

บทที่ 2

แนวทางการศึกษาปริมาณโลหะในตะกอน

ตะกอนใกล้ฝั่งมีบทบาทสำคัญยิ่งในการเป็นแหล่งสะสม(sink) ของมลสารที่ถูกชะล้างมาจากพื้นทวีป (Turekian, 1977 อ้างถึงใน Lyon and Fitzgerald, 1980; Salomon and Forstner, 1984; Sinex and Wright, 1988) ตะกอนจึงเป็นตัวแทนที่สำคัญในการศึกษาและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากโลหะ ซึ่งแนวทางการศึกษาที่ผ่านมาสรุปได้ ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์โลหะในตะกอน

จากการศึกษาทั่วไปพบว่า โลหะในตะกอนที่มาจากกระบวนการธรรมชาติส่วนหนึ่งจะอยู่ในโครงสร้างของ silicate matrix ซึ่งมีความเสถียรและเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นความเข้มข้นของโลหะในตะกอนที่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันส่วนใหญ่จะมีค่าคงที่ (Windom *et al.*, 1989) โลหะในส่วนนี้อาจเรียกว่า non labile หรือ residual phase สาเหตุที่ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมีระดับเพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ คือ การใช้และปลดปล่อยโลหะจากกิจกรรมของมนุษย์นั่นเอง เมื่อโลหะเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำมักจะรวมตัวกับอนุภาคของแข็งด้วยพันธะต่างๆ โดยเกิดพันธะนอกโครงสร้างของ silicate matrix โลหะส่วนนี้รวมเรียกว่า labile phase หรือ non residual phase

ปริมาณโลหะในส่วน non - residual ถูกประเมินได้ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าเทคนิคสกัดล้าง(Acid leaching) กรดที่มีความแรงเหมาะสมจะปลดปล่อยโลหะในส่วนนี้ออกมา ตัวอย่างเช่น 0.5M HCl (Abu-Hilal, 1987) , 8N HNO₃ (Pavoni *et al.*, 1987) โดยมีปัจจัยที่สำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ, เวลา, ชนิดและความแรงของสารที่ใช้, และอัตราส่วนของตะกอนต่อสารที่ใช้ในการ leaching (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2532) หากการควบคุมปัจจัยต่างๆ ไม่เท่ากันแล้ว ผลการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งจะไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ (Tessier *et al.*, 1979; Pickering, 1981 อ้างถึงใน Velinsky *et al.*, 1994)

ปริมาณโลหะทั้งหมดในตะกอนทั้งในส่วน residual phase และ non residual phase สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการเตรียมตัวอย่างแบบย่อยสลายหมด (Total digestion analysis) เช่น การใช้กรดแก่ความเข้มข้นสูงทำการย่อยสลายองค์ประกอบของตะกอน เช่น HF-HClO₄-HCl mixture (Taylor,

1979), $H_2SO_4-HNO_3-HClO_4$ mixture (Kramer *et al.*, 1991) , $HF-HClO_4-HCl$ mixture (Abu- Hilal, 1993) วิธีการนี้ข้อจำกัดน้อยกว่าเทคนิคการสกัดล้างเนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ง่าย (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2532) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โลหะด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้การแปลผลเข้าช่วยในการประเมินผลที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์

2.2 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะในตะกอน

ในการศึกษาการเพิ่มขึ้นของโลหะในตะกอนใกล้ฝั่งจำเป็นต้องทราบค่า background หรือค่าโลหะในตะกอนที่เกิดเพราะกระบวนการธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลจากกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าโลหะในตะกอนของบริเวณที่ศึกษา แนวทางการเปรียบเทียบนั้น พอสรุปได้ ดังนี้

1) เปรียบเทียบปริมาณโลหะในตะกอนผิวน้ำของปัจจุบัน กับข้อมูลในอดีตของบริเวณเดียวกัน วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือ อาจมีความผิดพลาดซึ่งมีสาเหตุจากการปนเปื้อน (ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การเตรียม หรือการวิเคราะห์) โดยสังเกตได้จากข้อมูลของอดีตมักมีค่าค่อนข้างสูง และมีความแปรผันมาก หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์แล้ว โลหะในสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำลง (Fergusson, 1991)

2) เปรียบเทียบปริมาณโลหะในตะกอนผิวน้ำของบริเวณที่ศึกษา กับตะกอนในบริเวณที่ห่างไกลและคาดว่าจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการแพร่ของมลสาร ตัวอย่างเช่น การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะในตะกอนระหว่าง Scheidt estuary และ North Sea (Fatima *et al.*, 1988)

อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ก็มีข้อจำกัด คือเราไม่สามารถทราบได้ว่าตะกอนที่นำมาใช้เปรียบเทียบนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์จริงหรือไม่ นอกจากนี้ ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนของแต่ละบริเวณยังมีค่าแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดอีกด้วย (Windom *et al.*, 1989) ดังนั้นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบจึงอาจจะไม่ใช่ค่าเดียวกับ background ของบริเวณที่ศึกษา

3) เปรียบเทียบระหว่างตะกอนซึ่งสะสมอยู่ในที่เดียวกัน แต่อายุต่างกัน การใช้เครื่องมือเจาะตะกอนที่เรียกว่า Corer ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนแบบแท่ง (Coring) ขึ้นมา เมื่อตะกอนชั้นล่างสะสมตัวก่อนตะกอนชั้นบน ปริมาณโลหะตามลำดับความลึกของตะกอนจึงสามารถใช้เป็นสิ่งบ่งชี้ (indicator) ถึงประวัติการสะสมของมลพิษในอดีตจนถึงปัจจุบัน วิธีการเช่นนี้ นอกจากจะช่วยลดความแปรผันในเรื่องสถานที่แล้ว หากมีการหาอายุตะกอนควบคู่ไปด้วย ก็จะทำให้ทราบประวัติช่วงระยะเวลาของการสะสมมลสารได้ วิธีการนี้จึงได้รับความสนใจและมีการศึกษากันในประเทศต่างๆ อย่างแพร่หลาย (GEMSI, 1987)

2.3 การปรับค่าโลหะในตะกอน

ตะกอนทะเลมีลักษณะที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogenous) เพราะความแตกต่างด้านขนาดของอนุภาคตะกอน องค์ประกอบทางเคมี และอื่นๆ (Fowler, 1990; Libes, 1992; Hamilton, 1993) ลักษณะเช่นนี้ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของโลหะในตะกอนที่วิเคราะห์ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในลักษณะน้ำหนักโลหะต่อน้ำหนักตะกอนโดยตรง แม้ว่าจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเดียวกันก็ตาม ปัจจุบันการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในตะกอน นิยมที่จะทำการปรับ (normalize) ผลการวิเคราะห์ให้อยู่บนฐานเดียวกัน เพื่อลดอิทธิพลอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้

อิทธิพลด้านขนาดอนุภาคตะกอน (grain size effect)

ตะกอนสามารถแบ่งออกได้อย่างคร่าวๆ ออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของแร่ (mineralogical) สัณฐานวิทยา (morphological) คุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมี และกลศาสตร์ ได้ดังนี้ (Salomons and Forstner, 1984)

- 1) ตะกอนขนาดเล็ก ได้แก่ ตะกอนที่อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร อนุภาคเหล่านี้ประกอบด้วย แร่เคลย์ สารอินทรีย์ ควอร์ซขนาดเล็ก อนุภาคคาร์บอนเนต และเฟลสปาร์ เป็นต้น
- 2) ตะกอนขนาดใหญ่ ได้แก่ ตะกอนที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตร ประกอบด้วย ควอร์ซ และ เฟลสปาร์ เป็นส่วนใหญ่

ตะกอนขนาดเล็กมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย และมักมีคุณสมบัติที่เป็นประจุไฟฟ้า คุณสมบัติชนิดนี้เองมีความสำคัญในการรวมตัวระหว่างอนุภาคตะกอนกับโลหะด้วยแรงโคฮีชัน (cohesion) เมื่ออนุภาคตะกอนถูกเคลือบด้วยสารอินทรีย์จะยิ่งทำให้การ adsorb โลหะดีขึ้น ในธรรมชาติ การยึดเกาะของโลหะกับตะกอนขนาดเล็กนั้นมักปรากฏในลักษณะของไอออนบวก (cation) ที่ adsorb อยู่บนผิวของแร่เคลย์ (clay mineral) หรืออยู่ในโครงสร้างของ crystal lattice

เมื่อตะกอนขนาดเล็กมีความสามารถในการสะสมโลหะสูง ขณะที่ตะกอนขนาดใหญ่ที่สะสมโลหะได้น้อยจะมีอิทธิพลทำให้ค่าอัตราส่วนโลหะต่อน้ำหนักตะกอนลดลง ในลักษณะของการถูกเจือจางโดยมวล (mass diluent) ดังนั้น เพื่อลดอิทธิพลในเรื่องขนาดอนุภาค และทำให้การเปรียบเทียบค่าอยู่บนฐานเดียวกัน นักวิชาการส่วนใหญ่มักปรับ (normalize) ผลการวิเคราะห์เฉพาะส่วนอนุภาคตะกอนที่ขนาดเล็กกว่า 63 ไมโครเมตร (silt/clay fraction) (Fatima *et al.*, 1988)

อิทธิพลจากส่วนประกอบของตะกอน

ในตะกอนที่มีองค์ประกอบที่เกิดจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต องค์ประกอบชนิดนี้มีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนลดลงในลักษณะของการถูกเจือจางโดยมวล (mass diluent) เช่นเดียวกับตะกอนขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น สารประกอบคาร์บอเนตในตะกอนจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนลดลงตามปริมาณคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น (Windom *et al.*, 1989; Hanson *et al.*, 1993)

ดังนั้น จึงมีการปรับค่าโลหะในตะกอนบนฐานของ carbonate - free เพื่อช่วยให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องชัดเจนขึ้น โดยสูตรคำนวณ ดังนี้ (อ้างถึงใน Forster and Wittman, 1981)

$$\text{ความเข้มข้นของโลหะในตะกอน (carbonate-free basis)} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์}}{(100 - \% \text{ คาร์บอเนต})}$$

นอกจากนี้ ยังมีการอธิบายค่าโลหะในตะกอนในลักษณะของ Quartz-free basis เช่น Thomas (1972), Carbonate/Quartz-free basis เช่น Salomon and Mook (1977) (อ้างถึงใน Dharmvanij, 1987) ตามความเหมาะสมอีกด้วย

2.4 การแปลผลปริมาณโลหะในตะกอน

แม้ว่าการปรับค่าจะทำให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องเหมาะสมขึ้น แต่ค่าที่ปรับแล้วก็ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดการปนเปื้อนหรือไม่ ดังนั้น จึงมีการนำธาตุอ้างอิง (Reference element) มาใช้เพื่อช่วยประเมินระดับความปนเปื้อน โดยคุณสมบัติที่สำคัญของธาตุอ้างอิงคือ เป็นธาตุพื้นฐานที่มีปริมาณมากอยู่ในธรรมชาติ และส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพราะกิจกรรมของมนุษย์ ตัวอย่างของธาตุอ้างอิงที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ อะลูมิเนียม ลิเทียม นิกเกิล และเหล็ก เป็นต้น (De Groot *et al.*, 1976; Forstner and Wittmann, 1981; Luoma, 1990; Trefry *et al.*, 1976; Wu, 1984; Loring, 1990 อ้างถึงใน Hanson *et al.*, 1993)

การประเมินความปนเปื้อนของโลหะในตะกอนนั้น ทำได้โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนโลหะต่อธาตุอ้างอิงกับอัตราส่วนพื้นฐานของบริเวณนั้นๆ หรือเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอัตราส่วนโลหะต่อธาตุอ้างอิงของ sedimentary rock ในลักษณะของ Sediment Enrichment Factor (SEF) ดังเช่น Kemp *et al.* (1976) ได้บอกถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะในทะเลสาบ Erie ด้วยการใช้อะลูมิเนียมเป็นธาตุอ้างอิงตามสูตรการคำนวณต่อไปนี้ (อ้างถึงใน Forstner and Wittmann, 1981)

SEF	=	$\frac{(E/A)_{\text{sample}} - (E/A)_{\text{crust}}}{(E/A)_{\text{crust}}}$
SEF	=	Sediment Enrichment Factor
(E/A) sample	=	ค่าอัตราส่วนโลหะต่ออะลูมิเนียมของตะกอนที่ศึกษา
(E/A) crust	=	ค่าอัตราส่วนโลหะต่ออะลูมิเนียมของ sedimentary rock

2.5 การศึกษาปริมาณโลหะในตะกอนตามลำดับความลึก

ตะกอนที่ทับถมกันภายใต้อิทธิพลแรงโน้มถ่วงของโลก จะเรียงตัวกันเป็นชั้นในแนวขนานกับผิวน้ำของทะเล ถ้าการตกตะกอนเป็นไปโดยมีระเบียบแล้ว ตะกอนชั้นล่างจะแสดงถึงตะกอนยุคก่อนๆ (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) ดังนั้น หากใช้เครื่องเจาะตะกอนที่เรียกว่า corer ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนเหล่านี้มาศึกษาแล้ว พบว่า ปริมาณโลหะที่สะสมอยู่ในตะกอนชั้นบนมีความเข้มข้นสูงกว่าในตะกอนชั้นล่าง แสดงว่าโลหะที่เพิ่มขึ้นมานั้นน่าจะเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ (Duce and Windom, 1976; Trefry and Presley, 1976; Taylor, 1979) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะให้ผลดีในกรณีที่ตะกอนไม่มีการถูกรบกวนทั้งทางกายภาพและชีวภาพ (Goldberg *et al.*, 1978; Kramer *et al.*, 1991) ขณะที่การศึกษาตะกอนผิวน้ำจะบอกถึงภาวะมลพิษในปัจจุบัน ตะกอนระดับลึกลงไปจะบอกถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในอดีต เมื่อลึกลงไปถึงระดับที่การตกตะกอนเกิดก่อนยุคภาวะมลพิษ ก็จะหาระดับพื้นฐานของโลหะในตะกอนได้ (Bruland *et al.*, 1974) และหากมีการหาอายุทางธรณีวิทยา (Geochronology) ด้วยวิธีกัมมันตรังสีควบคู่ไปด้วย ก็จะสามารถทราบประวัติภาวะมลพิษ (pollution history) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น (Chester and Stoner, 1975; และ Santschi *et al.*, 1984; Wong and Moy, 1984; Finney and Huh, 1989 อ้างถึงใน Zwolsman *et al.*; 1993)

2.6 การวิเคราะห์อายุตะกอนด้วยเทคนิค Pb-210

เนื่องจากสารกัมมันตภาพรังสีมีค่าอัตราการสลายตัวคงที่ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงความดัน อุณหภูมิ หรือสภาวะทางเคมีในสิ่งแวดล้อมก็ตาม (Krauskopf and Bird, 1995) ดังนั้น Krishnaswami, 1971; Martin and Majbeck, 1971; Koide, 1972; Soutar and Goldberg, 1972; Robbin and Edgington, 1975 จึงได้พัฒนาวิธีการหาอายุตะกอนด้วยการใช้เทคนิค Pb-210 (อ้างถึงใน Clifton and Hamilton, 1979) ตามทฤษฎีแล้ว Pb-210 เป็นสมาชิกของการสลายตัวในอนุกรมชุด U-238 ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และลดลงสู่ทะเลโดยการชะล้างจากพื้นทวีป Pb-210 สลายตัวต่อไปเป็นอะตอมลูกคือ Bi-210 มีเวลาครึ่ง

ชีวิต 22.3 ปี เหมาะสมสำหรับการศึกษาประวัติภาวะมลพิษช่วงเวลา 100-150 ปี ที่กิจกรรมของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Goldberg and Chow, 1973)

การที่ไอโซโทป Pb-210 สลายตัวเป็น Bi-210 ให้รังสีเบต้า มีเวลาครึ่งชีวิต 22.3 ปี ซึ่งให้พลังงานต่ำมาก (0.017 MeV) การวัดพลังงานของ Pb-210 โดยตรงจึงทำได้ยาก นักวิชาการทางธรณีเคมีจึงวัดอัตราการสลายตัวของ Pb-210 ทางอ้อม ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธี ดังนี้คือ

1) วัดอัตราการสลายตัวของ Bi-210 ซึ่งสลายตัวต่อไปเป็น Po-210 และให้รังสีแอลฟาที่มีพลังงานสูง มีเวลาครึ่งชีวิต 5 วัน (Krishnaswami *et al.*, 1971; Koide *et al.*, 1972; Krishnaswami *et al.*, 1973; Bruland, 1974; Koide and Bruland, 1975; Shokes, 1976 อ้างถึงใน Nittrouer *et al.*, 1979)

2) วัดอัตราการสลายตัวของ Po-210 ซึ่งสลายตัวต่อไปเป็นไอโซโทปที่เสถียรคือ Pb-206 ให้รังสีแอลฟา มีเวลาครึ่งชีวิต 138 วัน (Schell *et al.*, 1973; Robbins and Edgington, 1975 อ้างถึงใน Nittrouer *et al.*, 1979)

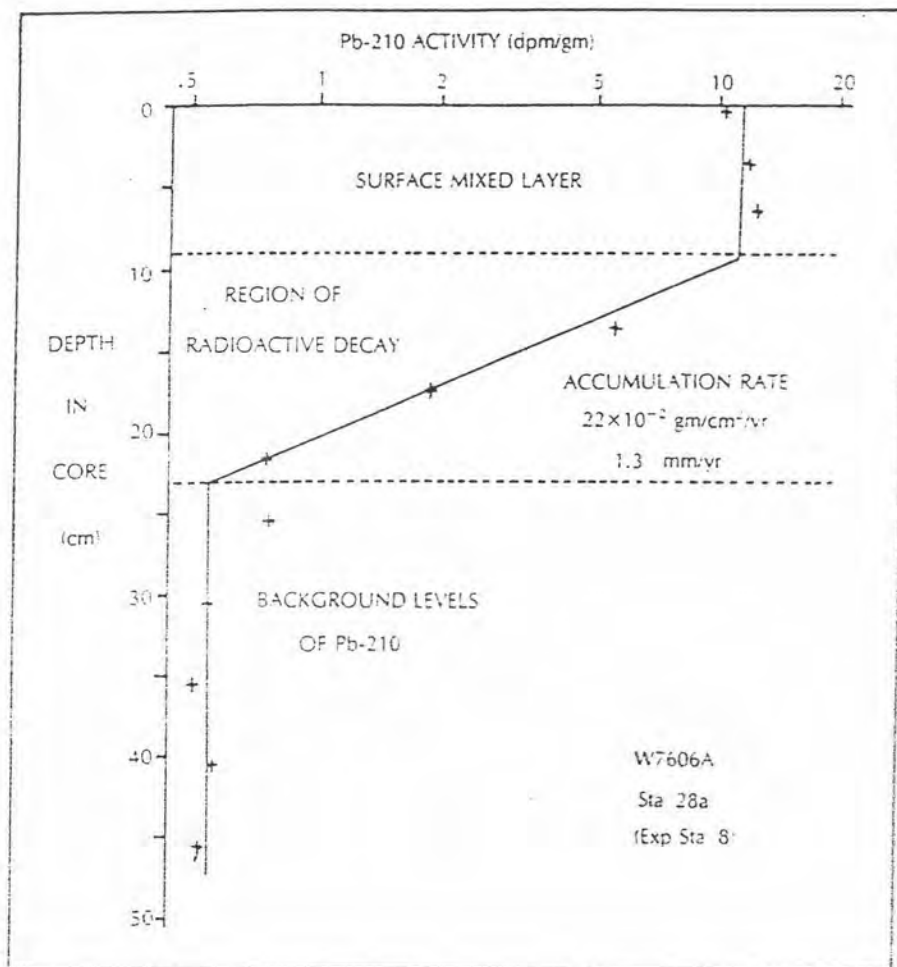
ทั้งสองวิธีตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า มี secular equilibrium ระหว่าง Pb-210 และไอโซโทปที่วัดกล่าวคือ Bi-210 และ Po-210 ในตะกอนเป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของ Pb-210 เท่านั้น เนื่องจาก Bi-210 และ Po-210 มีเวลาครึ่งชีวิตที่สั้นเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่มันอยู่ในตะกอน

Nittrouer *et al.* (1979) ได้ศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสี Pb-210 ตามลำดับความลึกในตะกอนชายฝั่งรัฐวอชิงตัน และสรุปว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนที่สำคัญ ดังนี้ (รูปที่ 2.1)

1) Surface Mix Layer (SML) ได้แก่ ตะกอนชั้นบนซึ่งตามธรรมชาติได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทางกายภาพ เช่น คลื่น และกระแสน้ำ และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต ทำให้ตะกอนชั้นบนมีลักษณะผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ Pb-210 ในตะกอนส่วนนี้จึงมีค่าคงที่

2) Region of Radioactive decay ได้แก่ ตะกอนส่วนที่ลึกต่อจาก SML ลงมา การเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสีของ Pb-210 มีลักษณะลดลงแบบ Exponential ตามลำดับความลึก ตะกอนในบริเวณนี้จึงสามารถคำนวณอัตราการทับถม (sedimentation rate) ได้

3) Background levels of Pb-210 ได้แก่ ตะกอนชั้นล่างลึกต่อจาก Region of Radioactive decay ลงมา เป็นตะกอนอายุมากซึ่งยังคงเหลือเพียงกัมมันตรังสีของ supported Pb-210 เท่านั้น ปริมาณกัมมันตรังสีของ Pb-210 ในตะกอนส่วนนี้จึงมีค่าต่ำและเป็นค่าคงที่ จึงเรียกว่าค่าพื้นฐาน (background level)



รูปที่ 2.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสี Pb-210 ตามลำดับความลึกในตะกอนของ Washington shelf

ที่มา Nittrouer และ คณะ (1979)

การคำนวณอัตราการทับถมของตะกอนด้วยเทคนิค Pb-210 dating จะมีความแม่นยำเพียงใด ขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ของข้อสมมติ ดังต่อไปนี้

- 1) ความคงที่ของปริมาณกัมมันตรังสี excess Pb-210 ที่เข้าสู่ระบบ นั่นคือ อัตราการทับถมของตะกอน และความเข้มข้นของ excess Pb-210 ในตะกอนตั้งต้นจะต้องมีค่าคงที่
- 2) เมื่อตะกอนเริ่มทับถมกัน จะต้องไม่มีการเคลื่อนไหวของตะกอน ยกเว้นแต่ด้วยกระบวนการรบกวนทางกายภาพ และจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณ Surface Mix Layer (SML) เท่านั้น
- 3) การแบ่งชั้นของตัวอย่างตะกอนต้องละเอียดเพียงพอ
- 4) ทราบค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) ของ Pb-210 ที่แน่นอน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนูติ หังสพฤกษ์ และ ไชยยง ยวงทอง (1983) ศึกษาประวัติภาวะมลพิษของโลหะในอ่าวไทยตอนบน โดยทำการสกัดล้างตัวอย่างตะกอนด้วย 1N HNO₃ ที่ 150 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดปริมาณแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ส่วนอะลูมิเนียมทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Total digestion analysis ผลการศึกษาสรุปได้ว่าบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมและตะกั่วในตะกอนชั้นบน เมื่อทำการวิเคราะห์อายุตะกอนด้วยเทคนิค Pb-210 แล้ว ก็พบว่าระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของโลหะดังกล่าวอยู่ในช่วง 30 ปี

Swartz และคณะ (1991) ศึกษาประวัติความเป็นพิษของตะกอนใกล้ฝั่ง Palos Verdes และอ่าว Santa Monica ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งชุมชนของรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา โดยวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว พร้อมด้วยสารพิษอื่นๆ ได้แก่ oil/grease, P,P DDE และ PCBs ตามลำดับความลึกของตะกอน ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นพิษในตะกอนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นขององค์ประกอบ เมื่อเชื่อมโยงข้อมูลนี้กับอายุตะกอนซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Pb-210 แล้ว พบว่า ระดับของโลหะและสารพิษในตะกอนได้เพิ่มขึ้น หลังจากที่มีการปล่อยน้ำเสียในปี 1950 และยังคงสูงอยู่จนถึงปี 1970 ซึ่งกฎหมายควบคุมมลพิษมีผลบังคับใช้ ระดับของโลหะและสารพิษในตะกอนจึงลดลง

Clifton และ Hamilton (1979) ศึกษาประวัติการสะสมโลหะในตะกอนของเอสทูรี Severn และ Tamar สหราชอาณาจักร โดยวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว ในตะกอนตามลำดับความลึก และวิเคราะห์อายุตะกอนด้วยเทคนิค Pb-210 ผลการศึกษาพบว่า ค่าโลหะในตะกอนของ

ทะเลสาบSt-John มีระดับเพิ่มขึ้นเมื่อประมาณปี1840 สะท้อนถึงผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองแดง ในหุบเขาTamar ต่อมาแม้ว่ากิจกรรมบนชายฝั่งส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมแล้วก็ตาม ปริมาณโลหะในตะกอนยังคงมีระดับสูง ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากโลหะที่ตกค้างในเมืองแร่ร้างยังคงถูกชะล้างผ่านทางน้ำใต้ดินลงสู่ทะเลสาบดังกล่าว

นอกจากนี้ ยังพบว่าบริเวณช่องแคบ Bristol ของอ่าว Swansea ซึ่งมีการพัฒนาชุมชนขนาดใหญ่ และอุตสาหกรรมหนักบนชายฝั่ง ได้แก่ อุตสาหกรรมเคมี โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า อุตสาหกรรมโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็ก และอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ นั้น พบว่า ปริมาณของเหล็ก สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ในตะกอนชั้นบน มีระดับสูงมากกว่าในตะกอนชั้นล่าง ซึ่งเชื่อว่าเป็นระดับธรรมชาติ โดยโลหะดังกล่าวมีค่าสูงในช่วงปี 1850-1900 และปรากฏความเข้มข้นสูงสุดในปี 1950 การเพิ่มขึ้นของโลหะในตะกอนที่ระยะเวลาต่างๆ มีความใกล้ชิดกับประวัติการเปลี่ยนแปลงของประเภทของอุตสาหกรรมบนชายฝั่ง

Macdonald และคณะ (1991) ศึกษาอัตราการสะสมของตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ในตะกอนลุ่มน้ำ Ballenas ช่องแคบ Georgia ประเทศแคนาดา พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วที่เพิ่มขึ้นในตะกอนชั้นบนน่าจะสะท้อนถึงผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ เนื่องจากค่าสัดส่วนไอโซโทปของตะกั่วในตะกอนชั้นบน มีค่าที่ใกล้เคียงกับสัดส่วนไอโซโทปของตะกั่วที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ เมื่อมีการเผาไหม้น้ำมันเบนซิน

นอกจากนี้ ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างมากของสังกะสี และทองแดง ในตะกอนชั้นบน ซึ่งน่าจะแสดงถึงผลกระทบจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ (Pulp and Paper Industry) ซึ่งปล่อยน้ำทิ้งที่มี Zn - dithionite ออกมา นอกจากนี้ กิจกรรมการขุดเรือบริเวณชายฝั่ง ก็น่าจะเป็นแหล่งที่มาสำคัญของโลหะทั้งสองชนิดในตะกอนด้วย

ปริมาณโลหะในตะกอนซึ่งมีระดับเพิ่มขึ้นในปี 1800 น่าจะสะท้อนถึงผลกระทบจากโรงงานถลุงแร่ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งจัดตั้งขึ้นในช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยปริมาณโลหะทั้งสองชนิดได้ลดลงเมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีบำบัดอากาศเสีย ในปี 1915-1925 ส่วนแคดเมียมนั้น ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ศึกษา

Keinonen และคณะ(1989) ศึกษาประวัติการสะสมตะกั่วตามลำดับความลึกในตะกอนของทะเลสาบ 3 แห่ง ทางตอนใต้ของประเทศฟินแลนด์ โดยใช้ค่าอัตราส่วนไอโซโทป Pb-206/Pb-207 เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของตะกั่ว ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วน Pb-206/Pb-207 ในตะกอนชั้นล่างซึ่งมีอายุมากกว่า 100 ปี มีค่าสูงใกล้เคียงกับ bedrock ซึ่งแสดงถึงระดับที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หลังจากสงครามโลกครั้งที่สอง(ปีค.ศ.1900)พบว่าระดับตะกั่วในตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อัตราส่วน

ไอโซโทปมีค่าลดลง โดยอัตราส่วนที่พบในตะกอนมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในน้ำมันแกสโซลีน และอากาศ แสดงถึงการสะสมที่มาจากการทำงานของมนุษย์

ปริมาณตะกั่วในตะกอนมีค่าลดลงในปี ค.ศ.1980 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เริ่มมีการใช้น้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วในประเทศฟินแลนด์ จึงสรุปว่าประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณตะกั่วที่สะสมอยู่ในตะกอนของบริเวณที่ศึกษา มีแหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์