียม พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะส่วนมากมักเกิดการเปลี่ยนแปลงร่วมกันกับค่าความเข้มข้นของอลูมิเนียมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงพบว่าอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นโลหะอ้างอิงในการปรับฐาน

1.9 ทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลสาบธรรมชาติแห่งเดียวในประเทศไทย มีลักษณะเป็นลากูน (lagoon) หรือทะเลสาบกึ่งปิด มีทางออกติดต่อกับทะเลอ่าวไทย มีความยาวจากปากทะเลสาบไปทางทิศเหนือประมาณ 80 กิโลเมตร ส่วนที่กว้างที่สุดกว้างประมาณ 20-25 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 1,042 ตารางกิโลเมตร (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) จากการที่ทะเลสาบสงขลาเป็นลากูนที่มีน้ำเค็มจากอ่าวไทยเข้ามาผสมผสาน จึงทำให้ระบบนิเวศครอบคลุมตั้งแต่ น้ำจืดถึงน้ำเค็ม ซึ่งขึ้นกับสถานที่และฤดูกาล

1.9.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากลักษณะทางกายภาพและความหลากหลายของระบบนิเวศ ทะเลสาบสงขลาอาจแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) ดังนี้

1) ทะเลน้อย มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 1.2 เมตร อยู่ตอนบนสุด โดยแยกส่วนออกจากทะเลสาบ แต่มีคลองเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนใน 3 คลอง คือ คลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน สภาพน้ำเป็นน้ำจืด มีพีชีน้ำ วัชพีชีน้ำ ทั้งผักตบชวา จอกแหน กก ขึ้นอยู่จำนวนมาก รอบทะเลน้อยเป็นป่าพรุขนาดใหญ่ คือพรุควนเคร็ง ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของนกน้ำ ทั้งนกประจำถิ่น และนกอพยพ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่เรียกว่า “ควนจีเลียน” พื้นที่ดังกล่าวจึงได้รับการจัดให้เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำของประเทศไทย

2) ทะเลสาบตอนใน อยู่ถัดจากทะเลน้อยลงไปถึง ต.เกาะใหญ่ อ.กระแสสินธุ์ จ.สงขลา ทางฝั่งตะวันออกของทะเลสาบ และบ้านแหลมจองถนน อ.ปากพะยูนจ. พัทลุง ทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบ เป็นห้วงน้ำที่กว้างใหญ่ที่สุด มีพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร มีคลองท่าแนะ คลองนาท่อม และคลองท่ามะเดื่อ ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนใน ส่วนใหญ่ของรอบปีน้ำจะเป็นน้ำจืด แต่บางปีที่แล้งจัดจะมีการรุกตัวของน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ค่าความเค็มสูงถึง 10 psu

3) ทะเลสาบตอนกลาง อยู่ถัดลงไปจาก ต.เกาะใหญ่ อ.กระแสสินธุ์ นับจากเกาะใหญ่ จ.สงขลา ลงไปถึงบริเวณบ้านปากกรอ ต.ปากกรอ อ.สิงหนคร จ.สงขลา มีพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยไม่ถึง 2 เมตร เป็นส่วนของทะเลสาบที่มีเกาะมากมาย เช่น เกาะสี่ เกาะห้า (ซึ่งเป็นสัมปทานรังนกนางแอ่น) เกาะหมาก เกาะนางคำ ทะเลสาบตอนกลางเชื่อมต่อกับ

ทะเลสาบตอนล่างโดยคลองหลวงและอ่าวท้องแบน มีคลองพรุพ้อ คลองพานไทร และคลองป่าบอน ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนกลาง ทะเลสาบช่วงนี้มีการผสมผสานของน้ำเค็มและน้ำจืด จึงมีระบบนิเวศที่เป็นทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย ค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 0-20 psu

4) ทะเลสาบตอนนอก เริ่มจากบ้านปากกรอ ต.ปากกรอ อ.สิงหนคร จ.สงขลา ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยไม่ถึง 2 เมตร ยกเว้นบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบ ซึ่งเป็นช่องทางเดินเรือ ลึกประมาณ 12-14 เมตร มีคลองหลายสายที่ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง ได้แก่ คลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางโหนด คลองพะวง เป็นต้น ทะเลสาบส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดน้ำจืดมากกว่าส่วนอื่น มีค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 20-30 psu ในฤดูแล้ง และเกือบเป็นศูนย์ในฤดูฝน มีการวางเครื่องมือประมงประเภทไซนั่งและโพงพางเกือบทั่วทั้งทะเลสาบ ทางตอนใต้มีพื้นที่ป่าชายเลนปกคลุมโดยทั่วไป แต่ปัจจุบันถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งและสัตว์น้ำชายฝั่ง

ทะเลสาบสงขลามีความหลากหลายทางชีวภาพและความอุดมสมบูรณ์ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ และพืชน้ำ มีความสำคัญทางการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ทะเลสาบสงขลาตอนในยังเป็นแหล่งน้ำจืดเพื่อการชลประทาน ในช่วงที่ผ่านมา มีการใช้ประโยชน์พื้นที่และทรัพยากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน จนก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่ ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปริมาณสัตว์น้ำและความหลากหลายทางชีวภาพลดลง การตื้นเขินของทะเลสาบและคูคลอง คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม มีความขัดแย้งในการใช้น้ำระหว่างชุมชน อันส่งผลให้วิถีชีวิตของประชาชนในพื้นที่ตกต่ำ มีฐานะยากจน และนำไปสู่การพัฒนาที่ไม่ยั่งยืน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

1.9.2 สถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

คุณภาพน้ำโดยรวมของทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่ อยู่ในเกณฑ์พอใช้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินพบว่า อยู่ในเกณฑ์แหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 คือ หากจะใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคและปรับปรุงคุณภาพเป็นพิเศษ โดยในแต่ละตอนของทะเลสาบสงขลา มีคุณภาพของน้ำ ดังนี้

- ทะเลน้อย คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างเสื่อมโทรม มีค่าออกซิเจนละลายค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะปากคลองนางเรียม พบว่ามีการปนเปื้อนของนิกเกิลและตะกั่ว คุณภาพน้ำ

บริเวณนี้มีแนวโน้มของความเสื่อมโทรมมาตั้งแต่ปี 2546 เนื่องจากได้รับน้ำเสียจากกิจกรรมชุมชน คุณภาพน้ำเทียบเท่ากับแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ส่วนคุณภาพน้ำบริเวณกลางทะเลน้อยอยู่ในเกณฑ์ดีเทียบเท่ากับแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 สามารถใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น

- ทะเลสาบตอนในและทะเลสาบตอนกลาง คุณภาพน้ำในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ เทียบเท่ากับแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 เกือบตลอดทั้งปี ในปี 2547 พบว่าบริเวณส่วนใหญ่ของทะเลสาบตอนในและทะเลสาบตอนกลาง ได้แก่ กลางทะเลสาบ ปากคลองลำป่าแหลม จองถนน และบ้านปากพะยูน คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ แต่พบการปนเปื้อนของนิกเกิล บริเวณปากคลองลำป่า ส่วนบริเวณปากคลองบ้านโรงคุณภาพน้ำค่อนข้างเสื่อมโทรม ปัญหาที่พบคือการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ (ยูโทรฟิเคชัน) ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นสาเหตุการตายของสัตว์น้ำในทะเลสาบ

- ทะเลสาบตอนนอก พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมมีความเสื่อมโทรมลงเป็นลำดับ โดยเฉพาะบริเวณปากคลองพะวง สะพานเกาะยอ และวัดสุวรรณคีรี คุณภาพน้ำมีความเสื่อมโทรมลงจากเกณฑ์พอใช้ มาเป็นค่อนข้างเสื่อมโทรม ต่อเนื่องมาถึงปัจจุบัน สำหรับบริเวณที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในขั้นวิกฤต คือ ปากคลองสำโรง ซึ่งมีคุณภาพน้ำเทียบเท่ากับแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 โดยสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น นับตั้งแต่ปี 2542 เป็นต้นมา

ในปัจจุบันคุณภาพน้ำของทะเลสาบส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่น้ำในลำคลองต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบค่อนข้างเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะ คลองลำป่า คลองขวาง และคลองสำโรง ซึ่งมีชุมชนอยู่อย่างหนาแน่น สำหรับคลองอู่ตะเภา พบว่าหลังจากมีการสร้างโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำรวมเมืองหาดใหญ่ คุณภาพน้ำเริ่มปรับตัวดีขึ้นจนอยู่ในเกณฑ์พอใช้ บริเวณที่มีปัญหาคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอก คือ ชุมชนเขาหัวแดง ชุมชนเกาะยอ เขตเมืองสงขลา และชายทะเลแถบเก้าเส้ง ในสองบริเวณแรกนั้นมีสาเหตุมาจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่หนาแน่น โดยเฉพาะกระชังเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีการสะสมสารอินทรีย์ในตะกอนบริเวณใต้กระชังปลา เมื่ออุณหภูมิและสภาวะแวดล้อมเหมาะสม สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนในน้ำ จนทำให้น้ำบริเวณนั้นขาดออกซิเจน โดยเฉพาะในเวลากลางคืน ทำให้เกิดภาวะ hypoxia (ปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มก./ล.) ซึ่งคาดว่าอาจเป็นสาเหตุทำให้ปลาในกระชังลอยแพตาย ซึ่งพบบ่อยในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

1.9.3 แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำของทะเลสาบสงขลา

ปัจจุบันหลายพื้นที่ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีการเจริญเติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการขยายตัวของชุมชนเมือง เช่น เทศบาลนครหาดใหญ่ เทศบาลนครสงขลา เทศบาลเมืองพัทลุง เป็นต้น ตลอดจนการขยายตัวของอุตสาหกรรมจำนวนมากในพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และตั้งอยู่ตามแนวของลำน้ำที่ไหลลงทะเลสาบสงขลา โดยเฉพาะคลองอู่ตะเภา คลองพะวง และลำน้ำสาขาต่างๆ ซึ่งเป็นที่รองรับมลพิษที่มาจากแหล่งกำเนิดหลายประเภท (รูปภาพประกอบที่ 1-4) และเนื่องจากทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้ง น้ำเสีย และตะกอนจากชุมชนรอบลุ่มน้ำ จึงทำให้ทะเลสาบสงขลา กลายเป็นแหล่งกักเก็บและสะสมมลสารต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทั้งจากแหล่งที่มาที่ระบุได้ (point sources) และจากแหล่งที่มาที่กระจาย (non-point sources)

แหล่งกำเนิดมลพิษในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีอยู่หลายแหล่งด้วยกัน แต่แหล่งกำเนิดมลพิษหลักที่สำคัญและมีผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มสุกร นาุ้ง และพื้นที่เกษตรอื่นๆ สี่ประเภทแรกมีลักษณะเป็นแบบแหล่งที่มาที่ระบุได้ ส่วนประเภทหลังสุดเป็นแบบแหล่งที่มาที่กระจาย (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548; กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

1.9.3.1 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน

ในพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีการกระจายตัวของประชากรไม่สม่ำเสมอ โดยมีชุมชนอยู่หนาแน่นในบริเวณเมืองใหญ่ๆ เช่น เทศบาลนครหาดใหญ่ และเทศบาลนครสงขลา ส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณน้ำเสีย และปริมาณค่า BOD (biochemical oxygen demand) จากชุมชนในพื้นที่ต่างๆ แตกต่างกันไป และน้ำเสียจากชุมชนต่างๆ ส่วนใหญ่จะไหลลงคลอง ซึ่งท้ายสุดจะเชื่อมลงสู่ทะเลสาบสงขลา

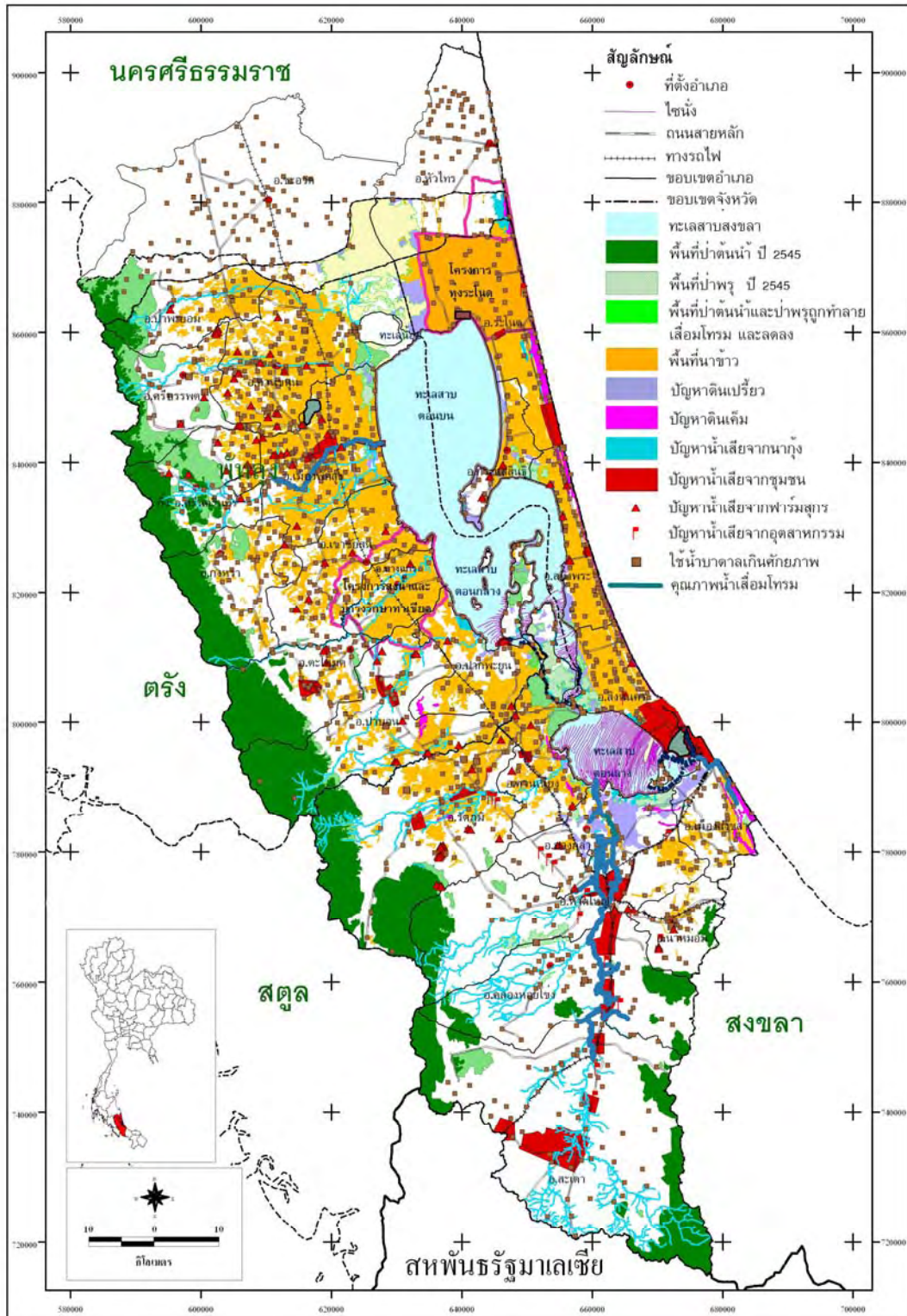
จากการประมาณน้ำเสียและปริมาณความสกปรกโดยใช้ข้อมูลสำนักทะเบียนราษฎรในปี 2546 โดยคณะทำงานแก้ไขปัญหาปัญหาน้ำเสียในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปี 2547 ได้ประมาณการความสกปรกในรูปบีโอดีจากชุมชนประมาณ 14,200 กิโลกรัมต่อวัน และพบว่าพื้นที่ที่สำคัญ คือ เทศบาลนครหาดใหญ่ เนื่องจากมีประชากรมากที่สุด รองลงมาคือ เทศบาลตำบลสิงหนคร และเทศบาลเมืองพัทลุง (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ในพื้นที่จำนวน 24 เทศบาล มีเพียงเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลนครสงขลาเท่านั้นที่มีระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง แต่ระบบที่รวบรวมยังไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ทำให้มีความสามารถในการบำบัดรวมได้เพียงประมาณ 7% ของ

ประชากรทั้งหมดในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และในแง่ของการออกแบบ ระบบบำบัดน้ำเสียถูกออกแบบเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในรูปค่า BOD และสารแขวนลอยเท่านั้น ยังไม่มีหน่วยบำบัดสารอาหาร คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหา Eutrophication อีกทั้งน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดรวม มีความเข้มข้นน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้ และเกิดการหลุดล้นของสารแขวนลอยสู่สิ่งแวดล้อมบ่อยครั้ง ทำให้เกิดกรณีความขัดแย้งกับประชาชนในพื้นที่ ลุ่มน้ำย่อยที่มีปัญหาในเรื่องคุณภาพน้ำมากที่สุด คือ ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา รองลงมาคือ ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก (คาบสมุทรสทิงพระ) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

1.9.3.2 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอุตสาหกรรม

จากการกำหนดให้พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่เร่งรัดพัฒนาตามยุทธศาสตร์พัฒนาเศรษฐกิจภาคใต้ ทำให้ภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) และโรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในเขตจังหวัดสงขลา โดยเฉพาะเขตอำเภอหาดใหญ่และอำเภอสะเดา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่เกี่ยวกับอาหารทะเลแปรรูปและแช่แข็ง และโรงงานยางหรือผลิตภัณฑ์ยางพารา โรงงานใน จ.สงขลา ส่วนใหญ่จะรวมตัวอยู่หนาแน่นตามเส้นทางคมนาคมสายหลัก ส่วนในพื้นที่จังหวัดพัทลุงส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดย่อม โดยเป็นโรงงานผลิตและรับซื้อน้ำยางชั้นที่ก่อตั้งในรูปของสหกรณ์กองทุนสวนยาง กระจายตัวตามตำบลต่างๆ ทั่วทั้งจังหวัด ซึ่งล้วนผลิตน้ำเสียในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับโรงงานในเขต จ.สงขลา น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาโดยผ่านคลองสาขาต่างๆ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547) ในจำนวนโรงงานทั้งหมดพบว่ามีโรงงานที่ก่อให้เกิดความสกปรกลงสู่คลองสู่ทะเลสาบสงขลาสูงกว่า 100 กก.BOD/วัน มีเพียง 7 โรง อีก 16 โรง อยู่ระหว่าง 40-100 กก. BOD/วัน ที่เหลือเป็นโรงงานขนาดเล็กที่ก่อมลสารต่ำกว่า 40 กก.BOD/วัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

ปัญหาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น และมาตรการในการดูแลยังไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในเขตลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง 53 แห่ง โรงงานเกี่ยวกับสัตว์น้ำ 10 แห่ง โรงงานประเภทอื่นๆ 11 แห่ง รวม 74 แห่ง และมีน้ำทิ้งจากโรงงานผ่านระบบบำบัดแล้วปล่อยลงคลอง จำนวน 26 โรงงาน และโรงงานมีบ่อเก็บกักโดยไม่ปล่อยลงคลอง 48 แห่ง โดยความสามารถในการบำบัดได้ของระบบบำบัดทั้ง 26 โรงงาน มีประสิทธิภาพตั้งแต่ 70-99.8% ซึ่งนับเป็นภาระความสกปรกที่ปล่อยลงสู่คลองอู่ตะเภาแล้วจะมีค่าสูงถึงประมาณ 500 กก.BOD/วัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)



ภาพประกอบที่ 1-4 การใช้ประโยชน์ที่ดินและปัญหาลพิษต่างๆในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
 ที่มา: ดัดแปลงจาก “ประเด็นปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในลุ่มน้ำทะเลสาบ
 สงขลา” (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

1.9.3.3 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทฟาร์มสุกร

ฟาร์มสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเกษตรกรรมที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปัจจุบัน จากข้อมูลพบว่ามีจำนวนฟาร์มสุกรในส่วนที่ขึ้นทะเบียนทั้งหมด 108 ฟาร์ม กระจายตัวอยู่ในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยจะหนาแน่นใน จ.พัทลุง บริเวณ อ.ควนขนุน อ.เมืองพัทลุง และ อ.ศรีบรรพต (จากการสำรวจอย่างไม่เป็นทางการ คาดว่าในความเป็นจริงแล้วอาจมีฟาร์มจำนวนถึงประมาณ 2 เท่าของจำนวนที่ขึ้นทะเบียนอยู่) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) โดยทั่วไปฟาร์มสุกรมักตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ จึงมีการระบายน้ำเสียลงสู่คูคลองหรือลำรางสาธารณะและไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาในที่สุด (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2547)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกรนั้นเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกร ซึ่งปนเปื้อนมูลสุกรและเศษอาหารทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง นอกจากนี้ยังปนเปื้อนยาและสารเคมี ปริมาณมลสารสำคัญที่เกิดจากฟาร์มสุกรจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือค่า BOD ของน้ำเสีย ซึ่งนับว่าเป็นมลสารที่เป็นปัญหาต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุด มีค่าความสกปรกเฉลี่ย 3,000 มก./ล. สูงกว่าค่าความสกปรกของแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป ถึง 750 เท่า หรือคิดเป็น 100-136 ก./ตัว/วัน เทียบเท่ากับความสกปรกที่เกิดจากคน 2-3 คน (40-50 ก./คน/วัน) มีค่าปรอทเฉลี่ย 0.0023 มก./ล. และสารเคมีสารฆ่าแมลงเฉลี่ย 0.0002 มก./ล. (สุชาติ ทีชะกุล และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, ม.ป.ป. อ้างถึงใน สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548) เมื่อพิจารณาในส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบว่ามีปริมาณค่าของ BOD loading อยู่ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา รองลงมาคือลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม

1.9.3.4 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทนาุ้ง

พื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลากระจายตามฝั่งทะเลอ่าวไทย ในบริเวณอำเภอเมือง อำเภอลี้หินคร และอำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) น้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง เกิดจากอาหารกุ้งที่เหลือตกค้างในบ่อ และจากสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะที่ตกค้างจากการใช้ของผู้ประกอบการที่ขาดความรู้ และเทคนิค อาหารที่ตกค้างร่วมกับสิ่งที่ยับยั้งจากตัวกุ้งมีบางส่วนที่เน่าเสียปะปนอยู่กับเลนก้นบ่อ และบางส่วนจะปะปนกับน้ำในบ่อ เมื่อถึงเวลาต้องการทำการระบายน้ำเสียออกและนำน้ำดีเข้ามาแทน ทำให้ต้องถ่ายเทน้ำเสียเหล่านั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เกิดอันตรายต่อแหล่งอนุบาลในวัยอ่อนและแหล่งโซ่อาหารบริเวณปากแม่น้ำและชายทะเล

การประมาณพื้นที่การทำนากุ้งจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมของกรมพัฒนาที่ดินในปี 2543 พบว่ามีพื้นที่ประมาณ 34,217 ไร่ เมื่อพิจารณาปริมาณมลสารที่อาจลงสู่ทะเลสาบสงขลาจะเห็นว่ามาจากบ่อที่อยู่ขอบทะเลสาบเท่านั้น ส่วนบ่อที่อยู่ในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยถือว่ามลสารไม่เข้าสู่ทะเลสาบสงขลา ในส่วนนากุ้งขอบทะเลสาบนี้จะมีพื้นที่ประมาณ 12,578 ไร่ โดยไม่รวมถึงพื้นที่ที่เป็นเกาะที่อยู่บริเวณทะเลสาบสงขลา ยกเว้นเกาะหมาก จ. พัทลุง และจากการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ.2548 ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าพื้นที่นากุ้งในปัจจุบันถูกทิ้งร้างลงอีกประมาณ 10-30% และจากข้อมูลโครงการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และการควบคุมน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2545 พบว่า น้ำทิ้งจากพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งก่อให้เกิดมลสารในรูป BOD ประมาณ 33.7 กก./ไร่/ครั้งการเลี้ยง (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

1.9.3.5 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทพื้นที่เกษตรกรรม

แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทนี้เป็นแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะกระจาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะหมายรวมถึงน้ำท่า (runoff) จากพื้นที่กสิกรรมด้วย เช่น จากการทำนา การทำสวนผลไม้ และสวนยางพาราซึ่งเป็นการใช้พื้นที่หลักของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา การเกษตรกรรมในประเทศไทยมีการใช้สารเคมีกันอย่างแพร่หลาย เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้ เช่น ใช้ในปริมาณที่มากเกินไป หรือไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้ โดยเฉพาะสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทำให้เกิดอันตรายหรือพิษต่อมนุษย์ สารเคมีเหล่านี้บางชนิดไม่สลายตัวและสะสมอยู่ในดินหรือแหล่งน้ำสาธารณะเป็นเวลานานนับปี (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2545) ปัญหามลพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำมากที่สุด เกิดจากการทำนาเป็นหลัก เนื่องจากมีการใช้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมีจำนวนมาก ทั้งนี้ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษจะเกิดมากในช่วงที่ต้องมีการระบายน้ำออกจากนา ภายหลังการปลูกข้าว และก่อนการเก็บเกี่ยว หรือจากน้ำฝนที่ไหลชะพื้นที่ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2549) แหล่งกำเนิดมลพิษและน้ำเสียประเภทนี้มีการกระจายตัวสูง และยังไม่มียุทธศาสตร์การบำบัดน้ำเสียที่ชัดเจน ทั้งยังมีการปล่อยน้ำเสียจากกิจกรรมดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติที่ผ่านมายังมิได้ประมาณค่าความสกปรกที่เกิดจากส่วนนี้ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แต่สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้มีการประมาณการพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกิจกรรมทางกสิกรรมแยกตามลุ่มน้ำย่อยไว้ดังแสดงในตารางที่ 1-1 และหากสามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์การปนเปื้อนของมลสารต่างๆ ในน้ำไหลบ่าจากกิจกรรมแต่ละประเภทได้ ก็สามารถประมาณปริมาณค่าหรือศักยภาพของความสกปรกที่ปล่อยลงสู่ทะเลสาบได้

ตารางที่ 1-1 พื้นที่เกษตร (เฉพาะที่เป็นแหล่งกำเนิดลักษณะกระจาย: non-point sources) แบ่งตาม
ลุ่มน้ำย่อย

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลา	พื้นที่เกษตร แบ่งตามลุ่มน้ำย่อย (ไร่)				
	นาดี	นาหวาน	นาร้าง	ยางพารา	ไม้ผลผสม
1. ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม	128,788	-	184	161,471	17,561
2. ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ	108,128	-	82	76,872	9,656
3. ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม	139,353	-	678	161,959	29,333
4. ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าเชียด	149,419	-	232	194,130	15,057
5. ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน	48,722	-	4,008	103,897	4,046
6. ลุ่มน้ำย่อยคลองพรุพ้อ	82,602	60,707	1,305	126,762	9,544
7. ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ	23,524	34,777	750	196,845	9,442
8. ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา	18,769	11,810	54,847	1,057,510	26,812
9. ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1	-	181,631	5,529	-	14,837
10. ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 2	1,094	76,724	1,069	11,376	10,626
11. ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 3	43,408	-	4,475	-	9,202
12. ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4	16,756	-	10,181	35,703	4,327
รวม	760,562	365,649	83,341	2,125,775	161,193

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548)

1.10 ปริมาณโลหะหนักในตะกอน

ดังที่กล่าวมาแล้ว การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอน มีทั้งจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ แต่พบว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนในหลายพื้นที่ เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์แทบทั้งสิ้น โดยพบว่าโลหะหนักในตะกอนแต่ละพื้นที่ มีค่าความเข้มข้นมากน้อยแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1-2 และ 1-3 ขึ้นอยู่กับหินต้นกำเนิด สภาพพื้นที่ และสภาวะแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ

ตารางที่ 1-2 ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนจากบริเวณต่างๆ

Area	การสกัด	Concentration (mg/kg)								Ref.
		Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	Fe	Mn	Al	
Pasvik River drainage (Northern Fennoscandia)	HNO ₃	1.21 (<0.5-3.84)	613 (9-6495)	-	29.8 (<10-62)	122.8 (45-439)	-	-	-	[1]
Ladoga Lake (Russia)	HNO ₃ + HClO ₄ + HF + HCl	<1-3.5	<1-36	<1-80	33-143	23-188	8928-43623	121-3403	18931-74598	[2]
Wielkie Lake (West Poland)	HNO ₃ + H ₂ O ₂	1.20±0.03	2.05±0.09	1.15±0.08	9.7±0.4	571±9.8	30.2±9	39±2.1	-	[3]
Boszkowo Lake (West Poland)	HNO ₃ + H ₂ O ₂	1.80±0.05	2.95±0.11	1.85±0.11	13.4±0.4	1100±7.5	98.9±16	101±6.3	-	[3]
Dominikie Lake (West Poland)	HNO ₃ + H ₂ O ₂	1.25±0.08	2.65±0.10	1.30±0.09	12.9±0.4	475±7.8	44.1±16	178±7.2	-	[3]
Lochnagar (Scotland)	HNO ₃	0.3-1.9	8-25	-	100-360	39-180	-	-	-	[4]
Mai Po Marshes Nature Reserve (Hong Kong)	HNO ₃ + H ₂ SO ₄	1.05±0.823 (ND-3.46)	42.8±16.7 (18.8-86.6)	22.4±7.9 (10.5-46.1)	52.6±12.2 (17.1-90.7)	149±53.6 (55.6-328)	-	-	-	[5]
Bell Creek Catchment Southeast Queensland (Australia)	Aqua regia (HNO ₃ + HCl)	-	0.5-5.8	1.0-26.0	3-7.3	18.2-68.0	9400-41000	0.4-229	955-9821	[6]
Odiel estuary and marshes, Huelva (Southwest Spain)	HF + HNO ₃ + HCl + HClO ₄	<DL-10.7	175-2640	17-117	131-1840	852-6260	-	-	-	[7]
Mejillones Bay (Northern Chile)	HClO ₄ + HF	21.9±11.1 (3-38)	-	-	-	29.7±12.5 (10-62)	-	93.8±24.4 (20-138)	-	[8]
San José and Joyuda Lagoon (Puerto Rico)	HNO ₃ + H ₂ SO ₄	1.8 vs.0.1	105 vs. 22	-	219 vs. 8	531 vs. 52	-	-	-	[9]
Tee Estuary (North-east England)	HNO ₃ + HF + HClO ₄	5.9	103	224	307	392	-	-	-	[10]
Estuarine mangrove forests of Terengganu (Malaysia)	HF + HNO ₃ + HCl	-	31.1±16.5	-	10.5±7.12	21.1±14.0	-	-	-	[11]

[1] Dauvalter and Rognerud (2001)
 [2] Ristola *et al.* (1996)
 [3] Szywanowaka *et al.* (1999)
 [4] Yang *et al.* (2002)
 [5] Liang and Wong (2003)
 [6] Liaghati *et al.* (2004)

[7] Gómez-Ariza *et al.* (1999)
 [8] Valdés *et al.* (2005)
 [9] Acevedo-Figueroa *et al.* (2006)
 [10] Jones and Turki (1997)
 [11] Ong *et al.* (2006)

ตารางที่ 1-3 ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนจากบริเวณส่วนต่างๆ ของทะเลสาบสงขลา

Area	การสกัด	Concentration (mg/kg)								Ref.
		Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	Fe	Mn	Al	
Thale Noi	HNO ₃ + HClO ₄	0.6 (0.5-0.7)	9.5 (7.7-11.4)	19.9 (16.4-23.4)	20.4 (18.9-21.3)	41.15 (33.2-56.3)	15422 (8886-22019)	300.1 (140.7-545.2)	-	[12]
Inner SKL	HNO ₃ + HClO ₄	0.2 (0.04-0.27)	4.4 (3.4-5.4)	11.3 (6.1-22.2)	22.5 (13.0-240.8)	17.8 (11.7-23.1)	1227. (6599-24139)	292.8 (109.8-539.7)	-	[12]
Inner SKL	HF + HClO ₄ + HCl	-	207.0 (185.7-240.8)	-	-	43.9 (29.0-77.5)	20430 (16000-48510)	342.5 (199.8-454.0)	-	[13]
Middle SKL	HNO ₃ + HClO ₄	0.24 (0.12-0.34)	4.6 (2.2-8.9)	9.1 (6.7-14.3)	25.3 (18.9-34.40)	16.2 (8.9-26.4)	14658 (11596-18253)	298.1 (153.4-502.3)	-	[12]
Middle SKL	HF + HClO ₄ + HCl	-	186.6 (145.9-250.0)	25.0 (18.9-34.4)	-	45.1 (32.5-57.5)	27118 (20000-37000)	306.3 (214.0-300.8)	-	[13]
U-Tapao Canal (Outer SKL)	Aqua regia (HNO ₃ + HCl) + HF	-	8.6-28.2	-	11.7-44.4	48.6-130.3	16.7-42.0	0.20-0.6	-	[14]
Outer SKL	Aqua regia (HNO ₃ + HCl) + HF	< 25	-	49.6 (30.1-67.5)	40.3 (24.5-59.8)	-	30668 (21014-36683)	474 (368-756)	-	[15]
Outer SKL	0.1 M DTPA	-	10	17	-	51	19975	245	-	[16]
Outer SKL	Follow by Yokokawa (1984)	0.31±0.158	7.09±3.621	-	20.88±7.795	24.79±9.705	656.5±95.8	-	-	[17]
Outer SKL	HF + HClO ₄ + HCl	-	196.2 (130.6-260.2)	-	-	73.4 (55.5-88.6)	36120 (26050-45000)	474.6 (290.8-773.5)	-	[13]
Outer SKL	HNO ₃ + HCl	0-1.25	-	-	26.6-92.8	10.5 – 44.3	-	-	-	[18]

[12] สมศักดิ์ มณีพงศ์ และสุภาพร รักเขียว (2541)
 [13] ณรงค์ น. เชียงใหม่ และคณะ (2522)
 [14] เวียงชัย จงศิริรัตนกุล (2545)
 [15] ไตรภพ ต่อสุวรรณ และครุณี ต่อสุวรรณ (2545)

[16] Maneepong. (1996)
 [17] ภาสกร นมพลกรัง และคณิต ไชยคำ (2539)
 [18] ประดิษฐ์ มีสุข (2542)

จากตารางที่ 1-3 จะเห็นว่า ในบริเวณทะเลสาบสงขลาเองนั้น มีผู้ทำการศึกษาไว้น้อยมาก และเป็นการศึกษาในทะเลสาบตอนนอกเป็นส่วนมาก โดยเน้นบริเวณปากคลอง ยังไม่มีการศึกษาครั้งใดที่ทำการศึกษาครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของทะเลสาบสงขลา นอกจากนี้การศึกษานี้ในแต่ละครั้งก็ใช้วิธีการในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่เหมือนกัน ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนที่พอเพียงได้

1.11 ค่ามาตรฐานดินตะกอน

จากการที่พบว่าความเข้มข้นของโลหะในแต่ละพื้นที่มีค่ามากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรณีเคมีของแต่ละลุ่มน้ำ ดังนั้นการที่จะประเมินว่าพื้นที่แต่ละแห่งนั้นเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนหรือไม่ จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานของแต่ละพื้นที่มาใช้ควบคุม ซึ่งค่ามาตรฐานแต่ละพื้นที่ก็จะไม่เท่ากัน เพราะต้องกำหนดเกณฑ์ให้เหมาะสมกับค่าความเข้มข้นพื้นฐาน (background level) ของแต่ละพื้นที่ด้วย ดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 เกณฑ์ค่ามาตรฐานของตะกอนในแต่ละประเทศ

Metals	USA		Australia- New Zealand		Hong Kong		Thailand (Proposed guideline)	
	ERL	ERM	ISQV-Low	ISQV-High	ISQV-Low	ISQV-High	ERL	ERM
Cd	1.2	9.6	1.5	10	1.5	9.6	1.2	9.6
Cr	81	370	80	370	80	370	81	370
Cu	34	270	65	270	65	270	34	270
Pb	46.7	218	50	220	75	218	46.7	218
Zn	150	410	200	410	200	410	150	410

ERL = Effect Range Low

ERM = Effect Range Median

ISQV = Interim Sediment Quality Values

ที่มา: PCD (2006)

หมายเหตุ: หน่วยเป็น mg/kg-dry weight

1.12 วัตถุประสงค์

วิเคราะห์รูปแบบการแพร่กระจายและปัจจัยที่ควบคุมการสะสมของ Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn ในตะกอนทะเลสาบสงขลา เพื่อที่จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในวางแผนการจัดการทะเลสาบสงขลาในระยะยาวต่อไป

1.13 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลเชิงพื้นที่ของความเข้มข้น ทำให้ทราบรูปแบบการแพร่กระจายของโลหะหนักในตะกอนทะเลสาบสงขลา และจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งทางกายภาพ เคมีและโลหะหนัก โดยใช้วิธีทางสถิติขั้นสูง จะทำให้ทราบถึงปัจจัยทางธรณีเคมีที่ควบคุมการแพร่กระจายและการสะสมความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนทะเลสาบสงขลา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มของการสะสมของโลหะหนักในตะกอน และเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อม และวางแผนจัดการใช้ประโยชน์ที่ดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในระยะยาวต่อไป

1.14 ขอบเขตงานวิจัย

วิเคราะห์ความเข้มข้นของ Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn ในตะกอนทะเลสาบสงขลา รวมไปถึงศึกษาการแพร่กระจาย และปัจจัยที่ควบคุมการแพร่กระจายของโลหะดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ การกระจายขนาดของอนุภาคตะกอน ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และอลูมิเนียมในตะกอน