

## บทที่ 2

### เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยเรื่อง ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีส ที่ปนเปื้อนในน้ำและการสะสมในปลานิลแดงที่เลี้ยงในกระชัง บริเวณแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก ได้จัดเอกสารเป็นลำดับไว้ดังนี้

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก  
ปัญหาการเกิดมลพิษในแหล่งน้ำของแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก  
โลหะในน้ำ

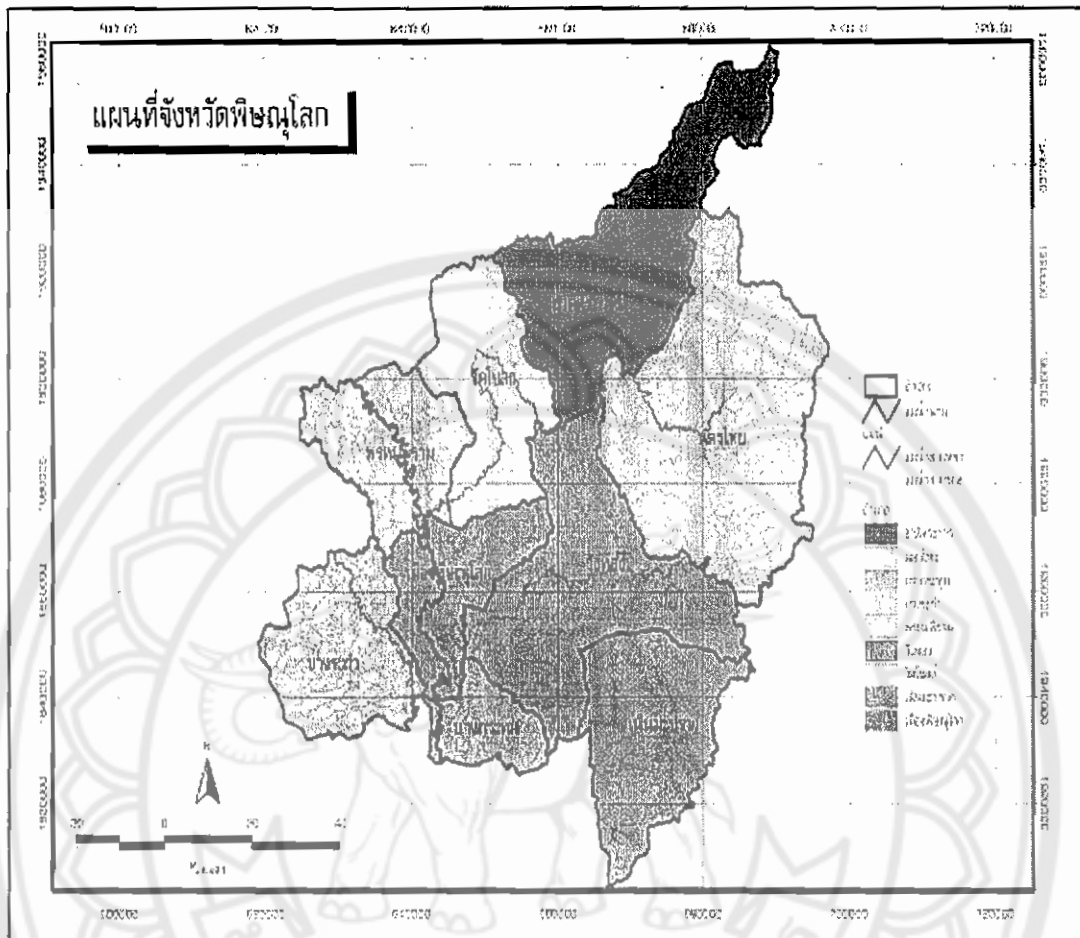
คุณลักษณะของตะกั่ว ทองแดงและแมงกานีสในแหล่งน้ำและการแพร่กระจายสู่  
สิ่งแวดล้อม

การสะสม และความเป็นพิษของตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีส ในสิ่งมีชีวิต  
ปลานิลแดง (ปลาทาบิม)  
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก

ลักษณะทางภูมิศาสตร์จังหวัดพิษณุโลก

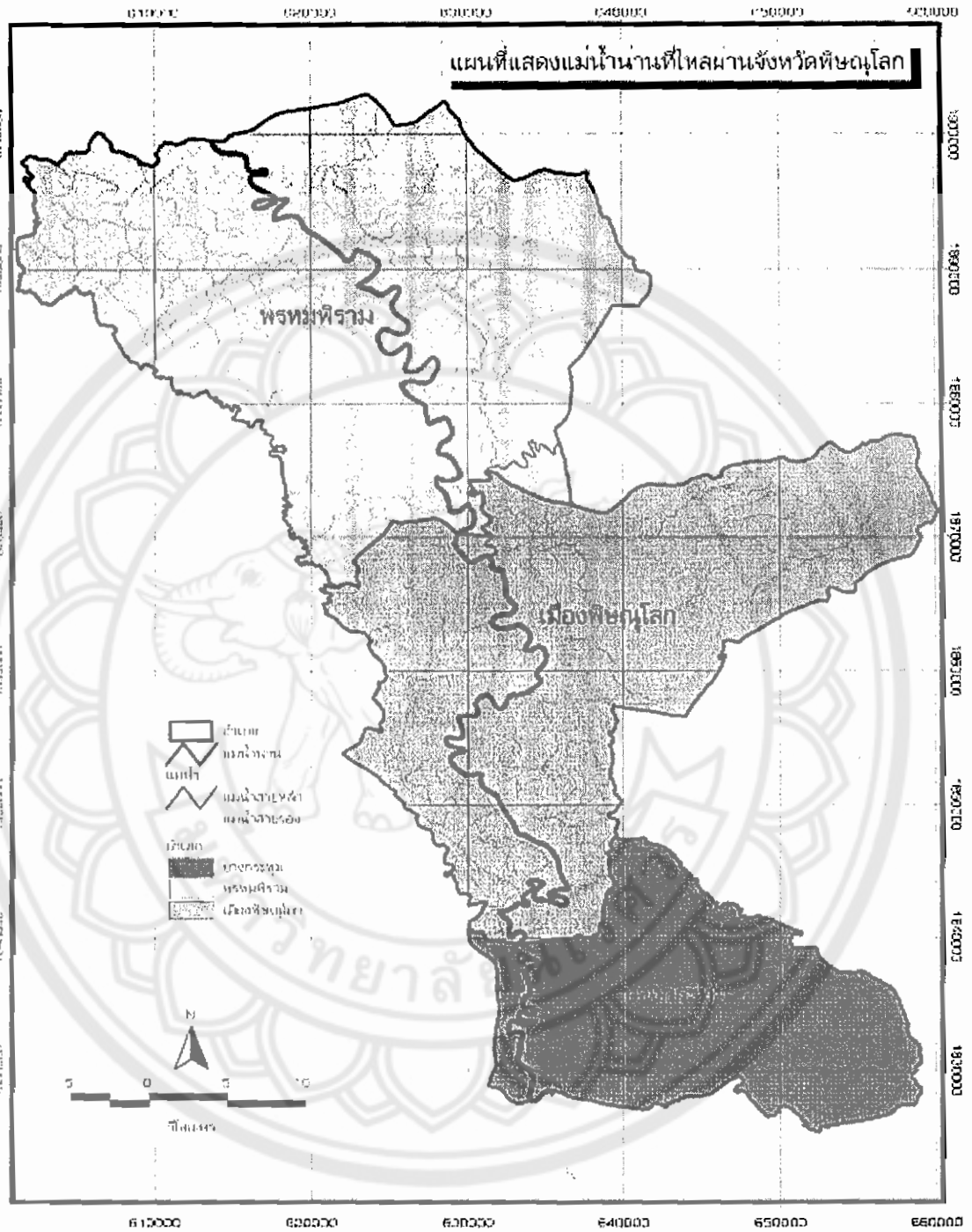
สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพิษณุโลก (2548) จังหวัดพิษณุโลกมีเนื้อที่ทั้งหมด 10,815.854 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 63 ของพื้นที่ภาคเหนือ ที่ตั้งของจังหวัดพิษณุโลกอยู่ในบริเวณภาคเหนือตอนล่าง ลักษณะภูมิอากาศจัดอยู่ในประเภทฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู (Tropical wet and climate Aw-climate) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 1,358.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 27.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ แหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม แม่น้ำแควน้อย แม่น้ำวังทอง สภาพพื้นที่โดยทั่วไปจะมีสภาพเป็นพื้นที่ราบลุ่มริมแม่น้ำน่าน และพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำยม ซึ่งใช้ในการทำการเกษตรที่มีความสำคัญของจังหวัดพิษณุโลก



ภาพ 1 แผนที่จังหวัดพิษณุโลก

#### ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก

แม่น้ำน่านมีต้นกำเนิดจากดอยภูแว ในทิวเขาหลวงพระบางในท้องที่อำเภอทุ่งช้าง อำเภอเชียงกลาง และอำเภอบัว จังหวัดน่าน มีความยาว 770 กิโลเมตร ไหลผ่านจังหวัดน่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก และพิจิตร พื้นที่รับน้ำ 34,300 ตารางกิโลเมตร ไหลผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ จากนั้นจึงไหลเข้าสู่จังหวัดพิษณุโลกผ่านอำเภอพรมพิราม มีแม่น้ำแควน้อยไหลมาบรรจบ และไหลผ่านอำเภอบางกระทุ่มเข้าสู่จังหวัดพิจิตร จากนั้นจึงไหลเข้าสู่จังหวัดนครสวรรค์ แม่น้ำน่านเป็นลำน้ำที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประชาชนในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเนื่องด้วยประชาชนสามารถใช้ประโยชน์จากแม่น้ำ เพื่อทำการเกษตรกรรม ใช้ในการอุปโภคและบริโภค ได้ตลอดทั้งปี (อาวีระ ภัคมาตร์ และจำลอง เปรมรักษ์, 2541)



ภาพ 2 แม่น้ำน่านที่ไหลผ่านจังหวัดพิษณุโลก

ปัญหาการเกิดมลพิษในแหล่งน้ำของแม่น้ำน่าน จังหวัดพิษณุโลก

สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพิษณุโลก (2548) อธิบายเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดมลพิษในแหล่งน้ำของจังหวัดพิษณุโลก ไว้ดังนี้

### 1. น้ำเสียจากชุมชน

แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนที่สำคัญในจังหวัดพิษณุโลก คือน้ำเสียจากชุมชนในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ปัจจุบันยังคงก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียไม่แล้วเสร็จจึงระบายสู่อ่างน้ำน่านและคลองโคกช้าง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำดังกล่าวอย่างมาก (กฤษณ์ จุวัฒนา และคณะ, 2543)

### 2. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีน้ำทิ้งโดยสำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดพิษณุโลก พบปัญหาคุณภาพน้ำทิ้งที่สำคัญคือค่าความสกปรกในรูป BOD ค่อนข้างสูงมากเกือบทุกแห่ง นอกจากนี้ยังมีโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการที่ปนเปื้อนกับแหล่งน้ำ (สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพิษณุโลก, 2548)

### 3. น้ำเสียจากการเกษตรกรรม และการปศุสัตว์

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพิษณุโลก พบปัญหาค่าความสกปรกในรูป BOD, COD, TKN และ SS สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเป็นส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ (Linde et al., 1998)

ตาราง 1 แสดงโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณแม่น้ำน่าน

ประเภทกิจการ	จำนวน
ซ่อม, เคาะ ฟันสีรถยนต์	24
ซ่อมรถยนต์, เครื่องยนต์	9
กลึง และเชื่อมโลหะ	9
หล่อพระพุทธรูป, ชุบ หล่อโลหะ	7
อัดเศษโลหะ, พิมพ์สิ่งพิมพ์	2
รวม	51

ที่มา สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพิษณุโลก (2548, หน้า 4-36)

## โลหะในน้ำ

ปริมาณของสาร (Elements) มีอิทธิพลทั้งด้านบวกและด้านลบต่อมนุษย์ พืชและสัตว์ ในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญต่อสารเหล่านี้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ส่งผลให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลงไป มีการปนเปื้อนของสารสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางน้ำ อากาศและดิน เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) ของมนุษย์ ทำให้เกิดอาการเจ็บป่วย เนื่องจากปริมาณของสารที่ได้รับเข้าไปทำลายระบบทางชีวเคมี ภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (จตุมิตร สายแก้ว, 2542)

การปนเปื้อนของโลหะในน้ำอาจเกิดจากธรรมชาติ หรือจากการกระทำของมนุษย์ อาจเข้าสู่ระบบน้ำ (Hydrosphere) ทางบรรยากาศ และการไหลพาของน้ำ โลหะจะถูกพัดพาโดยการไหลของแม่น้ำลงสู่ทะเลหรือทะเลสาบ ส่วนสารที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น ฝุ่นจากการระเบิดของภูเขาไฟ การเผาไหม้ หรือขบวนการทางชีววิทยาก็เป็นแหล่งที่ปล่อยโลหะลงสู่แหล่งน้ำ อาจเกิดจากกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมือง การถลุงโลหะ การผลิต การใช้สารประกอบของโลหะหนัก การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเกษตร น้ำทิ้งจากชุมชนเมือง (กรมอนามัย, 2541)

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึงธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไปมีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 ในตารางธาตุ (โยธิน สุริยพงศ์, 2542) มีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอท เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี เป็นมันวาวสะท้อนแสงนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือมีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic Compound) ซึ่งเป็นสารพิษและสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายมนุษย์อาจมีผลทำให้พิการหรือเสียชีวิตได้ (ทินพันธุ์ เนตรแพ, 2545) โลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เช่น  $Cd^{+2}$ ,  $Hg^{+}$  และ Pb (ปรอทแก้ว ศิริโยธา และคณะ, 2548)

ธาตุพิษ (Toxic Element) หมายถึง โลหะหนัก และธาตุอื่น ๆ ธาตุพิษเหล่านี้เป็นสารมลพิษเนื่องจากการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบ และเครื่องใช้ต่าง ๆ แล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

กรมอนามัย (2541) สารเคมีหลายชนิดจัดเป็นสารพิษ ระดับความเป็นพิษของสารจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร และชนิดของผลกระทบที่เกิดขึ้น สารเคมีหลายชนิดเป็นสารที่จำเป็นหรือมีประโยชน์ต่อมนุษย์ แต่ความเป็นพิษเมื่อได้รับในปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็น สารเคมีอาจ

เป็นตัวหักล้าง (Anagonistic) หรือเป็นตัวเสริมฤทธิ์กัน (Antagonistic) โดยมีบทบาทในการลดหรือเพิ่มการเกิดพิษของอีกตัวหนึ่ง ความเป็นพิษของสาร สามารถศึกษาจากความสัมพันธ์ของปริมาณสาร และการตอบสนอง (Dose-response) ซึ่งการตอบสนองจะเป็นผลของการแสดงอาการ ส่วนปริมาณสารจะเกี่ยวข้องกับผลกระทบเฉียบพลัน หรือเรื้อรัง สารที่ทำให้เกิดผลเฉียบพลันเกิดจากการได้รับสารปริมาณที่มากในระยะเวลาที่สั้น ที่ทำให้สิ่งมีชีวิตตายได้ สำหรับอวัยวะที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดพิษจากโลหะจะแตกต่างกันไป ตัวอย่าง อวัยวะที่ได้รับผลกระทบจาก  $Hg^{2+}$  คือ ไต หรือ  $CH_3Hg^+$  จะส่งผลกระทบต่อสมอง และตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อระบบเลือด และสมอง

**คุณลักษณะของตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีสในแหล่งน้ำ และการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม**

#### 1. คุณลักษณะของตะกั่วในแหล่งน้ำ และการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะที่จัดอยู่ในหมู่ IV ของตารางธาตุมีจุดหลอมตัว 327.4 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,620 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะ 11.35 จึงจัดตะกั่วเป็นโลหะหนัก ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์ต่อพืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังเป็นพิษร้ายแรงต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ด้วย (มันลิน ดันทูลเวศม์, 2543) ธาตุชนิดนี้มีการกระจายตัวทั่วไปในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ เปลือกโลกจะมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 13 ppm (ส่วนในล้านส่วน) และในมหาสมุทรจะมีตะกั่วเฉลี่ยประมาณ 0.03 ppb (Co'Neill and Peter, 1993)

มนุษย์รู้จักใช้ตะกั่วมานานแล้วโดยใช้สินแร่ตะกั่วอันได้แก่ กาลีนา (Galena,  $PbS$ ) เซร์ไรต์ (Cerrusite,  $PbCO_3$ ) แองกลีไซต์ (Anglesite,  $PbSO_4$ ) เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติที่ง่ายต่อการใช้ เช่น มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 327.4 องศาเซลเซียส จึงง่ายต่อการหลอม โลหะชนิดนี้มีลักษณะอ่อนมาก ง่ายต่อการตัด ขึ้นรูป จึงถูกนำมาใช้ทำเป็นแผ่น หรือท่อ (วิรัช เรืองศรีตระกูล, 2540)

ตะกั่วในรูปอนินทรีย์ใช้ทำประโยชน์มาก เช่น ใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิล ฉนวนกันแก๊มมันตรังสีใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและแก้ว ใช้ทำเม็ดสี เช่น "ตะกั่วขาว" ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) "ตะกั่วแดง" ( $Pb_3O_4$ ,  $CaPbO_4$ ,  $PbCrO_4$ ) ถ้าเม็ดสีเหล่านี้ใช้ทาของเล่นเด็กหรือดินสอจะเป็นอันตรายต่อเด็กมาก (วารินทร์ ลีลาคุณากร, 2541)

ตะกั่วเตทราเอทิลและเตทราเมทิล ใช้ผสมน้ำมัน ซึ่งตะกั่วแอลคิลเหล่านี้ เป็นสารที่ถูกที่สุดในการเพิ่มค่าออกเทน (Octane) ในน้ำมัน เมื่อเกิดการเผาไหม้ตะกั่วก็จะถูกปลดปล่อยออกมากับไอเสีย (เลิศชัย เจริญธัญรักษ์, 2544)

ความเป็นพิษของตะกั่วแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์และสัตว์ ตะกั่วจะพบในขยะจำพวกแบตเตอรี่ ท่อ ฉนวนหุ้มสายเคเบิล สี ยาง พลาสติก ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ ปริมาณตะกั่วที่เพิ่มขึ้นในสิ่งแวดล้อมมาจากการเติมตะกั่วในน้ำมันเพื่อช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันซึ่งใช้เป็นสารกันน็อค และตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น การหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อได้รับสารตะกั่วจะทำให้ร่างกายแสดงอาการผิดปกติต่าง ๆ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน นอนไม่หลับ ประสาท และกล้ามเนื้อทำงานผิดปกติ ถ้าได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่มากอาจทำให้เสียชีวิตได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2545)

ตะกั่วเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในรูปของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และ Organolead Complex หรือในรูปแขวนลอย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปความเข้มข้นของตะกั่วในแหล่งน้ำมีค่าต่ำ (~5 ppb) (จุฑารัตน์ อินทปิ่น, 2540) สาเหตุของการสะสมตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมีที่มาหลากหลาย เช่น การตกสะสมจากบรรยากาศ (Atmospheric Precipitation) ทั้งในรูปการตกสะสมแบบแห้ง (Dry Deposition) และการชะโดยน้ำฝน ซึ่งตะกั่วจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Organically Bound องค์ประกอบของเครื่องยนต์ทำให้ในบรรยากาศมี Soluble Lead Halides เมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะอยู่ในรูป Insoluble Lead Oxyhydroxides หรือทำปฏิกิริยากับ Ferromanganes Oxyhydroxides ที่ผิวน้ำกลายเป็น Surface Complex รวมถึงน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและอุตสาหกรรมก็เป็นแหล่งกำเนิดของตะกั่วด้วย

เมื่อตะกั่วปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำจะสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือ อยู่ในรูปสารแขวนลอยในรูปของอนุภาค (ทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์) ในแหล่งน้ำ และสะสมอยู่ในส่วนของดินตะกอน อัตราและจำนวนการแลกเปลี่ยนตะกั่วระหว่างสิ่งมีชีวิตและส่วนที่เป็นอนุภาคแขวนลอย ขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี รวมถึงกิจกรรมทางชีวภาพในระบบนิเวศ ตะกั่วทั้ง 2 ส่วนนี้จะเป็นส่วนน้อยของตะกั่วทั้งหมดที่อยู่ในแหล่งน้ำ (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

## 2. การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมโดยมากเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในการนำสารตะกั่วมาใช้ประโยชน์ ทำให้สารตะกั่วมีโอกาสปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสะสมในสิ่งมีชีวิต จากการใช้ น้ำมันที่มีการผสมตะกั่วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2468 ทำให้สารตะกั่วปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมรวดเร็วยิ่งขึ้น การใช้ปุ๋ยพร้อมกับสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสมในพื้นที่ทำการเกษตรก็จะเกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วในดิน และปริมาณสารตะกั่วในดินจากแหล่งชุมชนจะมาจากการจราจรเป็นส่วนใหญ่ (อนุรักษ์ ปิ่นทอง, 2543) สำหรับการปนเปื้อนของสารตะกั่วในอากาศอาจเกิดจากการทำเหมืองแร่ การปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์ ละอองเคมีฟุ้งกระจายในอากาศ จากการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

บางชนิด การเผาไหม้เชื้อเพลิงพวกฟอสซิล (Fossil Fuel) เป็นต้น การปนเปื้อนของสารตะกั่วในแหล่งน้ำเกิดต่อเนื่องจากสารตะกั่วในดิน และในอากาศถูกฝนชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ อีกทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการถลุงแร่ก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วในแหล่งน้ำ สารตะกั่วที่ปนเปื้อนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปตะกั่วอินทรีย์หรืออนินทรีย์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ลักษณะของดิน ตะกอน น้ำ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เป็นต้น (กังสดาน เหมกรณ์, 2545)

จากการปนเปื้อนของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมานี้ เป็นเหตุทำให้เกิดการสะสมของสารตะกั่วในสิ่งมีชีวิต โดยพืชจะดูดซึมสารตะกั่วจากดิน น้ำ และอากาศเข้าไปสะสมในพืชการดูดซึมสารตะกั่วจากสิ่งแวดล้อมในดิน (Soil Environment) จะมีเพียงเล็กน้อย (Lenntech, 2007) ส่วนใหญ่พืชจะได้รับสารตะกั่วจากการปนเปื้อนในอากาศ สำหรับสิ่งมีชีวิตในทะเล เช่น สาหร่ายและปลา จะมีปริมาณสารตะกั่วสูงกว่าในน้ำทะเล เนื่องจากสารตะกั่วสามารถถ่ายทอดสู่ระบบห่วงโซ่อาหารได้ นอกจากนี้สารตะกั่วที่อยู่ในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการปรุงอาหารโดยใช้ความร้อน ปริมาณสารตะกั่วกลับไม่ลดลง (สังข์ เวสสารัตระกูล, 2540)

### 3. คุณลักษณะของทองแดงในแหล่งน้ำ

ทองแดงเป็นธาตุหมู่ IB มีเลขอะตอม 29 เลขมวล 63.546 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 1 และ 2 เป็นโลหะสีแดง นำไฟฟ้าได้ดีรองจากเงิน ทนการกัดกร่อนในอากาศได้ดีกว่าเหล็ก ปกติไม่พบในรูปอิสระแต่พบในรูปแร่ และสารประกอบ (Lenntech, 2007)

การนำทองแดงมาใช้ประโยชน์นั้น ทองแดงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการทำอุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้ผสมโลหะชนิดอื่น ซึ่งพบมากในของเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงกลั่นน้ำมัน การทำเหมืองแร่ และการใช้ทองแดงเป็นสารในการกำจัดสาหร่าย

ทองแดงสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการปนเปื้อนทางอาหาร และการหายใจ ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เพื่อสร้างฮีโมโกลบิน การดูดซับจะเกิดที่กระเพาะอาหารแล้วเก็บไว้ที่ตับ ไต สมออง หัวใจ ฝม ถ้าร่างกายได้รับเกินความต้องการจะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

ในแหล่งน้ำธรรมชาติพบทองแดงในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ในแม่น้ำยมมีทองแดง 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และในตะกอนดินอยู่ในช่วง 11.15-20.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (จุไรรัตน์ ดวงเดือน, 2541) ปริมาณโลหะทองแดงในแหล่งน้ำมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำผิวดิน (ค่ามาตรฐาน < 0.1mg/l) (อัปดุลนาเซอร์ ฮายีสาเกาะ, 2545)



#### 4. การแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของทองแดงสู่แหล่งน้ำ เกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบของทองแดงในธรรมชาติเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การถลุงแร่ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การกำจัดเชื้อราในดิน (อนุรักษ์ ปิ่นทอง, 2543) การเตรียมเกลือของทองแดงในแหล่งน้ำเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้เกิดการสะสมทองแดงในแหล่งน้ำมากขึ้น การสะสมทองแดงในสาหร่ายเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของทองแดงในแหล่งน้ำ ส่วนความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนมีผลต่อสัตว์หน้าดิน (ชุตินา วงศ์สุขสิน, 2540) การนำกากตะกอนไปปรับปรุงพื้นที่เพื่อปลูกป่า ทำให้ทองแดงสะสมในสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมที่กินแมลงเป็นอาหารมากกว่าสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมที่กินพืชเป็นอาหาร มีการสะสมทองแดงในเหงือกและไตของสัตว์น้ำน้อยกว่าสะสมในตับถึง 500 เท่า

#### 5. คุณลักษณะของแมงกานีสในแหล่งน้ำ

แมงกานีสพบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติจะมีแมงกานีส 0.2 ppm และอาจจะมีมากถึง 10 ppm ในแหล่งน้ำบริเวณเหมืองแร่สำหรับความเป็นพิษของโลหะแมงกานีสไม่ปรากฏรุนแรงนักหากมีความเข้มข้นไม่สูงเกินไปแมงกานีสในน้ำจะมีเลขออกซิเดชันหลายค่า แต่ที่สำคัญคือ +2 และ +4 แต่  $Mn^{2+}$  จะคงตัวและมีพิษมากกว่า  $Mn^{4+}$  (พัชรินทร์ ดังควิเวทกุล, 2549) ในปลา โลหะแมงกานีสสามารถทำลายเนื้อเยื่อของเหงือก และเกิดเมือกจับเป็นก้อนจนไม่สามารถหายใจได้ สำหรับมนุษย์หากได้รับโลหะแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายด้วยการกินหรือหายใจเอาฝุ่นผงของโลหะแมงกานีสเข้าไปจะทำให้เกิดอาการผิดปกติทางจิตประสาท ง่วงเหงาหาวนอนในเวลากลางวัน กล้ามเนื้อเกร็งมือเท้าสั่น (ชุตินา วงศ์สุขสิน, 2540)

แมงกานีสส่วนใหญ่แล้วพบในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน ในน้ำผิวดินจะพบแมงกานีสอยู่ในรูปของ  $MnO_2$  (Lenntech, 2007) ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำผิวดินมีปริมาณออกซิเจนอยู่มากทำให้เกิดการตกผลึกของแมงกานีส ในท้องน้ำ ซึ่งหากบริเวณที่ตกสะสมนั้นอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนก็จะส่งผลให้เกิดกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้แมงกานีสละลายได้อีกครั้ง ในแหล่งน้ำที่พบแมงกานีสอยู่มากจะเกิดการออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปของสารไม่ละลายน้ำ ทำให้น้ำขุ่นไม่น่าใช้ ทำให้เกิดความกระด้าง และทำให้สุขภาพสัตว์สกปรก (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544)

#### 6. การแพร่กระจายของแมงกานีสสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของแมงกานีสสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ ในชีวิตประจำวันมนุษย์มีความเสี่ยงต่อการนำแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคอาหาร หรือดื่มน้ำที่มีสารเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ โดยเฉพาะชุมชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโรงงานที่มักจะลักลอบ

ปล่อยของเสียลงดินหรือลงแม่น้ำ การกำจัดกากของเสียอย่างผิดวิธีทั้งนี้เนื่องจากต้องการลดรายจ่าย โลหะหนักบางชนิดสามารถให้ทั้งคุณและโทษต่อสิ่งมีชีวิต (อนุรักษ์ ปิ่นทอง, 2543) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตและปริมาณที่ได้รับเข้าไปรวมถึงกระบวนการธรรมชาติ การปนเปื้อนแมงกานีสในแหล่งน้ำในปริมาณที่มากเป็นพิษต่อพืช สัตว์และสามารถถ่ายทอดไปยังห่วงโซ่อาหารได้ (แดง เลิศศรี, 2542)

### การสะสม และความเป็นพิษของตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีส ในสิ่งมีชีวิต

ความเป็นพิษและการสะสมของ ตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีส ซึ่งได้จากการสรุปจากข้อมูลที่หลากหลายของนักวิชาการและนักวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

#### 1. ความเป็นพิษของตะกั่ว สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 3 ทาง ดังนี้

1.1 ทางเดินหายใจ ก๊าซหรือฝุ่นของตะกั่ว ฝุ่นที่ขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน สามารถผ่านสู่ถุงลมในปอด และผ่านกระแสเลือด ฝุ่นขนาดใหญ่จะติดค้างที่ทางเดินหายใจ ตอนบน เช่น ในจมูก โพรงจมูก คอ และหลอดลมใหญ่ซึ่งร่างกายจะขับออกในรูปของเสมหะ

1.2 ทางเดินอาหาร จากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำ เช่น ปนเปื้อนมากับอาหาร มือที่หยิบอาหารหรือสูบบุหรี่ขณะทำงาน ตะกั่วจะผ่านสู่กระเพาะอาหารรวมทั้งการกลืนเสมหะ ทางเดินอาหารจะดูดซึมตะกั่วสู่กระแสเลือดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางอุจจาระ (ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์, 2543)

1.3 ทางผิวหนัง เฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ เพราะตะกั่วพวกนี้จะละลายในไขมัน และถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบโลหิตของร่างกาย

#### 2. ความเป็นพิษของทองแดง สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 2 ทาง ดังนี้

2.1 ทางเดินอาหาร โดยการรับประทานอาหารที่มีธาตุทองแดงเข้าไป ซึ่งอาหารที่มีธาตุทองแดงมากได้แก่ ตับ เห็ด เนื้อสัตว์ อาหารทะเล เช่น หอยนางรม เป็นต้น

2.2 ทางเดินหายใจ โดยการหายใจเอาฝุ่นของสารประกอบทองแดง และไอทองแดง อันเกิดจากโรงงานหลอมโลหะทองแดง และโลหะผสมทองแดงเข้าไป ซึ่งมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้

#### 3. ความเป็นพิษของแมงกานีส สามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 3 ทาง ดังนี้

3.1 ทางเดินหายใจ มักจะพบว่าแมงกานีสในรูปของ ก๊าซ ไอระเหย ละอองไอและฝุ่น ทำอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้หายใจเอาแมงกานีสซึ่งอยู่ในอากาศในระหว่างปฏิบัติงานเข้าไปสู่อุดแล้วกระจายสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

3.2 ทางเดินอาหาร จะเข้าสู่ร่างกายได้ที่พบมักจะเป็นเพราะผู้ที่มีสุขภาพส่วนบุคคลไม่ดี เช่น ก่อนรับประทานอาหารไม่ล้างมือให้สะอาด หรือเป็นเพราะกินเข้าไปโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เช่น แมองกานีสเหล่านี้ปะปนอยู่ในอาหารและน้ำที่รับประทาน

3.3 ทางผิวหนัง เมื่อแมองกานีสเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปสู่อุดและผ่านไปยังกระแสโลหิต ซึ่งนำไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและไปสะสมในกระแสโลหิตได้

ความเป็นพิษของตะกั่ว ทองแดง และแมองกานีส

#### 1. ความเป็นพิษของตะกั่ว

ความเป็นพิษของตะกั่ว สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยการสัมผัสโดยตรงทางผิวหนังระบบทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ ตะกั่วที่มนุษย์ได้รับจากสิ่งแวดล้อมประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์ ผ่านทางอากาศ สำหรับตะกั่วที่มนุษย์ได้รับทางน้ำ และอาหารในผู้ใหญ่จะดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ในเด็กจะดูดซึมได้ถึง 40-50 เปอร์เซ็นต์ สารตะกั่วจะเป็นพิษในเด็กได้มากกว่าผู้ใหญ่ (Harrison, 1996) ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายจะกระจายที่อวัยวะต่าง ๆ เช่น สมอง ปอด ตับ ม้าม และมากที่สุดในระยะโดยจะอยู่ในร่างกายได้นาน 16-27 ปี ถ้าตะกั่วสะสมอยู่ในร่างกายในปริมาณมากเกินมาตรฐานจะเกิดพิษต่อร่างกาย และมีผลกระทบต่อระบบอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย การรับประทานผักที่มีตะกั่วส่วนมากมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อน จากกระบวนการผลิตอาหารและพืชผัก เช่น ผักที่ปลูกในบริเวณที่มีตะกั่วในดินและในน้ำสูง ถ้าใช้อาหารเหล่านี้บริโภคปริมาณตะกั่วที่สะสมต้องไม่เกินกว่าที่ FAO/WHO กำหนดมาตรฐานไว้ คือ ไม่ควรบริโภคเกิน 3 มิลลิกรัม/สัปดาห์ ถ้าตะกั่วสะสมอยู่ในร่างกายมากเกินมาตรฐานจะเกิดพิษต่อร่างกาย และมีผลต่อระบบอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

ผลของตะกั่วที่มีต่อระบบหมุนเวียนโลหิตมีรายละเอียดดังนี้ ตะกั่วสามารถรวมตัวได้ดีกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เปราะบาง เม็ดเลือดแดงถูกทำลายและอายุสั้นลง จึงทำให้เกิดโรคโลหิตจางในคนและสัตว์ เนื่องจากตะกั่วทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายและยับยั้ง ATP ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นและยับยั้งการสร้างฮีโมโกลบิน (heme) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) การขนส่งออกซิเจนโดยเม็ดเลือดแดงจึงลดลง (กำจัด ทองปลั่งวิจิตร, 2542) นอกจากนั้น ตะกั่วยังสามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาทสมอง ตะกั่วทำลายหลอดเลือดฝอยในสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองไม่พอ เกิดการแพบของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงสมอง มีความผิดปกติของระบบประสาท (ศรัณยา คงทอง, 2541)

ตะกั่วยังมีผลต่ออวัยวะอื่น ๆ อีกเช่น ระบบไต จากข้อมูลของ Scott and Sloman (2004) ระบุว่า ถ้าระดับตะกั่วในเลือดมากกว่า 10 ไมโครกรัมเปอร์เซ็นต์ จะก่อให้เกิดการ

ทำลายเซลล์ของท่อเล็กในไต (renal tubule) ทำให้ไตขับกรดอะมิโน น้ำตาล และเกลือฟอสเฟต ออกทางปัสสาวะมากขึ้น แต่จะขับกรดยูริกได้น้อยลงจึงทำให้กรดยูริกสะสมอยู่ในเลือดและตกผลึก จึงมีอาการปวดตามข้อมือ ข้อเท้า ผู้ที่ได้รับตะกั่วเป็นเวลานานมากกว่า 10 ปีขึ้นไปจะมีความดันโลหิตสูง โลหิตเป็นพิษและเนื้อเยื่อไตแข็งกระด้าง (nephrosclerosis) ส่วนผลกระทบต่อดัชนี พบว่า ตะกั่วส่งผลทำให้ดับเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดเนื้อตาย มีผล ต่อผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ ทำให้สัตว์แท้งและผสมพันธุ์ไม่ติด (Scott and Sloman, 2004) รวมทั้งยังส่งผลต่อสารพันธุกรรม ตะกั่วรบกวนการทำงานของ DNA และ RNA โดยจับกับไฮดรอกซิลของซัลเฟตใน กรดนิวคลีอิกได้อย่างหนาแน่น จึงถือได้ว่าตะกั่วเป็นสารก่อการกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

## 2. ความเป็นพิษของทองแดง

เนื่องจากร่างกายสามารถควบคุมปริมาณทองแดงได้ และยังสามารถกำจัดทองแดง ออกจากร่างกายได้ จึงไม่ทำให้เกิดการสะสมของทองแดงในร่างกายจนเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเรื้อรัง ได้ดังเช่นโลหะอื่น ๆ แต่ก็อาจเกิดพิษเนื่องจากทองแดงแบบเฉียบพลันได้ในกรณีที่ร่างกายได้รับทองแดงในปริมาณที่มากเกินไปทันทีโดยที่ร่างกายกำจัดออกไม่ทัน การเกิดพิษเนื่องจากทองแดงแบบเฉียบพลันแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

### 2.1 การเกิดพิษจากระบบทางเดินอาหาร

การเกิดพิษเนื่องจากทองแดงในระบบทางเดินอาหารเกิดจากการรับประทาน อาหารที่มีทองแดงปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่สูงเข้าไป การเกิดพิษลักษณะนี้ทำให้เกิดอาการ คลื่นเหียน อาเจียน และท้องร่วง นอกจากนี้ยังเกิดอาการเม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย มีเลือดออกในทางเดินอาหาร มีปัสสาวะน้อยกว่าปกติ ไม่มีไนโตรเจนในเลือด (Azotemia) ปัสสาวะมีโลหิต (Hematuria) ความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นเร็ว กล้ามเนื้อมีอาการหดเกร็งรุนแรง และเสียชีวิตในที่สุดถ้าได้รับทองแดงมากเกินไป

### 2.2 การเกิดพิษจากระบบทางเดินหายใจ

การเกิดพิษเนื่องจากทองแดงในลักษณะนี้เกิดจากการที่ร่างกายได้รับ สารประกอบทองแดงหรือไอของทองแดงโดยการหายใจเข้าไป ซึ่งจะทำให้เกิดการระคายเคือง และเกิดอักเสบในระบบทางเดินหายใจ และถ้าร่างกายได้รับไอทองแดงเป็นปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน เป็นไข้ และบางครั้งทำให้ผมและผิวหนังเปลี่ยนสีได้ การหายใจเอาสารประกอบทองแดงปริมาณมากเข้าสู่ร่างกายสามารถทำให้เกิดอาการเลือดคั่งในเนื้อเยื่อจมูก และช่องติดต่อระหว่างจมูกและปาก นอกจากนี้สารประกอบทองแดงเมื่อเข้าตาจะทำให้เกิดอาการ ระคายเคือง ตาอักเสบและตาชุนมัวได้ (ชุตินา วงศ์สุขสิน, 2540)

### 3. ความเป็นพิษของแมงกานีส

#### 3.1 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ

การเกิดพิษเนื่องจากแมงกานีสในลักษณะนี้ เกิดจากฝุ่นที่ปนเปื้อนแมงกานีสทำให้ระคายเคืองต่อดวงตาหรือผิวหนัง การหายใจเอาฝุ่นที่ปนเปื้อนแมงกานีสเข้าไปทำให้อาเจียน (Ajay Kumar Meena et al., 2005) อ่อนเพลีย และหมดความรู้สึก การหายใจเอาฝุ่นเข้าไปทำให้อาเจียนต่อระบบหายใจ (ประดิษฐ์ มีสุข, 2541)

#### 3.2 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร

ความเป็นพิษของแมงกานีสทำให้เกิดอาการอาเจียน ปวดท้องและมีอาการท้องเสีย การรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนแมงกานีสจะเป็นอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง (รัชดาภรณ์ เบญจวัฒน์านนท์, 2549)

ตาราง 2 แสดงความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดที่มีต่อสัตว์น้ำ

โลหะ	96-hr LC50 (ไมโครกรัม/ลิตร)	ระดับความปลอดภัย (ไมโครกรัม/ลิตร)
แคดเมียม	80-420	10
โครเมียม	2,000-20,000	100
ทองแดง	300-1,000	25
ตะกั่ว	1,000-40,000	100
ปรอท	10-40	0.10
สังกะสี	1,000-10,000	100

ที่มา Boyd and laude (1996, p. 104)

#### พิษของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำ

มันทนา แสงจินดาวงษ์ (2550) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความกระด้างของน้ำ (hardness) จากรายงานผลการทดลองพิษของสังกะสีกับปลา *Salmo solar* (แชมอน/แชนลอน) ในระยะสั้นพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงปลาดายมาก แต่ที่อุณหภูมิต่ำปลาดายน้อย อาจเนื่องมาจากการกินอาหารของปลาในแหล่งน้ำกล่าวคือ ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงปลากินอาหารมากกว่าใน

น้ำที่มี อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสารพิษจึงมีโอกาสเข้าสู่ตัวปลาได้มากกว่า (Van Egmond and Speijers, 1990) และมีการทดลองพบว่า ความกระด้างของน้ำลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้ โดยพิษส่วนหนึ่งของโลหะหนักจับกับตะกอนของความกระด้างของน้ำ จากการทดลองพิษของปรอท ทองแดง สังกะสีกับปลานิลพบว่า ปรอทมีพิษมากที่สุด รองลงมาคือ ทองแดงและสังกะสี

ตาราง 3 แสดงผลของโลหะหนักต่อมนุษย์ และสภาพแวดล้อม

โลหะหนัก	ผลต่อมนุษย์	ผลต่อสภาพแวดล้อม
ตะกั่ว	โลหิตจาง ไต และระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) ถูกทำลาย ระบบย่อยอาหารผิดปกติ	เป็นพิษต่อสัตว์ และปลา
ทองแดง		เป็นพิษอย่างแรงต่อพืช แกะ และปลา
แมงกานีส		เป็นพิษต่อปลา
แคดเมียม	ปวดศีรษะ อาเจียน เจ็บหน้าอก ความดันโลหิตสูง กระดูกผุ โรคหัวใจ โรคไต และโรคตับ สารก่อมะเร็ง และทำให้เกิดการกลายพันธุ์	ที่ความเข้มข้นต่ำ เป็นพิษต่อปลา
สารหนู	อาเจียน เป็นพิษต่อตับและไต มะเร็งปอด ตับ น้ำเหลืองและผิวหนัง	คงรูปในดิน เป็นพิษต่อพืชตระกูลถั่ว

ที่มา ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540, หน้า 130)

#### ปลานิลแดง (ปลาทับทิม)

ปลาในกลุ่มปลานิลหรือที่เรียกว่า Tilapias เป็นกลุ่มปลาที่อยู่ในวงศ์ Cichlidae ประกอบด้วยปลาในสกุล *Tilapia*, *Sarotherodon* และ *Oreochromis* ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ปลาในกลุ่มนี้สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย ปัจจุบันปลานิลกลุ่มนี้โดยเฉพาะปลานิลแดง (Red Tilapia) จัดว่ามีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างสูง ซึ่งนิยมนำมาเลี้ยงและบริโภคกันอย่างกว้างขวาง (เกรียงไกร สีตะพันธ์ และวรางคณา พระคุณ, 2549)

ปลานิลแดงและปลาทับทิม ปลาทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบเชิงชีววิทยา เหตุที่เรียกชื่อต่างกันเนื่องจากทางบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ (CP) ต้องการทำตลาดปลาทับทิม หากใช้ชื่อปลานิลแดงก็จะดูไม่น่าสนใจ เพราะปลาทับทิมเป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากการคัดสายพันธุ์โดยเฉพาะจากพ่อแม่พันธุ์ สายพันธุ์โตเร็วที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ปลานิล *Tilapia nilotica* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจนับตั้งแต่ปี 2508 เป็นต้นมา สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ การเพาะเลี้ยง ระยะเวลา 1 ปีมีอัตราการเติบโตถึงขนาด 500 กรัม รสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางส่วนขนาดปลาที่ตลาดต้องการจะมีน้ำหนักตัวละ 500-800 กรัม จากคุณสมบัติของปลานิลซึ่งเลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว แต่ปัจจุบันปลานิลพันธุ์แท้ค่อนข้างจะหายาก กรมประมงจึงได้ดำเนินการปรับปรุงพันธุ์ปลาเพื่อให้ได้ปลานิลที่มีลักษณะสายพันธุ์ที่ดี เช่น การเจริญเติบโต ปริมาณความดกของไข่ และความต้านทานโรค (พีรวัส เมฆิน และคณะ, 2547)

#### รูปร่างลักษณะ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลซิคลิดี (Cichlidae) มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกา พบทั่วไปตามหนอง บึง และทะเลสาบ ในประเทศซูดานยูกันดา แทนแกนยีกา โดยที่ปลานิลเจริญเติบโตได้เร็ว และเลี้ยงง่าย เหมาะสมที่จะนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อจึงได้รับความนิยมและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในภาคพื้นเอเชีย

รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศแต่ลักษณะพิเศษของปลานิลมีดังนี้คือ ริมฝีปากบนและล่าง เสมอกัน ที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9-10 แถบ นอกจากนั้นลักษณะทั่วไปมีดังนี้ ครีบหลังมีเพียง 1 ครีบ ประกอบด้วยก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อน เป็นจำนวนมาก (สุทรวัดณ์ เบญจกุล, 2548) ครีบกันประกอบด้วยก้านครีบแข็งและอ่อนเช่นกัน มีเกล็ด ตามแนวเส้นข้างตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่จุดหนึ่ง บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบกัน และครีบหางนั้นจะมีจุดสีขาว และสีดำ ตัดขวางคล้ายลายข้าวตอกอยู่โดยทั่วไป (พีรวัส เมฆิน และคณะ, 2547)

#### คุณสมบัติและนิสัย

ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง (ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์) มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพัน ทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5-8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส (ยนต์ มุสิก, 2542) แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พบว่าปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดี ทั้งนี้เป็นเพราะถิ่นกำเนิดเดิม ของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน (ผกามาศ ออมสิน และคณะ, 2548)

#### ประโยชน์ของการเลี้ยงปลาในกระชัง

การเลี้ยงปลาในกระชังเป็นการเลี้ยงปลาแบบหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตสูง ลดต้นทุนในการผลิตง่ายต่อการดูแลรักษาและจับจำหน่าย นอกจากนั้นผู้เลี้ยงยังไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา และยังเป็นกรเลี้ยงปลาที่เหมาะสมกับสภาพท้องที่ตามแหล่งน้ำตื้น เช่น แม่น้ำ

ลำคลอง หนอง บึง แหล่งน้ำกร่อยในทะเลสาบ และทะเลชายฝั่ง ซึ่งสามารถดัดแปลงเป็นที่เลี้ยงปลาได้สะดวก และสามารถเลี้ยงเป็นจำนวนมากอีกด้วย ผลของการเลี้ยงปลาในกระชัง กับผลของการเลี้ยงปลาในบ่อ พบว่าการเลี้ยงปลาในกระชังจะได้ผลดีกว่าการเลี้ยงปลาในบ่อ หลายประการดังนี้ (เอกสารคำแนะนำกรมประมง, 2542)

1. การที่กระชังเป็นภาชนะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำให้น้ำถ่ายเทได้สะดวกตลอดเวลา เมื่อนำปลาลงเลี้ยงในกระชัง จึงไม่ต้องเฝ้าระวังเหมือนกับการเลี้ยงปลาในบ่อ เพราะมีน้ำและอาหารธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ ไม่มีศัตรูปลามารบกวน

2. ด้านการลงทุน การเลี้ยงปลาในกระชังใช้เงินในการลงทุนน้อยมาก เพราะราคาค่าก่อสร้างกระชังนั้นน้อยกว่าการขุดบ่อเลี้ยงปลา และสามารถรวบรวมลูกปลาได้เอง หรือซื้อได้ในราคาถูก เหมาะกับผู้เลี้ยงที่มีทุนทรัพย์น้อย

3. สามารถเลี้ยงปลาได้หนาแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปลาด้วยวิธีอื่นในเนื้อที่เท่ากัน และยังง่ายต่อการดูแลรักษา การให้อาหารเพราะอยู่ในที่แคบ ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับโรคที่จะเกิดขึ้นกับปลา เพราะน้ำมีการไหลเวียนที่ดี

4. การเลี้ยงปลาในกระชังจะใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงน้อยกว่าการเลี้ยงปลาในบ่อ และให้ผลผลิตที่สูงกว่ามาก และมีต้นทุนการผลิตของปลาต่อหน่วยมีราคาต่ำกว่าประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเลี้ยงปลาในบ่อ

5. ในการจับปลาไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ สามารถจับได้ทันที แต่ถ้าหากเป็นการเลี้ยงปลาในบ่อนั้นจะต้องใช้แหหรืออวน หรือต้องใช้เครื่องสูบน้ำแห้งก่อนจึงจะทำการจับได้

#### วิธีการดำเนินการ

1. สถานที่การเลี้ยงปลานิลแดงในกระชัง ควรเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่ ความลึกไม่ต่ำกว่า 3 เมตร มีน้ำไหลตลอดเวลา ไม่มีชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมในบริเวณนั้น

2. กระชังขนาด 3x3 เมตร สามารถปล่อยพันธุ์ปลาได้ 800-1,000 ตัว

3. อาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลแดงเป็นอาหารสำเร็จรูป

4. เมื่อเลี้ยงปลานิลแดงได้อายุ 4 เดือน ปลานิลแดงจะมีขนาดน้ำหนักประมาณ 5-7

ขีดต่อตัว ซึ่งสามารถจับจำหน่ายได้

#### ลักษณะเด่นของปลานิลแดง

1. เส้นใยเนื้อละเอียดแน่นจึงมีรสชาติดีและปราศจากกลิ่น

2. มีไขมันต่ำจึงปราศจากกลิ่นที่เกิดจากไขมันในตัวปลา และเป็นไขมันไม่อิ่มตัว ที่มีประโยชน์เมื่อบริโภค



3. ปริมาณเนื้อบริโภคต่อน้ำหนักสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนสันหนา ส่วนหัวเล็ก โครงกระดูกเล็ก ก้างน้อย

4. ผิวมีสีแดงอมชมพู เนื้อทุกส่วนสีขาวทำให้น่ารับประทาน

5. เจริญเติบโตในความเค็มได้สูงถึง 25 ppt

6. อัตราการเจริญเติบโตเร็ว กินอาหารเก่ง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และมีความต้านทานโรคสัตว์น้ำต่าง ๆ ได้ดี

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาวิจัยประเด็นการสะสมโลหะหนักในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

ข้อมูลงานวิจัยในประเด็นการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ และตะกอนดิน ในประเทศไทยระบุว่า ในระบบนิเวศแหล่งน้ำของประเทศไทยยังมีปัญหาการสะสมโลหะหนักต่าง ๆ ในหลายพื้นที่ อาทิเช่น

แววตา ทองระอา (2540) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง จังหวัดชลบุรี (เมืองใหม่-ศรีราชา) ตัวอย่างน้ำทะเล และดินตะกอนซึ่งเก็บจากชายฝั่ง จังหวัดชลบุรี ตั้งแต่เมืองใหม่จนถึงศรีราชา รวม 5 สถานี ในระหว่างปี พ.ศ. 2535-2537 ได้นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก ในรูปของปริมาณรวม ผลการศึกษาพบว่า ช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำทะเลเป็นดังนี้ ตะกั่ว 3.8-5.2 ไมโครกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0.02-0.6 ไมโครกรัมต่อลิตร สังกะสี 1.9-34.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ทองแดง 1.2-2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร แมงกานีส 0.6-2.6 ไมโครกรัมต่อลิตร และเหล็ก 12.1-266 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบในดินตะกอนเป็นดังนี้ ตะกั่ว 7.3-9.5 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แคดเมียม ตรวจไม่พบ -0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง สังกะสี 19.3-24.2 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ทองแดง 7.6-12.6 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แมงกานีส 364-616 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และเหล็ก 1,255-9,481 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบทั้งในน้ำทะเล และดินตะกอนในช่วงระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมาดังกล่าว ยังคงอยู่ในระดับปกติ

การศึกษาการแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนจากปากแม่น้ำในเขตบางปะกง ถึง ศรีราชา โดย ฉลวย มุสิก (2540) พบว่า การแพร่กระจายของโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก ในน้ำทะเล และดินตะกอน จากปากแม่น้ำบางปะกง ถึง ศรีราชา (รวม 7 สถานี) ได้ทำการศึกษาในช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2538 ผลการศึกษา พบว่า ช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำ

ทะเลเป็นดังนี้ ตะกั่ว 0.9-8.1 ไมโครกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0.03-0.3 ไมโครกรัมต่อลิตร สังกะสี 0.4-13.2 ไมโครกรัมต่อลิตร ทองแดง ตรวจไม่พบ -5.1 ไมโครกรัมต่อลิตร แมงกานีส ตรวจไม่พบ -1.9 ไมโครกรัมต่อลิตร และเหล็ก 33.3-466 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบในดินตะกอนเป็นดังนี้ ตะกั่ว 11.1-16.8 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แคดเมียม ตรวจไม่พบ -0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง สังกะสี 26.5-35.9 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ทองแดง 4.7-12.1 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แมงกานีส 262-749 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และเหล็ก 5,820-8,327 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเล และดินตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงในแต่ละเดือนสำหรับความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในดินตะกอน ยกเว้นโลหะแคดเมียม ตรวจพบที่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบทั้งในน้ำทะเล และดินตะกอนจากการศึกษา ยังคงอยู่ในระดับปกติ

การศึกษาของ ประดิษฐ์ มีสุข (2541) เพื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลสาบจากจุดที่มีน้ำเสียจากชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม พบว่า ในน้ำทะเลสาบสงขลา มีทองแดง ตะกั่ว สังกะสี แมงกานีส โปรท และเซเลเนียมอยู่ ดังนี้ ทองแดง 0.003-0.020 ตะกั่ว 0-0.10 สังกะสี 0.03-0.06 แมงกานีส 0.05-0.51 โปรท 0-0.005 และเซเลเนียม 0.001-0.027 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm.)

มาชบดี รวยทรัพย์ (2548) ได้ทำการหาปริมาณ แมงกานีส ทองแดง และตะกั่ว ในตัวอย่างที่เก็บจากแม่น้ำมูลโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ตัวอย่างน้ำที่เก็บทั้งหมดมี 9 สถานี ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในเดือน มีนาคม-มิถุนายน 2548 พบว่าผลการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำมูลมีปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.25-0.98, <0.04-0.07 และ <0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแมงกานีส ทองแดง และตะกั่ว ตามลำดับ พบว่าปริมาณโลหะที่ตรวจพบในน้ำตัวอย่าง ในแม่น้ำมูล มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับน้ำผิวดินที่อยู่ในน้ำชั้นสาม ซึ่งบัญญัติโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย

การศึกษาพฤติกรรมของโลหะ Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn ในแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งและฤดูฝน โดย สุภวรรณ ภาณุตระกูล และคณะ (2547) พบว่าทั้งสองฤดูโลหะทุกตัวมีพฤติกรรมแบบไมออนูรัคซ์ โดยค่า KD ที่พบในการศึกษาคั้งนี้มีลำดับดังนี้ Fe > Mn > Pb > Zn > Ni > Cu > Cd ในฤดูแล้ง และ Fe > Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd ในฤดูฝน พฤติกรรมการแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกงถูกควบคุม โดยการชะล้างโลหะจาก

แผ่นดิน ลักษณะทางอุทกวิทยา ปริมาณน้ำท่า การขึ้นลงของน้ำทะเล และการตกตะกอนร่วมของโลหะอื่น ๆ กับ Fe-Mn-Oxides และ Fe-Mn-Carbonate อย่างไรก็ตามกระบวนการทางชีวภาพก็มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของแคดเมียม ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบได้ในการศึกษาครั้งนี้ยังอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของไทย แต่มีแนวโน้มที่มีการปนเปื้อนในระดับที่สูงขึ้นของโลหะ Cd, Cu, Ni, Pb และ Zn จากเดิมที่เคยมีการศึกษามา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตะกอนแขวนลอยที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่มากบริเวณปากแม่น้ำ มากกว่า 70 เปอรเซ็นต์ โลหะหนักทุกตัวที่ทำการศึกษาในครั้งนี้อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยยกเว้นแคดเมียม ซึ่งมีค่าประมาณ 40 เปอรเซ็นต์ ดังนั้นรูปแบบที่สำคัญของโลหะที่มีการขนถ่ายจากแม่น้ำบางปะกงออกสู่อ่าวไทยจึงอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย

## 2. การศึกษาวิจัยประเด็นการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต

จากข้อมูลในเบื้องต้นทำให้ทราบว่า พื้นที่ระบบนิเวศแหล่งน้ำในประเทศไทยมีปัญหาการปนเปื้อนและสะสมโลหะหนักในหลายหลายพื้นที่ ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อเนื่องในระบบห่วงโซ่อาหารเพราะการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะส่งผลต่อการสะสมในสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ซึ่งได้มีการศึกษาปัญหาของการสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำ กันอย่างแพร่หลาย ในประเทศไทยเองก็ได้มีการศึกษาในประเด็นนี้กันอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ระบบนิเวศแหล่งน้ำที่สำคัญของประเทศ อาทิ เช่น จุฑารัตน์ อินทพันธ์ (2540) ได้ทำการศึกษา ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และเหล็ก ในปลาชนิดต่าง ๆ ที่เก็บจากทะเลสาบสงขลา และทะเลน้อย เพื่อหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy โดยใช้แบบพ่นสารโดยตรง และใช้เทคนิค External Standard ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตะกั่วอยู่ในช่วง N.F.-0.8451  $\mu\text{g/g}$  พบมากที่สุดในปลากะพง น้อยที่สุดในปลากดขี้ลิง แคดเมียม N.F. - 0.3209  $\mu\text{g/g}$  พบมากที่สุดในปลาดุกทะเล น้อยที่สุดในปลากดหัวโม่ (ข้างโคก) สังกะสี 0.1009-11.1841  $\mu\text{g/g}$  พบมากที่สุดในปลากดหัวโม่ (ข้างโคก) น้อยที่สุดในปลาตะกรับ (กิดัง) และเหล็ก 0.0636-0.9237  $\mu\text{g/g}$  พบมากที่สุดในปลาดุกทะเล น้อยที่สุดในปลานิล ซึ่งจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จากบริเวณทะเลสาบสงขลา จะมีปริมาณโลหะหนักที่สะสมในกล้ามเนื้อปลาส่งกว่าจากบริเวณทะเลน้อย และพบว่าปริมาณตะกั่วมีค่าเกินกำหนดมาตรฐาน ส่วนแคดเมียม สังกะสี และเหล็กมีค่าไม่เกินกำหนดมาตรฐาน ต่อผู้บริโภค

ในเขตจังหวัดพิษณุโลกได้มีการศึกษาปัญหาสะสมโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในปลา เช่นเดียวกัน โดยสุชสมาน สังโยคะ (2542) ได้ทำการศึกษาการ

สะสมโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในปลาตกชุก-เทศ ที่จำหน่ายอยู่ในตลาดเขตเทศบาลนครพิษณุโลก พบว่ามีโลหะหนักสะสมอยู่ในเนื้อ ตับ และเหงือก ของปลาตกชุก-เทศ ในตลาดเขตเทศบาลนครพิษณุโลก มีค่าไม่เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ และผลการศึกษา ระบุชัดเจนไว้อย่างน่าสนใจว่าแมงกานีสที่พบในเหงือกมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และได้มีรายงานเกี่ยวกับปริมาณตะกั่ว พรอท และแคดเมียม ในปลาทะเลเศรษฐกิจ 16 ชนิด ซึ่งได้แก่ ปลากระบอก ปลากะพงแดง ปลากะพงขาว ปลากะรัง ปลาทุ ปลากังกร ปลาผาน ปลาจระเม็ด ปลาทวายแดง ปลาน้ำดอกไม้ ปลาใบขนุน ปลาลัง ปลาสำลี ปลาสีกุน ปลาหางแข็ง และปลาโอ จำนวน 107 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในตลาดสดในเขตกรุงเทพฯ 7 แห่ง และสะพานปลา 3 แห่ง ระหว่างปี 2541-2542 จากผลการศึกษาพบว่าร้อยละ 96.27 ของปลาทะเลที่ทำการสุ่มตรวจมีปริมาณตะกั่ว พรอท และแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (อภิรดี เมืองเดช, 2545)

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ในน้ำและในสัตว์น้ำประเภทอื่น ๆ เช่น กุ้ง หอย สหรัย ได้มีการศึกษาเช่นกัน ในหลากหลายพื้นที่ในประเทศไทย เช่น จรัญ วงษ์วิวัฒน์ววุฒิ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และ แคดเมียม บริเวณแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ระหว่าง เดือนมิถุนายน 2542 ถึงเดือนมีนาคม 2543 โดย พบว่า ปริมาณแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีไซทะเลประเภทที่ 2 ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2534 จึงไม่มีผลกระทบต่อกุ้งกุลาดำที่เกษตรกรเลี้ยงแต่อย่างไร การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักในน้ำเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา พบว่า เหล็กยังคงมีปริมาณอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ทองแดงเพิ่มสูงขึ้น แมงกานีส สังกะสี และแคดเมียม ยังคงอยู่ในระดับต่ำ และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในน้ำในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง

การศึกษาปริมาณสารหนู และโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว พรอท สังกะสี และแคดเมียม ในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538 โดย ประดิษฐ์ มีสุข (2540) โดยเก็บตัวอย่าง ปลา กุ้ง หอย ปู และสหรัย จากทะเลสาบสงขลา จำนวน 24 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ด้วยเทคนิควิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิตรีโดยใช้แบบพ่นสารโดยตรง (direct aspiration) สำหรับการวิเคราะห์ธาตุตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม แบบไอเย็น (cold vapor) สำหรับการวิเคราะห์พรอท และแบบไฮไดรด์เจเนอเรชัน (hydride generation) สำหรับการวิเคราะห์สารหนู พบว่า มีสารหนู ตะกั่ว



ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในปลากะพงขาว 0-0.250, 0.163-1.985, 0-0.107, 0.094-1.881 และ 0-0.010 ppm (g/g) พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในกุ้งกุลาดำ 0-0.150, 0-2.625, 0-0.015, 0.129-4.819 และ 0-0.380 ppm พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในหอยแมลงภู่ 0-1.750, 1.548-1.985, 0-0.021, 2.634-4.573 และ 0.041-0.343 ppm พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในปูทะเล 0.150-2.265, 1.260-2.008, 0-0.038, 0.311-0.719 และ 0.018-0.348 ppm พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในสาหร่ายผมนาง 0-1.250, 1.260-3.313, 0-0.069, 0.072-6.807 และ 0-0.065 ppm ตามลำดับ

การศึกษากการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์น้ำได้มีการศึกษาเช่นเดียวกัน อาทิเช่น สุภาพรณ บริลเลียนเตส และคณะ (2541) ได้ทำการศึกษากการสะสมตะกั่วในหอยลาย (*Paphia undulate*) และหอยแมลงภู่ (*Pemaviridis*) ตามวิธีของ Billiontas (1998) ไม่พบว่ามีการสะสมตะกั่วในอวัยวะภายในเป็นปริมาณสูงในหอยลายทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือการสะสมในส่วนรวมทั้งตัว และส่วนเนื้อ ปริมาณตะกั่วที่สะสมอยู่ในส่วนรวมทั้งตัว และส่วนเนื้อไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากส่วนรวมทั้งตัวมีส่วนของอวัยวะภายในอยู่ด้วยร้อยละ 25-31 ซึ่งไม่มากพอที่จะเป็นผลทำให้การสะสมในสองส่วนนี้แตกต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัดเจน หรืออาจเนื่องมาจากหอยมีการกินอาหารโดยวิธีการกรองอาหารจากน้ำที่มีตะกั่วปะปนอยู่ และในการปลดปล่อยตะกั่วออกจากร่างกายจะปลดปล่อยออกทางระบบทางเดินอาหารเป็นส่วนมาก จึงทำให้ตรวจพบตะกั่วในส่วนของอวัยวะภายในมีอยู่สูง

เรืองวิชญ์ ยืนพันธ์ และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษากการปนเปื้อนโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาสดตามท้องตลาด 100-200 กรัม ทั้งจากบ่อเลี้ยงและจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตำบลได้แก่ ตำบลบางปูใหม่ แพรกษา บางบ่อ และคลองด่าน จังหวัดสมุทรปราการ ระหว่างเดือนตุลาคม 2544 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2545 พร้อมกับประเมินค่าปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณที่จับปลาด้วย การตรวจวัดปรอทใช้เครื่อง Mercury Analyzer ส่วนการตรวจวัดแคดเมียมและตะกั่วใช้วิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ผลการศึกษากบ่งชี้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ของระดับการปนเปื้อนปรอทในเนื้อเยื่อปลาสดทั้งจากบ่อเลี้ยงและจากการจับจากแหล่งน้ำธรรมชาติระหว่างพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าเฉลี่ยปนเปื้อน 0.0010-0.0023 ppm ขณะที่พบระดับแคดเมียมปนเปื้อนในเนื้อเยื่อปลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าปนเปื้อนเฉลี่ย 0.0007-0.0593 ppm และเป็นที่สังเกตว่าไม่ตรวจพบการปนเปื้อนของตะกั่วในเนื้อเยื่อปลา

สลิคจากบ่อเลี้ยงแต่กลับตรวจพบในตัวอย่างปลาที่จับจากธรรมชาติที่มีค่าระดับการปนเปื้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉลี่ย 0.0450-0.0795 ppm ( $p \leq 0.05$ ) ผลการศึกษายังบ่งชี้อีกว่าพบเพียงตะกั่วเท่านั้นที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติในระดับค่อนข้างสูง เฉลี่ย 0.09-4.11 ppm จากผลการศึกษาที่ได้รับทั้งหมดสรุปได้ว่าระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อปลาสลิคยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ทางกองควบคุมตรวจสอบผลิตภัณฑ์และการแปรรูปสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กำหนดไว้

อรพินท์ จันทรฝ่องแสง (2549) ได้ทำการวิเคราะห์และตรวจสอบโลหะแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีที่สะสมในเนื้อปลาทูน่าตาโต ปลาทูน่าครีบน้ำเงิน และปลาทูน่าทองแถบ ซึ่งจับได้จากการทำประมงอวนล้อมจับปลาทูน่าในบริเวณมหาสมุทรอินเดียตะวันออก ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม 2544 โดยวิธี (AAS) Atomic Absorption Spectrophotometry ตลอดจนหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะกับความยาวของปลาทูน่าแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่าปลาทูน่าทองแถบมีปริมาณสะสมของโลหะทุกชนิดดังกล่าวข้างต้นสูงกว่าปลาทูน่าตาโตและปลาทูน่าครีบน้ำเงินโดยมีค่าเฉลี่ยของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 17.881  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักแห้ง 0.535  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักแห้ง และ 5.843  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักแห้ง ตามลำดับอย่างไรก็ตามค่าที่พบก็ยังไม่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นโดยประเทศต่าง ๆ และผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะกับความยาวของปลาโดยใช้รีเกรสชันเส้นตรง (Linear regression analysis) พบว่าปริมาณโลหะแคดเมียม จะแสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับความยาวของปลาทูน่าครีบน้ำเงินที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโลหะสังกะสีไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปริมาณสะสมกับความยาวในปลาทูน่าทั้ง 3 ชนิด

เจริญ อุดมการณ์ และคณะ (2541) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติและการสะสมโลหะหนักในเนื้อปลา ระบบบำบัดน้ำเสียในจังหวัดสกลนคร ริมหนองหาร มีทั้งหมด 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดน้ำแบบบ่อผึ่งและแบบพืชน้ำ พบว่า การสะสมโลหะหนักในเนื้อปลาที่เก็บตัวอย่างมาจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ปริมาณปรอท แคดเมียม และตะกั่ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012, 0.046 และ 0.057 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณโลหะหนักดังกล่าวที่สะสมในเนื้อปลามีปริมาณที่ไม่เกินมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้

รุ่งเรือง บุญสง (2545) ได้ทำการศึกษาการสะสมโลหะหนัก แคดเมียม โคโรเนียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส และสังกะสี ในน้ำ ดินตะกอน และสิ่งมีชีวิต ในคลองภาษีเจริญระหว่างเดือนพฤษภาคม 2542 ถึง เดือนเมษายน 2543 โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน

แพลงก์ตอน ฟีซ หอย และปลา ทุกเดือน จากจุดกำหนดเก็บตัวอย่างสามจุดคือ เขตภาษีเจริญ เขตหนองแขม และกระทุ่มแบน ทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดไนตริกเข้มข้นในระบบ microwave digestion และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS พบว่า เหล็ก แมงกานีส และ สังกะสี ที่ละลายในน้ำมีปริมาณที่สูงที่กระทุ่มแบน ตัวอย่างดินตะกอนพบว่า โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส และสังกะสี มีปริมาณสูงที่เขตหนองแขม ตัวอย่างแพลงก์ตอนและผักตบชวา ที่ทำการเก็บจากเขตหนองแขม และกระทุ่มแบน มีการปนเปื้อน โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ตัวอย่างที่เก็บจากเขตภาษีเจริญมีการปนเปื้อน เหล็กและตะกั่วในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างปลาและหอยจากพื้นที่ดังกล่าวสะสม โลหะหนักในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน และได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต พบว่าแพลงก์ตอนสะสมโครเมียม เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล แมงกานีส และสังกะสี สูงกว่าสิ่งมีชีวิต ชนิดอื่น พบว่าผักตบชวาสะสมโลหะหนักทุกชนิดในรากมากกว่าใบ สำหรับตัวอย่างปลาพบว่าตับ และไตสะสมเหล็กมากที่สุดตามด้วยสังกะสีและทองแดง ส่วนเหงือกเป็นอวัยวะที่สะสมแมงกานีส สูงที่สุด ตัวอย่างหอยพบว่าส่วนเท้าและเหงือกสะสมเหล็ก แมงกานีส สังกะสีและทองแดงสูงกว่า แมนเทิล จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าโลหะหนักมีปริมาณลดลงเมื่อลำดับห่วงโซ่อาหารเพิ่มขึ้น ยกเว้นปริมาณของทองแดงซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับห่วงโซ่อาหาร

สมุลทา วาจาบัณฑิตย์ (2547) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในกุ่มแห่งโดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี ตรวจสอบความปลอดภัยในการบริโภคจากการ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยเลือกกุ่มแห่งที่ผลิตในจังหวัดชลบุรีจำนวน 15 ตัวอย่าง จากผู้ผลิต 3 ราย นำมาผ่านกระบวนการย่อยอย่างสมบูรณ์โดยกรดผสม (กรด ซัลฟิวริก + กรดไนตริก + กรดเปอร์คลอริก ในอัตราส่วน 1:5:2 ตามลำดับ) แล้วตรวจวิเคราะห์ ปริมาณตะกั่วโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการตรวจวิเคราะห์ พบว่า กุ่มแห่งที่ผลิตในจังหวัดชลบุรีมีปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.5754 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อทดสอบทางสถิติ (t-test) แล้วยืนยันว่าปริมาณตะกั่วในกุ่มแห่งที่ผลิตในจังหวัดชลบุรียังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัญหาการสะสมโลหะหนักในแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย ได้รับการศึกษา และมีรายงานถึงประเด็นปัญหานี้มาแล้ว อาทิเช่น สมชาย วิบุญพันธ์ และคณะ (2549) ได้ทำ การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ใน ตัวอย่างสัตว์ทะเล 6 ชนิด ได้แก่ หอยนางรม หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยลาย กุ้งแชบ๊วย และกุ้งตะกาด จำนวน 594 ตัวอย่างที่สุ่มเก็บจากแหล่งเพาะเลี้ยง และแหล่งทำการประมงที่

ลำค้ำญบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ได้แก่ อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี อ่าว นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช และอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี ระหว่างปี 2542-2545 ความเข้มข้นของสารปรอท ในหอยและกุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.036-0.080 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยหอยแมลงภู่บริเวณอ่าวบ้านดอนมีการปนเปื้อนมากที่สุด และกุ้งตะกาดบริเวณอ่าว นครศรีธรรมราช มีการปนเปื้อนเฉลี่ยน้อยที่สุด สารแคดเมียมในหอยและกุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.096-1.742 ไมโครกรัมต่อกรัม พบว่าหอยแครงบริเวณอ่าวบ้านดอนมีการปนเปื้อนเฉลี่ยมากที่สุด และกุ้งแชบ๊วยบริเวณอ่าวนครศรีธรรมราช มีการปนเปื้อนเฉลี่ยน้อยที่สุด สารตะกั่วที่ ปนเปื้อนในหอยและกุ้งอยู่ในช่วง 0.170-0.690 ไมโครกรัมต่อกรัม พบว่าในหอยแมลงภู่บริเวณ อ่าวบ้านดอน และหอยลายบริเวณอ่าวนครศรีธรรมราช มีการปนเปื้อนเฉลี่ยมากที่สุด และกุ้ง แชบ๊วย บริเวณอ่าวนครศรีธรรมราช มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด กระทรวงสาธารณสุขประมาณค่า สารปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ที่เข้าสู่ร่างกายคนจากการบริโภคหอยและกุ้งเป็นอาหาร เฉลี่ย 13.01, 170.30 และ 110.54 ไมโครกรัมต่อกรัมต่อคน ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ค่าอยู่ในระดับที่ ต่ำกว่าค่าที่ร่างกายผู้บริโภคได้รับอันตราย ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปว่า สารปรอท แคดเมียม และ ตะกั่ว ที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ตามมาตรฐานที่กระทรวง สาธารณะสุข ประเทศไทย อนุญาตให้มีได้ในอาหาร

### 3. กระบวนการเชิงสรีรวิทยาของการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต

Scott and Sloman (2004) ได้อธิบายเกี่ยวกับมลพิษทางสิ่งแวดล้อมอย่างเช่น โลหะหนัก สารกำจัดศัตรูพืช และสารจำพวกอินทรีย์ มีความเสี่ยงอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำซึ่ง ความเป็นพิษดังกล่าวยังไปมีอิทธิพลต่อการอยู่รอด และขบวนการทางสรีรวิทยาของสัตว์น้ำ ผล ของการศึกษาทางด้านสรีรวิทยาของความเป็นพิษ พบว่า ไปทำลายต่อระบบประสาททั้ง 5 ฮอริโมน ความปกติของระบบประสาท และระบบการเผาผลาญ ซึ่งจะทำให้ปลาและสัตว์น้ำที่ ได้รับความเป็นพิษแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติไปจากเดิม เช่น การทำลาย cholinesterase การ ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทที่ส่งต่อไปยังสมอง การสูญเสียประสาทสัมผัสทั้ง 5 และเพิ่มการสูญเสียฮอริโมน gonadal หรือ thyroid นอกจากนี้มลพิษดังกล่าวยังชะลอการ เจริญเติบโต และลดพฤติกรรมการผสมพันธุ์ของสัตว์น้ำทำให้สัตว์น้ำลดจำนวนลง

Hutchinson T.H. and D.B. Pickford (2002) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความ เสี่ยงจากการปนเปื้อนของ tributyltin (TBT) เป็นสารที่ผสมในสี ซึ่งไปมีผลต่อสัตว์น้ำ โดย ผลกระทบจะไปรบกวนการทำงานของระบบ endocrine (Field observation of endocrine disruption : ED) ในร่างกายของปลา หรือสิ่งมีชีวิตในน้ำประเภทอื่น ๆ เช่น สัตว์สะเทินน้ำสะเทิน บกและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง



Huang and Jiang (2000) ได้ทำการศึกษา และสรุปผลของตะกั่วในตัวอย่างปลาที่อยู่ในของเหลว โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลจากการตรวจตัวอย่างของเหลว เป็นการสรุปผลของตัวอย่างปลาต่าง ๆ มีผลต่อการจัดการปรับสภาพของเหลว เป็นการเตรียมการต่อสัญญาณเพื่อตรวจสอบพาราดีียม และแอมโมเนียมไนเตรด ที่เป็นตัวปรับปรุงแก้ไขคุณสมบัติที่ไวต่อตะกั่วในปลาต่าง ๆ ของเหลว และความแตกต่างระหว่างมาตรฐานที่เพิ่มเข้าไปของตะกั่วในตัวอย่างปลาที่ประยุกต์ใช้วิธีการในการสรุปผลของตะกั่วในการค้นคว้าส่วนประกอบของฉลามหนู (DORM-2) และตัวอย่างกล้ามเนื้อของปลาปากแหลมที่ซื้อจากตลาดในท้องถิ่นในการวิเคราะห์ผลพบว่าตรงกับระดับของการค้นคว้าซึ่งความแม่นยำมีมากถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ความแม่นยำระหว่างตัวอย่างที่ทำซ้ำมีมากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธี USS-ETAAS โดยประเมินจากขีดจำกัดของตะกั่วจากมาตรฐานที่เพิ่มเข้าไป โดยมีประมาณ 0.053-0.058 ไมโครกรัม ในตัวอย่างที่แตกต่าง

Gonzalez and Others (1998) ได้ทำการศึกษาปริมาณแคดเมียม และตะกั่วในห่วงโซ่อาหารน้ำเค็มเขตร้อน ซึ่งเราถือว่าโลหะหนักที่มีอยู่ในวงจรทางชีวเคมีจะแพร่กระจายลงสู่ทะเลและทะเลสาบโดยจะสะสมอยู่ในชั้นของตะกอนเป็นแหล่งสุดท้ายแหล่งที่จะพบโลหะหนักได้มักจะอยู่ในทะเลมากกว่าในอากาศและพื้นดิน ดังนั้นสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศวิทยา มีโอกาสที่จะสะสมโลหะหนักในร่างกาย และเกิดความเป็นพิษได้แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Gonzalez และคณะพบว่าตะกอนในดินซึ่งมีสารอินทรีย์ปะปนมาด้วย ที่ระดับความลึก 120 เมตร ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ เมษายน และพฤษภาคม (1992-1993) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วเท่ากับ  $4.6 \pm 2.3 \mu\text{g/g}$  และ  $19 \pm 6 \mu\text{g/g}$  ตามลำดับ

Meltem and Others (2005) ได้ทำการศึกษา และสรุปผลของการตรวจสอบระดับของโลหะหนักในปลาเศรษฐกิจที่จับทะเลสาบ Tuzla พบว่า ปลาที่จับได้ 200 ตัว จากเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2544 ในทะเลสาบ Tuzla ความเข้มข้นของโลหะหนัก (Cd, Pb, Cu, Zn และ Fe) ที่สะสมในกล้ามเนื้อ เหงือก ตับ และอวัยวะเพศของปลา 3 ชนิดคือ (*Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax* and *Mugil cephalus*) หาความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้เครื่อง FAAS และ เครื่อง GFAAS ในปลา *S. aurata* พบปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในเนื้อเยื่อที่กล้ามเนื้อ ปลา *D. labrax* and *M. cephalus* มีการสะสมปริมาณโลหะหนักต่ำมากที่กล้ามเนื้อ ในขณะที่ปลา *M. cephalus* พบความเข้มข้นของโลหะหนักโดยมีค่า Cu ( $12.03 \mu\text{g/g dw}$ ), Zn ( $99.8 \mu\text{g/g dw}$ ) และ Fe ( $383.7 \mu\text{g/g dw}$ ) ในตับและใน

เหงือกของปลา *M. cephalus* พบความเข้มข้นของโลหะหนักโดยมีค่า Cd ( $1.59 \mu\text{g/g dw}$ ) และ Pb ( $6.75 \mu\text{g/g dw}$ ) ตามลำดับ

Amundsen and Others (1997) ได้ทำการศึกษา และพบว่า ระดับของโลหะหนัก (Cr, Pb, Cu, Zn, Mn และ Fe) ที่พบและสะสมในปลาหลายประเภทมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับนิสัยการกินอาหารของปลาแต่ละประเภท อายุ ขนาด ระยะเวลาการสัมผัสโลหะหนักและถิ่นที่อยู่อาศัยของปลา

