บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหามลพิษจากโลหะหนัก

โลหะหนักหมายถึงธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 และอยู่ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ โดยทั่วไปโลหะหนักที่บริสุทธิ์จะมีความเป็นพิษน้อย แต่เมื่อใดอยู่ในสภาพไอหรือสารประกอบจะมีความเป็นพิษสูง ปัญหามลพิษของโลหะหนักเป็นปัญหาที่ร้ายแรงและควรได้รับความสนใจอย่างจริงจัง เนื่องจากโลหะหนักบางชนิดร่างกายได้รับเพียงปริมาณเล็กน้อย เช่น เมื่อกินแคดเมียม 350 มิลลิกรัมก็เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ภายใน 24 ชั่วโมง (CEC, 1978) ในอดีตเคยเกิดพิษภัยของโลหะหนักต่อมนุษย์มาแล้ว เช่น เมื่อปี ค.ศ. 1940 ประชาชนในหมู่บ้านซึ่งตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำจินสุ (Jintsu) ในประเทศญี่ปุ่นได้ล้มป่วยด้วยโรคอิไต-อิไต (itai-itai) ผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกทั่วร่างกาย กระดูกเปราะ เบื่ออาหาร และอ่อนไพลีย เนื่องจากพิษของแคดเมียมซึ่งเกิดจากเหมือง Kamioka ของบริษัท Mitsui Mining and Smelting น้ำในแม่น้ำได้ถูกนำมาใช้ในการทำนาปลูกข้าว แคดเมียมจึงสะสมในข้าวในปริมาณมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Nomiyama, 1975)

การแพร่กระจายของโลหะแคดเมียมและสังกะสีในสิ่งแวดล้อม

โลหะแคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน มีเลขอะตอม 48 ในหมู่ 2B ของตารางธาตุ มีจุดหลอมเหลว 320.9 °C จุดเดือด 769 °C ความถ่วงจำเพาะ 8.65 ที่ 20 °C โลหะชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อร่างกาย แคดเมียมเป็นโลหะที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในสารละลายที่เป็นกรด ในธรรมชาติไม่พบแคดเมียมในรูปธาตุอิสระ แต่จะพบในรูปสารประกอบในเปลือกโลกประมาณ 0.5 ppm แคดเมียมพบในสินแร่ greenockite(CdS) ซึ่งปนกับสินแร่สังกะสี (ZnS) ในปริมาณ 0.1-5 % นอกจากนี้ยังพบแคดเมียมปนอยู่ในสินแร่ตะกั่ว ทองแดง สำหรับแร่ที่พบในประเทศไทยพบแคดเมียมในสินแร่สังกะสีในรูปซิงค์ซิลิเกตและคาร์บอเนตซึ่งมีแคดเมียม 0.38%

ความเป็นพิษของแคดเมียม

การศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมต่อสัตว์น้ำของนักวิจัยต่างประเทศและในประเทศพอสรุปได้ดังนี้

Yoshinari และ Subramanian (1977) พบว่าสารพวกไคติน (chitin) เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก เช่นแคดเมียมสูง และสารไคตินนี้ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงร่างภายนอก (exoskelaton) ของสัตว์น้ำหลายชนิด ดังนั้นการลอกคราบของสัตว์น้ำพวกนี้จึงอาจเป็นวิธีการลดสารพิษออกจากร่างกายก็ได้

Radhakrisnaiah และ Busappa (1986) พบว่าแคดเมียมทำให้ปู Oziotelphusa senex เกิดความเครียดและกินอาหารน้อยลง กระบวนการหายใจลดลงและการขับถ่ายของเสียก็ต่ำลงด้วย ทำให้ไม่เจริญเติบโตและการการกำเนิดลูกรุ่นต่อไปลดลงด้วย

Torreblanca และคณะ (1991) พบว่าแคดเมียมทำให้ระดับโปรตีนที่เนื้อเยื่อบริเวณเหงือกของปลา Procamburus charkii ลดลง

Calabrese และคณะ (1973) ได้ศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมต่อหอย American oyster พบว่าค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมงของแคดเมียมเท่ากับ 3.80 ppm

แววตา ทองระอา (2528) ทำการศึกษาพิษเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีผลต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนซึ่งมีขนาดความยาว 3-4 เซ็นติเมตร ในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30-32 ppt ความเป็นกรดเป็นเบสระหว่าง 8.22-8.32 พบว่าระดับปลอดภัยของแคดเมียมต่อลูกกุ้งเท่ากับ 0.002 - 0.005 ppm ค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมงของแคดเมียมเท่ากับ 0.094 ppm

WHO (1984) ได้กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่ยอมให้บริโภคได้ ในอาหารในหนึ่งสัปดาห์ไม่เกิน 0.0083 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ร่างกายมนุษย์และสัตว์ดูดซึมแคดเมียมในทางเดินอาหารได้ไม่มากนักคือประมาณ 0.5-12 % แต่จะดูดซึมได้มากขึ้นหากร่างกายขาดธาตุแคลเซียมหรือได้รับโปรตีนต่ำกว่าปกติ เมื่อแคดเมียมเข้าสู่กระแสเลือดแล้ว ประมาณครึ่งหนึ่งจะถูกพาไปที่ตับและไต ส่วนที่เหลือจะแพร่กระจายไปที่กระดูกและเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายแคดเมียมสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานโดยมีค่าครึ่งชีวิต (biological half life) ระหว่าง 19-38 ปี ร่างกายสามารถขับถ่ายแคดเมียมได้เพียงเล็กน้อยทางปัสสาวะและทางอุจจาระ

ความเป็นพิษของแคดเมียมในคนส่วนใหญ่เกิดที่ทางเดินหายใจและไต อาการพิษเฉียบพลันเกิดขึ้นเมื่อรับแคดเมียมผ่านทางเดินหายใจประมาณ 2-4 ชั่วโมง โดยมีอาการเจ็บคอ เจ็บหน้าอก คลื่นไส้และเวียนศีรษะ ถุงลมพอง ในกรณีที่ได้รับแคดเมียมปริมาณมาก ๆ ผู้ป่วยอาจตายด้วยอาการปอดบวม (pulmonary edema) ปริมาณต่ำสุดที่ทำให้เกิดพิษเมื่อหายใจอากาศที่มีแคดเมียมเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง อยู่ระหว่าง 1-3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แคดเมียมทำให้เกิดพิษเรื้อรังในปอด โดยทำให้ถุงลมขยายใหญ่ขึ้นและแตกรวมเป็นถุงที่มีขนาดใหญ่ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนของปอดลดลง ซึ่งเรียกว่า emphysema ความเป็นพิษเรื้อรังที่ไต ทำให้ระบบการกรองและดูดสารกลับผิดปกติ จนเกิดภาวะปัสสาวะมีโปรตีน (proteinuria) ภาวะปัสสาวะมีน้ำตาล (glycosuria) มีแคลเซียมมาก(hypercalciuria) และภาวะมีกรดอะมิโน (aminoaciduria)

<u>สังกะสี</u>

สังกะสีเป็นโลหะหนักสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย เลขอะตอม 30 อยู่ในหมู่ 2B ของตารางธาตุเช่นเดียวกับแคดเมียมมีจุดหลอมเหลว 419.5 °C ความถ่วงจำเพาะ 7.14 ที่ 20°C ในธรรมชาติพบสังกะสีในรูป ซิงค์ซัลไฟด์ในสินแร่ zinc blende หรือ sphalerite และ wertzite ในเปลือกโลกมีสังกะสีประมาณ 120 ส่วนในล้านส่วน ในประเทศไทยพบสินแร่สังกะสีในรูปซิงค์ซิลิเกตและคาร์บอเนต (smithsonite) ที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีเนื้อสังกะสี 23-28 %

<u>ความเป็นพิษของสังกะสี</u>

สังกะสีในรูปธาตุไม่ปรากฏความเป็นพิษ ตามปกติแล้วเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคนและสัตว์ เนื่องจากสังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์บางชนิด แต่สารประกอบของสังกะสีบางชนิดอาจแสดงความเป็นพิษได้แต่ไม่รุนแรงเหมือนแคดเมียมเพราะร่างกายสามารถขับสังกะสีที่เกินออกมาได้อย่างรวดเร็ว WHO (1984) ได้กำหนดปริมาณสังกะสีสูงสุดที่ยอมให้บริโภคได้ในอาหารในหนึ่งวันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว

Lasenby และ Duyn (1992) พบว่าโลหะหนักหลายชนิดโดยเฉพาะสังกะสีและแคดเมียมจะถูกสะสมที่เปลือกของกุ้ง <u>Mysis rectica</u> ได้สูงมากถึง 13 และ 8 เท่าของระดับความเข้มข้นในน้ำที่อาศัยอยู่ ตามลำดับ

Calabrese และคณะ (1973) พบว่าค่า LC_{50} ของ 96 ชั่วโมงของโลหะสังกะสีต่อหอย American oyster เท่ากับ 0.31 ppm

แววตา ทองระอา (2525) ศึกษาความเป็นพิษของโลหะสังกะสีและทองแดงต่อปลาตะเพียนขาวพบว่าค่า LC_{50} ของสังกะสีและทองแดงเท่ากับ 34.2 และ 1.98 ppm ที่ 96 ชั่งโมง ตามลำดับ

ความเป็นพิษของโลหะสังกะสีส่วนมากเป็นพิษต่อตัวอ่อนของสัตว์เช่น จากการทดลองของ Portmann (1972) เพื่อหาค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ของหอยนางรมที่เป็นตัวแก่ในสาร

ละลายสังกะสีมีค่ามากกว่า 100 ppm และมีค่าเพียง 0.01 ppm สำหรับหอยนางรมตัวอ่อน

ในคนสังกะสีทำให้เกิดโรค founder agau มีอาการเหนื่อย อ่อนเพลีย กระหายน้ำ มึนงง คอแห้ง ปวดขา ในกรณีที่ได้รับมาก ๆ จะหนาวสั่น ปวดแขนขา ปวดศีรษะ คลื่นไส้อาเจียร มีอาการชักดิ้นชักงอ ไม่เร็วรังแต่มีอาการเฉียบพลัน

<u>การแพร่กระจายของโลหะแคดเมียมและสังกะสี</u>

การแพร่กระจายของโลหะแคดเมียมและสังกะสีสู่สิ่งแวดล้อมเกิดจากสองสาเหตุใหญ่ ๆ คือเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในธรรมชาติเกิดขึ้นเพียงปริมาณเล็กน้อย แต่สาเหตุใหญ่ที่ทำให้ปริมาณแคดเมียม สังกะสีและโลหะหนักอื่น ๆ สูงขึ้น คือกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การสะสมของโลหะแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วในดินชั้นบนรอบ ๆ โรงงานถลุงและหลอมโลหะ (Pip, 1991) และจากการศึกษาการแพร่กระจายของแคดเมียมเนื่องจากอุตสาหกรรมถลุงและหลอมโลหะประเภท non-ferrous metal จะปล่อยแคดเมียมสู่บรรยากาศถึง 10 - 100 กรัมต่อการถลุงสังกะสี 1 ตัน ด้วยกระบวนการถลุงแบบ Pyrometallurgy และ 0.20 กรัมต่อการถลุงสังกะสี 1 ตัน ด้วยกระบวนการแยกโลหะด้วยไฟฟ้า(electrolytic process) (Pacyna,1987) Hoshita et. al.(1990) รายงานว่า ปริมาณสังกะสีที่ถ่ายเทลงสู่ทะเลสาบ Seto ในปี 1980 โดยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ถึง 1700 ตันต่อปี และ 80 % ของสังกะสีจะสะสมอยู่ในตะกอน สำหรับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีจากน้ำทิ้งของโรงงานถลุงสังกะสี จังหวัดตากที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำปิงในปี พ.ศ. 2535 มีค่าเท่ากับ 7.12 และ 57.72 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ (ส่วนสิ่งแวดล้อม บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด)

แหล่งที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมและสังกะสีสู่สิ่งแวดล้อม มีอยู่ด้วยกันหลายแหล่งคือ (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ,2532)

1. อุตสาหกรรมการถลุงและหลอมตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม อุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น ไอของโลหะ น้ำเสียและกากตะกอนที่มีโลหะหนักอยู่ออกมา

2. โรงงานชุบโลหะ โลหะหนักจะแพร่กระจายทางน้ำทิ้งโดยเฉพาะโรงงานชุบโลหะแคดเมียมจะมีแคดเมียมอยู่ในน้ำเสีย 100 - 500 ppm

3. การทิ้งหรือเผาขยะ ของเสีย มีมีแคดเมียมและสังกะสีประกอบอยู่ เช่น แบตเตอรี พลาสติก ยาง สี โลหะเคลือบผิว เป็นต้น

4. การสึกหรอของยางรถยนต์ ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่กับสังกะสีในรูปซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นตัวเร่งในการบ่มยาง โดยมีแคดเมียม 20 - 90 ppm

5. การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในการเกษตร มีแคดเมียมอยู่ในหินฟอสเฟต 2-170 ppm

6. การใช้ถ่านหินและน้ำมันดิบ (crude oil) ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.01-300 ppm ในน้ำมันดิบ 0.03-2.10 ppm (Hutchinson, 1987) สำหรับถ่านหินลิกไนต์ที่แม่เมาะจังหวัดลำปาง พบแคดเมียม 0.25 ppm สังกะสี 7.34 ppm (ธวัชชัย ลาภรังสิรัตน์, 2528)

7. การผุกร่อนของโลหะต่าง ๆ ที่มีสังกะสีและแคดเมียมเจืออยู่ เช่นการผลิตสังกะสีในประเทศไทยจะมีแคดเมียมเจืออยู่ในปริมาณที่กำหนดตามชั้นคุณภาพของสังกะสีตามตารางที่ 1

8. กากตะกอน (seawage sludge) จากโรงบำบัดน้ำเสียของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมจะมีโลหะหนักปนอยู่

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของสังกะสีชั้นคุณภาพต่าง ๆ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533)

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี (%)			
	สังกะสี	แคดเมียม	ตะกั่ว	ทองแดง
SHG	99.990	0.003	0.003	0.002
HG	99.90	0.02	0.03	-
PW	98.00	0.20	0.5-1.40	0.20

การแพร่กระจายของแคดเมียมและสังกะสีทางอากาศอยู่ในรูป ไอ ของโลหะออกไซด์ และในรูปของการรวมตัวกับอนุภาคต่าง ๆ เป็นฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ตกลงมาสู่พื้นดินและพื้นน้ำ นักวิจัยพบว่าปริมาณการสะสมของแคดเมียมในดินชั้นบนและในพืชจะลดลงตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิด (Pacyna, 1987; Pip, 1991) ซึ่งยืนยันว่าเป็นการสะสมของโลหะเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี

ส่วนการแพร่กระจายของโลหะแคดเมียมและสังกะสีทางน้ำเกิดจาก การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการชะล้างผิวดินที่ถูกปนเปื้อนให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำ และรูปไอออนที่ละลายน้ำได้ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากจะตกตะกอนก่อน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กและเบา จะมีอัตราการตกตะกอนช้าสามารถแพร่กระจายไปได้ระยะไกลไปจน

ถึงบริเวณปากแม่น้ำและทะเล ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการละลายหรือรวมตัวกับสารแขวนลอยในน้ำคือ ความเป็นกรดความเป็นเบสของน้ำ (pH) ปริมาณสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ความกระด้าง และอุณหภูมิ เช่น ถ้าน้ำมีค่า pH สูงขึ้น แคดเมียมและสังกะสีจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เป็นต้น ไอออนของโลหะสามารถรวมตัวกับสาร หรือไอออนอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำได้โดยมีลำดับของการรวมตัวดังนี้ คือ Humic acid > CO_3^- > OH^- > Cl^- > SO_4^- (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2532)

การสะสมของโลหะหนักในตะกอนมีปริมาณสูงกว่าในน้ำเหนือตะกอนมาก และความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนส่วนใหญ่จะเกิดที่ผิวหน้าของชั้นตะกอนจนถึงระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร (Price et. al., 1976) เนื่องจากมีกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่นการเปลี่ยนแปลงความเร็วของน้ำซึ่งมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินและเกิดการตกตะกอนของดินในบริเวณต่าง ๆ แตกต่างกันไปหรือในตะกอนที่มีเหล็ก และมังกานีสมากในสภาวะที่ถูกออกซิไดซ์จะอยู่ในรูปออกไซด์ของ Fe^{3+} และ Mn^{4+} ซึ่งสามารถดูดซับโลหะอื่นได้ดี ทำให้มีการสะสมสะสมของโลหะหนักในตะกอนเพิ่มขึ้น เป็นต้น
ค่า Concentration factor ของโลหะหนักในตะกอนมีค่า 10^3-10^5 ซึ่งขึ้นกับชนิดของตะกอน โดยมีค่าจากมากไปหาน้อย คือ Loam > Sandy Loam > Sand ตามลำดับ (Korzeniewski and Neugebauer, 1991) สำหรับค่า concentration factor ของโลหะแคดเมียมและสังกะสีในตะกอนแม่น้ำปิงมีค่า $3.25x10^2$ และ $1.34x10^3$ ตามลำดับ Chester and Voutsinou (1981) พบว่าปริมาณโลหะหนักในตะกอนอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้ และบางครั้งมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากการที่มีสารจำพวกคาร์บอเนต ในตะกอนมากขึ้น เป็นต้น โลหะหนักในตะกอนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

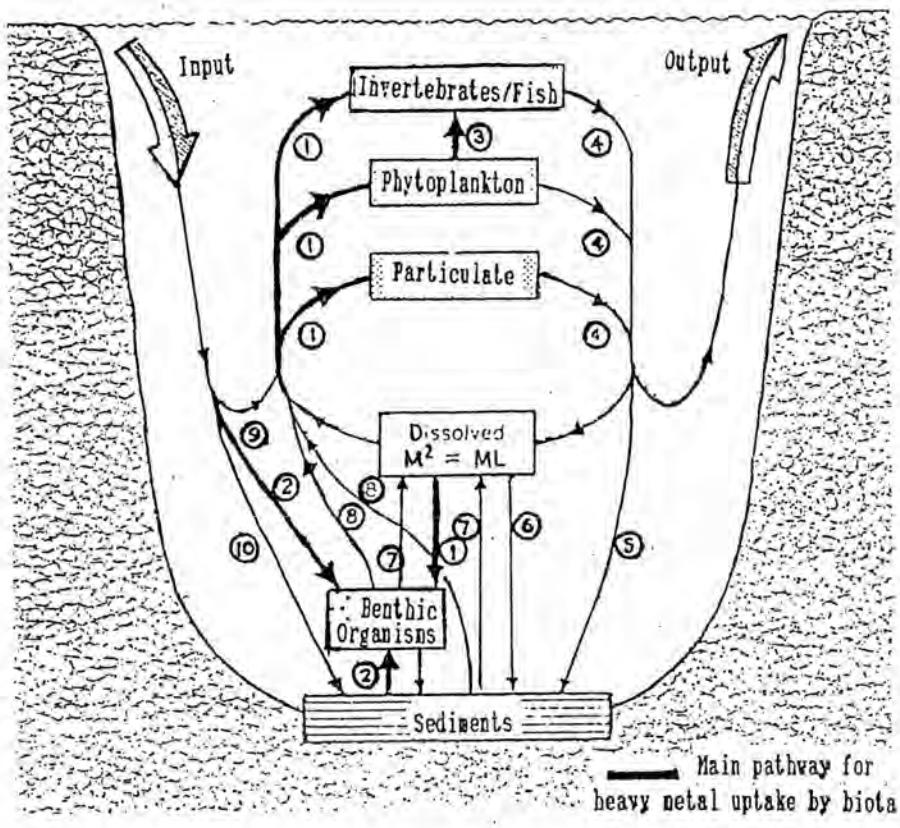
1. Residual trace metals เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในโครงผลึก (crystal lacttice) ของอนุภาคดินเหนียวในตะกอน โดยธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2. Non-residual trace metals เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนที่เกิดจากการดูดซับ (adsorption) กับอนุภาคดินเหนียวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ในตะกอน โลหะหนักส่วนนี้สามารถละลายน้ำได้บางส่วนแต่ส่วนใหญ่จะตกตะกอนจมลง

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนักวิจัย มักทำการศึกษาควบคู่กับปริมาณโลหะหนักในน้ำและในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน การศึกษาปริมาณโลหะหนักตามระดับความลึกของตะกอนเพื่อศึกษาว่าเกิดการสะสมตัวของโลหะหนักเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์หรือไม่ หากพบว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนชั้นบนมากกว่าตะกอนในระดับลึกลงไป อาจสรุปได้ว่าปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นในตะกอนชั้นบนเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของ

ตะกอนจนถึงระดับความลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร(จิระ จตุรานนท์, 2526 อ้างถึง Suess and Erlenkeuser,1975; Bertine,1976 และ Price et al, 1976)

นอกจากการปนเปื้อนและสะสมของโลหะหนักในน้ำและตะกอนแล้ว สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ คือ แพลงค์ตอนพืชและสัตว์ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์น้ำ หอย ปลาหมึก และปลายังได้รับและสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูงขึ้นอีกด้วย ตามระบบความสัมพันธุ์ในห่วงโซ่อาหารดังแสดงในรูปที่ 2 การสะสมของแคดเมียมและสังกะสีในสัตว์น้ำมีปริมาณสูงกว่าในน้ำมาก โดยพิจารณาจากค่า bioconcentration factor ตามตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของนักวิจัยไทย กัลยา วัฒยากร และคณะ (2521) พบว่าค่า bioconcentration factor ของแคดเมียมและสังกะสีในหอยเชลล์มีค่า 5.7×10^5 และ 3.4×10^3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 วัฏจักรชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycle) การเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในแหล่งน้ำ (Hart and Lake, 1987)

ตารางที่ 2 bioconcentration factor* ของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิตในน้ำ (EPA, 1979)

ประเภท	bioconcentration factor *
พืชทะเล	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในทะเล	250,000
ปลาทะเล	3,000
พืชน้ำจืด	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำจืด	4,000
ปลาน้ำจืด	3,000

* bioconcentration factor เป็นอัตราส่วนที่ได้จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต(น้ำหนักเปียก)กับความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดนั้นในน้ำที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่

ปริมาณของโลหะแคดเมียมและสังกะสีในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

การศึกษาเพื่อทราบปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางน้ำเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วโลก โดยเฉพาะในบริเวณที่มีศักยภาพในการสะสมของโลหะหนักสูง เช่น บริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งทะเล บริเวณที่ถูกปนเปื้อนจากอุตสาหกรรม ตัวอย่างงานวิจัยในต่างประเทศแสดงในตารางที่ 3

สำหรับการศึกษาปริมาณแคดเมียม และสังกะสีในสิ่งแวดล้อมทางน้ำของประเทศไทยเริ่มมีการวิจัยในระยะ 20 ปีที่ผ่านมาโดยทำการศึกษา น้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำในแม่น้ำสายหลักและทะเลบริเวณอ่าวไทยเป็นส่วนใหญ่ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 และในแม่น้ำปิงบริเวณจังหวัดตาก แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำในต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง	บริเวณที่ศึกษา ประเทศ	ชนิดของ ตัวอย่าง	ปริมาณ* (นน.แห้ง) แคดเมียม	สังกะสี	หมายเหตุ
Morishita, 1987	แม่น้ำจินซู ญี่ปุ่น สาขาย่อย	ตะกอน	0.3-0.7	–	ต้นน้ำ
			1.0-3.0	-	ท้ายน้ำ
			5.0-28.0	-	รอบเหมือง
Lashine, 1987	แม่น้ำไนล์ ซูดาน	น้ำ	0.4-1.0	2.0-12.0	
		ตะกอน	–	44-443	
		ปลาชนิดต่างๆ	0.18-1.08	30.69-75.12	
Korzeniewski, Neugebauer, 1991	ทะเลบอลติก ตอนใต้ โปแลนด์	น้ำ	0.07-1.15	3.49-13.70	
		ตะกอน	1.4-3.7	31.4-171.6	
		สารแขวนลอย	12.5-116	546-6,292	
Phillips, et al., 1992	อ่าวปอร์ตฟิลลิปส์ ออสเตรเลีย	น้ำ	0.05-0.41	2.0-30.0	
		ตะกอน	0.9-24.0	16.0-190.0	
		หอยกาบ	0.3-9.5	13.0-76.0	นน.เปียก
		Mytilus edulis			
		หอยนางรม	0.4-2.5	150.0-215.0	
		Ostrea angasi			
		หอยสแกลลอป	0.4-1.6	67.0-172.0	
		Pecten alba			

หมายเหตุ * ในน้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัม/ลิตร (ppb.)

ในตะกอน สารแขวนลอย และสัตว์น้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อกรัม (ppm.)

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำ ในน่านน้ำไทย

เอกสารอ้างอิง	บริเวณที่ศึกษา	ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณ* (นน.แห้ง)		หมายเหตุ
			แคดเมียม	สังกะสี	
Menasaveta and Sawangwong, 1977	แม่น้ำเจ้าพระยา ปากน้ำ-นนทบุรี	น้ำ ตะกอน ปลาชนิดต่างๆ	1.64 0.172-0.378 0.010-0.274	228 1.104-5.060 0.450-18.60	 นน.เปียก นน.เปียก
ทวีศักดิ์ ปิยะกาญจน์ และคณะ, 2520	อ่าวไทยตอนบน	น้ำ ตะกอน	0.022-0.041 0.009-0.112	 -	
Cheevaparana-pivat, 1979	แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง	ตะกอน	0.26 0.29 0.19 0.18	101.60 63.75 63.00 69.85	ปากแม่น้ำ
สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย ,2523	ทะเลอ่างศิลา	หอยนางรม C. lugubris	2.55-25.01	253.17-1018.66	
โสภณ ศรีวพจน์, 2526	ปากแม่น้ำเจ้าพระยา	น้ำ ตะกอน	11 0.688	156 169.469	
สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ(สวล),2528ก	แม่น้ำเจ้าพระยา ตอนล่าง ตอนกลาง ตอนบน	น้ำ	 0.10-2.23 0.54-2.17 0.10-3.34	 74.89-136.6 52.27-101.0 22.00-168.0	

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำ ในน่านน้ำไทย (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	บริเวณที่ศึกษา	ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณ* (นน.แห้ง)		หมายเหตุ
			แคดเมียม	สังกะสี	
สวล, 2528ข	แม่น้ำบางปะกง	น้ำ			
	ตอนล่าง		-	23-39	ค่าเฉลี่ย-
	ตอนกลาง		-	28-49	ค่าสูงสุด
	ตอนบน		-	39-39	
	แม่น้ำท่าจีน				
	ตอนล่าง		-	173-260	
	ตอนกลาง		-	247-260	
	ตอนบน		-	152-277	
	แม่น้ำแม่กลอง				
	ตอนล่าง		-	32-83	
	ตอนบน		-	129-197	
	อ่าวไทยตอนบน		-	78.6-186.1	
รัชนีกร บำรุงราช-หิรัญย์ , ขันธ์พงษ์ จริงจิต , 2530	แม่น้ำปราณบุรี	ตะกอน	0.06-0.22	9.96-66.00	ปากแม่น้ำ
	อ่าวไทยตอนบน		0.08-0.57	7.14-59.4	
	บ้านแหลม		0.11-0.34	39.1-48.6	
	ชะอำ		0.05-0.06	1.70-1.88	
สุชาติ ทีมกุล , 2530	แม่น้ำตาปี -แม่น้ำพุมดวง	น้ำ	N.D.	0.100-0.210	
อรพินท์ จันทร์ผ่องแสง ,2530	ทะเลชุมพร ถึง สงขลา	น้ำ	0.02-2.34	0.78-351.84	
		ตะกอน	0.034-0.450	33.5-43.1	

ตารางที่ 4 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำ ในน่านน้ำไทย (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	บริเวณที่ศึกษา	ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณ* (นน.แห้ง)		หมายเหตุ
			แคดเมียม	สังกะสี	
วินัย สมบูรณ์, ชัยพร เชงศรีธวัช, 2534	อ่างเก็บน้ำ แม่จาง แม่เมาะ	น้ำ	1.70-2.80 3.60-5.00	10.90-17.20 17.60-76.10	
ผกา สุขเกษม และคณะ, 2534	อ่าวไทย	หอยแมลงภู่	0.72-33.1	33.0-68.0	

หมายเหตุ N.D. Non detectable

* ในน้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัม/ลิตร (ppb)

ในตะกอน และสัตว์น้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อกรัม (ppm)

ตารางที่ 5 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำ ในแม่น้ำปิง

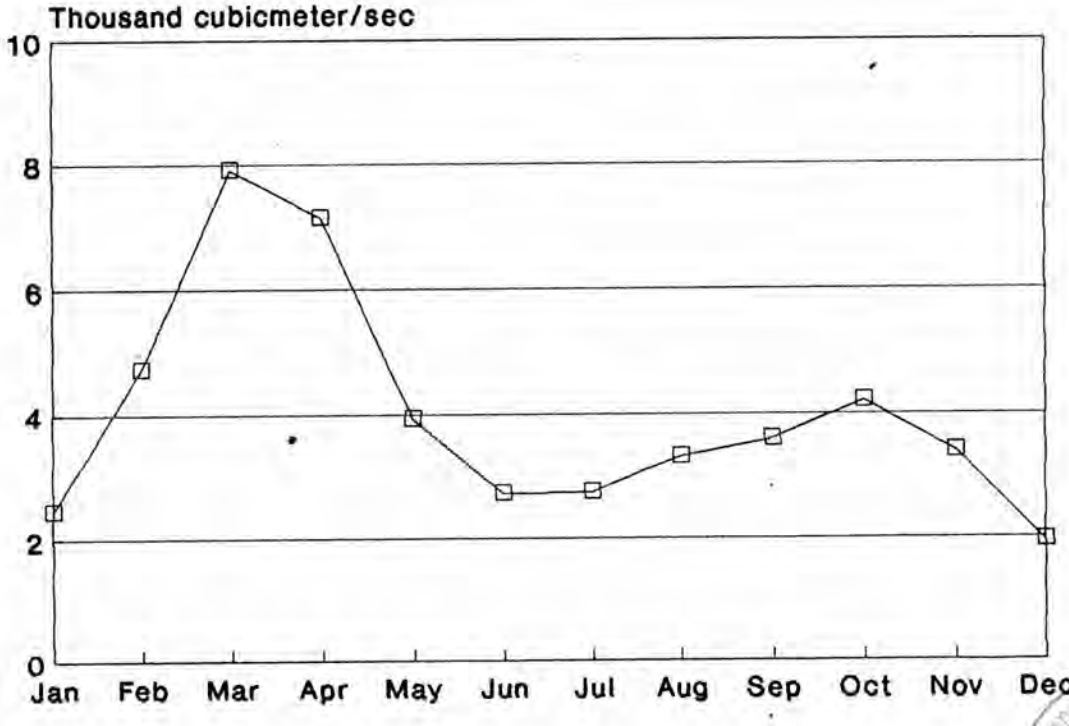
เอกสารอ้างอิง	บริเวณที่ศึกษา	ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณ* (นน.แห้ง) แคดเมียม	ปริมาณ* (นน.แห้ง) สังกะสี	หมายเหตุ
Metric, 1985	สะพานกิตติขจร	น้ำ	< 10	106-128	
		ตะกอน	1.36-1.95	17.5-25.0	
		ปลาตะเพียน	0.02-0.05	1.26-1.89	นน.เปียก
	วิทยาลัยเกษตร-กรรมตาก	น้ำ	< 10	103-113	
		ตะกอน	1.56-1.77	18.0-21.3	
Tesco, 1992	แม่น้ำปิง (สะพานกิตติขจร ถึงบ้านวังเจ้า)	น้ำ	1-6	20-490	
		ตะกอน	<0.025	5.05-6.95	
		หอยชนิดต่างๆ	0.020-0.166	7.75-88.41	นน.เปียก
ผาแดงอินดัสทรี, 2535	สะพานกิตติขจร	น้ำ	1-4	10-660	2527-35
	ใต้จุดปล่อยน้ำทิ้ง 200 เมตร	น้ำ	2-4	20-298	2527
			2-4	20-2,300**	2528
			1-7	10-650	2529-35
	บ้านท่าตะคร้อ 6,000เมตร	น้ำ	1-10	8-290	2533-35

หมายเหตุ * ในน้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัม/ลิตร (ppb)
ในตะกอน และสัตว์น้ำมีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อกรัม (ppm)
** ปริมาณเกินค่ามาตรฐาน

สภาพทั่วไปของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

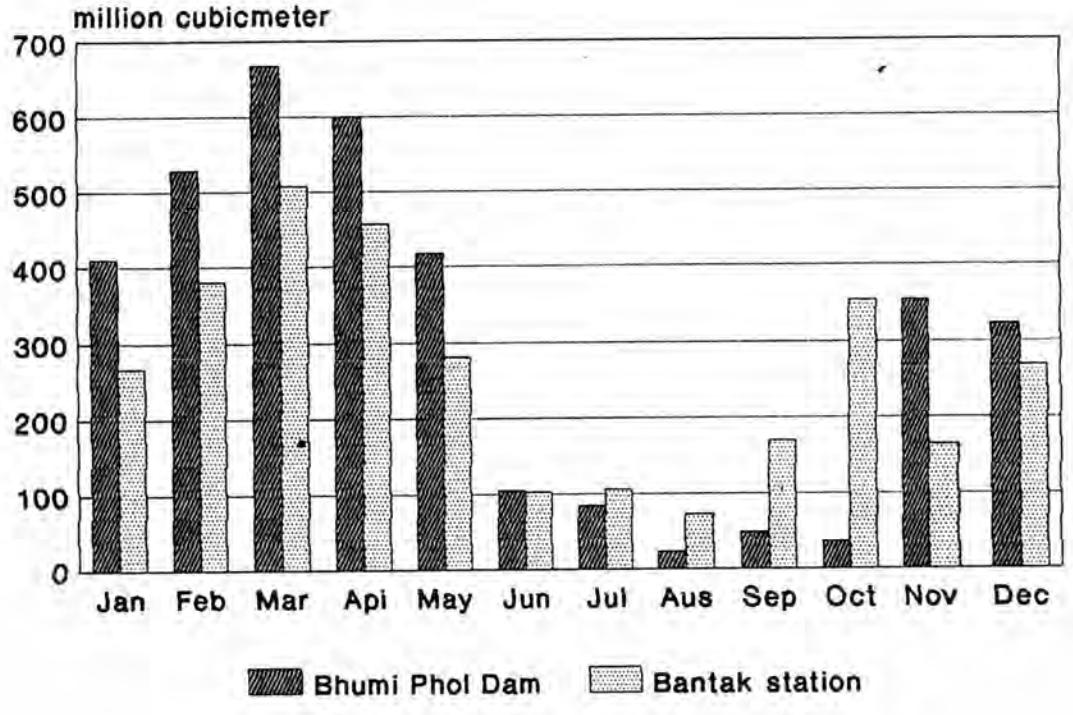
แม่น้ำปิง

แม่น้ำปิงเป็นแม่น้ำสายสำคัญของภาคเหนือต้นน้ำอยู่ที่ อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ไหลลงสู่ทะเลสาบเหนือเขื่อนภูมิพลที่อำเภอสามเงาแล้วปล่อยลงสู่ท้ายเขื่อนผ่าน อำเภอบ้านตาก อำเภอเมือง จังหวัดตากเข้าสู่จังหวัดกำแพงเพชร ที่อำเภอเมืองผ่านอำเภอคลองขลุง อำเภอขาณุวรลักษบุรีและเข้าสู่อำเภอบรรพตพิสัย อำเภอเก้าเลี้ยว สุดท้ายอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ จึงบรรจบกับแม่น้ำน่านที่บ้านปากน้ำโพ แม่น้ำปิงมีความยาวประมาณ 580 กิโลเมตร กว้าง 700-800 เมตร ลึก 0.54-2.66เมตร ปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงตอนล่างที่ไหลผ่านสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่อำเภอบ้านตาก จังหวัดตากในรอบปีของแผนกอุทกศาสตร์ สำนักงานพลังงานแห่งชาติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527-2533 อยู่ในช่วง 1953-7902 ลูกบาศก์เมตร/วินาที (สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2536) ดังรูปที่ 3 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก-1



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำเฉลี่ยในแม่น้ำปิงที่ไหลผ่านอำเภอบ้านตากในรอบปีตั้งแต่ พ.ศ.2527-2536 สำนักงานพลังงานแห่งชาติ (2536)

การใช้ประโยชน์ของแม่น้ำปิงตอนล่าง ตั้งแต่ท้ายเขื่อนภูมิพลลงมาใช้เป็นสายการระบายน้ำ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การชลประทานเพื่อการเกษตรในฤดูแล้ง ตลอดจนการอุปโภคบริโภคของชุมชนและเมืองตามสองฝั่งแม่น้ำ จากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนภูมิพล (รายละเอียดใน ภาคผนวกก-2 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536) เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่อำเภอบ้านตาก (สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2536) ซึ่งตั้งอยู่ใต้เขื่อนประมาณ 30 กิโลเมตรในปีที่ศึกษาคือ 2535 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่เขื่อนภูมิพลปล่อยลงสู่แม่น้ำปิงมีปริมาณมากกว่าที่อำเภอบ้านตาก ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายน และปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงที่อำเภอบ้านตากมากกว่าปริมาณน้ำที่เขื่อนปล่อย ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำในช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากมรสุมในฤดูฝน ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงมากในเดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคม และน้อยในเดือนมิถุนายนและเดือนธันวาคม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณที่ปล่อยจากเขื่อนภูมิพลกับปริมาณน้ำที่อำเภอบ้านตาก ในปี พ.ศ. 2535

สัตว์น้ำในแม่น้ำปิงที่พบจากการสำรวจภาคสนาม ได้แก่ ปลาชนิดต่าง ๆ คือปลาสร้อย ปลาขี้ยอก ปลาแก้มช้ำ ปลาตะเพียน ปลานิล ปลากด ปลาเข็มและหอยชนิดต่าง ๆ คือ หอยโข่ง หอยขม หอยทราย หอยตีนนกและหอยกาบ Metric (1985) สำรวจพบปลาในแม่น้ำปิงถึง 23 ชนิด 11 แฟมมิลี

ชุมชนและอุตสาหกรรม

ชุมชนเมืองจังหวัดตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ ตั้งอยู่บนฝั่งแม่น้ำปิงมีจำนวนประชากร 346,492 663,310 และ 1,077,700 คนตามลำดับ รายละเอียดการแยกเพศชาย-หญิง ดังแสดงในตารางที่ 6 การขยายตัวของเมืองมักขนานไปกับลำน้ำควบคู่กับการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 6 จำนวนประชากรจังหวัดตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์

จังหวัด	จำนวนประชากร(คน)			ที่มา
	ชาย	หญิง	รวม	
ตาก	175,177	171,315	346,492	ที่ทำการปกครองจังหวัดตาก
กำแพงเพชร	330,512	332,798	663,310	ที่ทำการปกครองจังหวัดกำแพงเพชร
นครสวรรค์	540,187	537,513	1,077,700	ที่ทำการปกครองจังหวัดนครสวรรค์

อุตสาหกรรมในจังหวัดตากส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมโรงสีข้าว และอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น การทำหน่อไม้บรรจุปี๊บ การทำผลิตภัณฑ์จากไม้ประเภทวงกบประตูหน้าต่างและเครื่องเรือนจากไม้ การทำกรอบรูป ตะเกียบ ไม้เสียบอาหารและไม้จิ้มฟันจากไม้ไผ่ โรงงานผลิตหินอ่อน หินแกรนิต และโรงงานถลุงสังกะสีขนาดใหญ่

อุตสาหกรรมในจังหวัดกำแพงเพชรเป็นโรงสีข้าว การทำมันเส้น แป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายขาว การโม่หินย่อยหิน ดูดทราย ทำน้ำแข็ง กลึงและเชื่อมโลหะ และซ่อมเครื่องยนต์

อุตสาหกรรมจังหวัดนครสวรรค์ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมการเกษตร เช่นการสีข้าวการกระเทาะเปลือกเมล็ดพืชและการอบเมล็ดพืช รองลงมาเป็นอุตสาหกรรมบริการ การหล่อ กลึง

เชื่อม ชุบโลหะ และซ่อมเครื่องจักร รถยนต์ เรือยนต์ รถจักรยานยนต์ ตลอดจนการเคาะพ่นสีรถยนต์ และอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างและตกแต่ง การโม่บดย่อยหิน ดูดทราย ผลิตปูนซีเมนต์

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโอกาสเป็นแหล่งแพร่กระจายโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมในเขตพื้นที่จังหวัดตาก กำแพงเพชรและนครสวรรค์ในปี 2533 และ 2536 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งแพร่กระจายโลหะหนัก

(สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดตาก กำแพงเพชร นครสวรรค์, 2533 และ 2536)

ประเภทกิจการ	จำนวนโรงงาน					
	ตาก		กำแพงเพชร		นครสวรรค์	
	2533	2536	2533	2536	2534	2536
ขุด ระเบิด โม่บดและย่อยหิน	2	3	3	5	9	10
ขุด ตัก และดูดทราย	5	9	8	16	12	18
ผลิตปูนขาวหรือปูนซิเมนต์	11	17	11	12	1	1
พิมพ์สิ่งพิมพ์ต่าง ๆ	4	2	8	8	13	14
ซ่อม เคาะพ่นสีและศูนย์บริการรถยนต์	10	54	78	93	208	278
กลึง เชื่อม และหล่อหลอมโลหะ	1	7	38	55	67	82
ชุบโลหะ	-	-	-	-	1	1
ซ่อมไดนาโม แบตเตอรี	1	1	1	1	1	7
ทำเครื่องเรือนจากโลหะ เหล็กดัด	3	12	11	10	32	35
ผลิตหินอ่อนและหินแกรนิต	11	13	-	13	4	6
ผลิตอิฐดินเผา อิฐบล็อค ผลิตภัณฑ์คอนกรีต	8	17	28	43	46	61
ผลิตภัณฑ์จากพลาสติก โม่บดพลาสติก	-	-	-	-	4	8
ถลุงโลหะ หล่อหลอมโลหะ	1	1	-	-	-	-
รวม	57	136	186	256	399	522

ลักษณะและชีววิทยาบางประการของหอยกาบที่ศึกษา

หอยกาบเป็นหอยสองฝาอยู่ใน Phylum Mollucca ชอบฝังตัวอยู่ในโคลนหรือทรายครึ่งหนึ่งของลำตัว เปลือกหรือฝากาบทั้งสองประกบกันอยู่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประสานกับแคลเซียมคาร์บอเนต กาบชั้นในเป็นมุกประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตกับสาร conchiolin ที่ผลิตจากแมนเทิล (mantle) ลักษณะภายนอกของหอยกาบมีรอยเส้น growth line รอบจงอยหอย (umbo) เมื่อเปิดฝาออกจะพบเนื้อหอย แผ่นที่ติดอยู่กับกาบหอยเรียกว่า แมนเทิล ซึ่งใช้ในการสร้างเปลือกให้ขยายออกทางด้านหน้าและมีกล้ามเนื้อเป็นมัดสั้น ๆ ข้างละ 2-3 มัด เพื่อช่วยในการเปิดปิดกาบหอย เมื่อเปิดแมนเทิลออกจะพบอวัยวะหายใจ เรียกว่า ทิดิเนีย (tidinia) ลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ สองแผ่นทอดยาวตามลำตัวเหลื่อมกันอยู่ ภายใต้ทิดิเนียมีถุงเก็บไข่และตัวอ่อน ด้านท้ายของแมนเทิลมีช่องเปิด เพื่อให้มีการเข้าออกของน้ำและช่องขับถ่าย หอยกาบจะแยกเพศกันอยู่คนละตัว การผสมพันธุ์มักเกิดขึ้นเมื่อ sperm จากหอยตัวผู้ถูกขับออกจาก gonad ทาง dorsal siphon สู่กระแสน้ำภายนอก หอยเพศเมียจะดูด sperm เข้าทางช่อง Inhalent siphon พร้อมกับน้ำ ไข่จะไม่ออกมาข้างนอกแต่จะฟักตัวอยู่ที่เหงือกเพื่อให้ตัวอ่อนเจริญเติบโตและแข็งแรงก่อน จึงปล่อยให้ดำเนินชีวิตต่อไป

การกินอาหารของหอยกาบทางปากซึ่งเป็นช่องเล็ก ๆ ที่ขอบบนของตีนหอย โดยมี cilia ช่วยในการพัดโบกน้ำเข้าปากผ่านท่อนำอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหาร (stomach) ผนังด้านในกระเพาะอาหารมีท่อเปิดจาก digestive gland ซึ่งปล่อยน้ำย่อยเข้าสู่กระเพาะอาหาร ผ่านเข้าสู่ลำไส้ซึ่งม้วนทบกันไปมาทอดสู่ช่องทวาร (anus) แล้วปล่อยกากอาหารออกรวมกับน้ำจากท่อเหนือเหงือกผ่านช่องน้ำออก (exhalent siphon) อาหารที่ย่อยแล้วจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้

หอยกาบที่พบในประเทศไทยมี 5 สับแฟมมิลี (ชูศิลป์ อัตชู, 2523) แต่ที่พบมากในแม่น้ำปิงคือ Hyriopsinae ชื่อ Hyriopsis myersiana ชอบอาศัยอยู่ในแม่น้ำที่น้ำไหล หอยกาบชนิดนี้เปลือกค่อนข้างใหญ่ มีขนาดความยาว 170 มิลลิเมตร กว้าง(รวมปีก) 120 มิลลิเมตร หนา 40 มิลลิเมตร มุกด้านในกาบเป็นสีขาวอมฟ้าหรือสีปลาเซลมอน หอยชนิดนี้ชาวบ้านนิยมนำมาประกอบอาหารโดยนำมาแกง ผัด ยำ หรือต้มยำ เนื่องจากมีรสดี ให้โปรตีนและไกลโคเจนสูง (สมนึก โภชนสมบูรณ์, 2508) หอยกาบเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในท้องน้ำหน้าดินตะกอนและเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกลนัก จึงเหมาะที่จะใช้หอยกาบเป็น bioindicator เพื่อบอกมลพิษของโลหะหนักในแม่น้ำปิง