



บทที่ 2

โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 และอยู่ในคาบที่ 4-7 ในตารางธาตุ ในสภาพปกติโลหะหนักจะเป็นผลึกบริสุทธิ์มีความเป็นพิษเล็กน้อย ถ้าอยู่ในสภาวะความดันไอสูง สารประกอบของโลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษสูงเช่น methylmercury ตัวอย่างโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (pb) ,ปรอท (Hg) , แคลเซียม (Gd) , สังกะสี (Zn) , ทองแดง (Cu) , เหล็ก (Fe) , แมงกานีส (Mn) , โครเมียม (Cr) เป็นต้น (Waldichuk, 1974)

2.1 ปัญหามลพิษจากโลหะหนัก

ปัญหามลพิษจากโลหะหนัก ควรจะได้รับความสนใจอย่างจริงจังเนื่องจากปริมาณของโลหะหนักที่ทำให้เกิดพิษนั้นอยู่ในระดับต่ำมากและเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ การได้รับปริมาณโลหะมีทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางอ้อมเกิดจากการถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร การศึกษาเกี่ยวกับมลพิษของโลหะหนัก เริ่มศึกษาตั้งแต่ 460 ปีก่อนคริสตศักราช โดยแพทย์ชาวกรีก แต่ปัญหาความเป็นพิษเนื่องจากโลหะหนักที่ได้รับความสนใจและศึกษากันมากในปัจจุบันนี้ คือ ตะกั่ว, แคลเซียม และปรอท เนื่องจากโลหะทั้งสามตัวนี้ได้ก่อปัญหามากในปัจจุบัน เช่น ที่ประเทศ ญี่ปุ่น ความเป็นพิษของแคลเซียม ทำให้เกิดโรค อีไต-อีไต และความเป็นพิษของปรอททำให้เกิดโรค มินามาตะ ประเทศ ญี่ปุ่น ได้ออกกฎหมายป้องกันมลภาวะอย่างเข้มงวดที่สุดในโลก โดยใช้งบประมาณถึง 1.6 % ของงบประมาณชาติ คือ 5000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ สำหรับการควบคุมมลสาร และเอกชนต้องลงทุนถึง 4500 ล้านดอลลาร์สหรัฐ สำหรับค่าใช้จ่ายในการป้องกันมลสาร (17% ของการลงทุนทั้งหมด) (สยามรัฐ 2523)

สำหรับปัญหามลพิษจากโลหะหนักในประเทศไทย ยังไม่ได้รับความสนใจและเอาใจใส่เท่าที่ควร

2.2 แหล่งที่มาของโลหะหนัก

แหล่งที่มาของโลหะหนักโดยทั่วไปแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่ง

คือ

2.2.1 แหล่งตามธรรมชาติ เนื่องจากในธรรมชาติมีโลหะหนักต่าง ๆ ปะปนอยู่กับหินแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ในหินอัคนีและหินแปรมีตะกั่ว 10-20ppm (Vinogrador, 1962) มีการคาดคะเนว่าทั่วโลกมีตะกั่วในทะเลสาบและแม่น้ำ 1-10 ppm (livingstone 1963) แคลเซียมพบปะปนอยู่กับแร่สังกะสี ส่วนปริมาณโลหะหนักที่จะมีในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับ

2.2.1.1 ความมากน้อยของการเขาระกอนโคลสม

2.2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นและอองนั้น

2.2.1.3 ความมากน้อยของการตกลงมาสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำของฝุ่นละอองนั้น ซึ่งควบคุมด้วยความถี่ของวันที่ฝนตกและขนาดของฝุ่นละอองนั้น ๆ

2.2.2 แหล่งที่มนุษย์เกี่ยวข้องกับ

2.2.2.1 แหล่งที่อยู่กับที่ โรงงานต่างๆ ที่มีขบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับโลหะหนักจะปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่สภาวะแวดล้อมเสมอ เช่นโรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงโลหะ โรงงานผลิตสี ฯลฯ ปริมาณที่ปลดปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับชนิดของขบวนการผลิตและขั้นตอนการผลิตของโรงงานนั้น ๆ แต่แหล่งที่อยู่กับที่นี้จะก่อให้เกิดปัญหาเฉพาะบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น

2.2.2.2 แหล่งที่เคลื่อนที่ เป็น แหล่งที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะและได้รับความสนใจกันกว้างขวาง โดยเฉพาะในย่านเขตชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่นเพราะโลหะหนักที่ก่อให้เกิดปัญหามากคือ ตะกั่ว และแคลเซียม ซึ่งเป็นผลจากการเติมตะกั่วเพื่อป้องกันการน็อคของเครื่องยนต์ในน้ำมัน ส่วนแคลเซียมจะถูกปลดปล่อยออกจากน้ำมันเครื่องยนต์

2.2.2.3 การเกษตร โดยการนำเอาสารเคมีต่าง ๆ มาใช้เพิ่มผลผลิตทั้งในรูปของปุ๋ยซึ่งเป็นผลทางตรงและยาปราบศัตรูพืชต่างๆ ซึ่งมีผลในทางป้องกันการสูญเสียผลผลิต ดังนั้นการเกษตรจึงเป็นแหล่งที่ส่งเสริมให้มีผลตกค้างของโลหะหนักได้อีกทางหนึ่ง

2.2.2.4 แหล่งอื่น ๆ แหล่งที่มีการนำเอาโลหะหนักไปใช้

ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น สีทาบ้าน ผงซักฟอก จะมีตะกั่วและแคดเมียมปะปน เป็นต้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความมากน้อยในการใช้ประโยชน์ และความ เลินเล่อของผู้ใช้

2.3 ปรอท (Mercury)

ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวที่ -38.9°C ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 13.59 สามารถทำให้เป็นของแข็งได้แต่เพราะที่อุณหภูมิปกติจะระเหยเป็นไอได้ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ง่าย

2.3.1 สารปรอทในธรรมชาติ

สารปรอทในธรรมชาติ พบอยู่ใน หิน, ดิน, แร่, น้ำ ตลอดจนพบในสิ่งมีชีวิตสารประกอบของปรอทแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ สารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ของสารประกอบ 2 ประเภทนี้แสดงในรูปที่ 2.1 สารประกอบอนินทรีย์มักอยู่ในรูปของธาตุปรอท (elemental mercury) สารประกอบของเมอคิวรัสไอออน (mercurous ion (Hg^+)) หรือเมอคิวริกไอออน (mercuric ion (Hg^{2+})) ส่วนสารปรอทอินทรีย์สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มของเอริล (aryl) และอัลคิล (alkyl) โดยกลุ่มของเอริลเมอคิวรี (arylmercury) จะมีความคงทนอยู่ในธรรมชาติมากกว่า ส่วนกลุ่มของอัลคิลเมอคิวรี (Alkmercury) มักมีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และมีพิษมากกว่ากลุ่มเอริลเมอคิวรี (arylmercury) หรือสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ของสารปรอท (Glass, 1975)

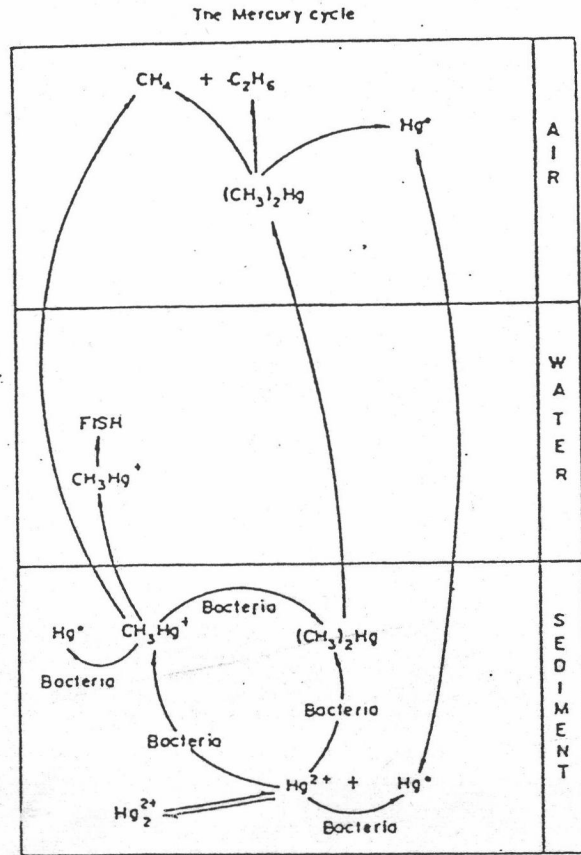
แหล่งกำเนิดใหญ่ของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมได้มาจากการกัดเซาะ (erosion) และการชะล้าง (leaching) เอาสารปรอทที่เกิดขึ้นเองด้วยกระบวนการทางธรณีวิทยาตามธรรมชาติ โดยน้ำฝนจากนั้นจะไหลลงสู่ลำธาร ทะเลสาบและซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (ดังแสดงในรูปที่ 2.2)

2.3.2 สารปรอทที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยการกระทำของมนุษย์

การนำเอาสารปรอทมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ มากมาย เป็นสาเหตุให้สารปรอทกระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม เช่น

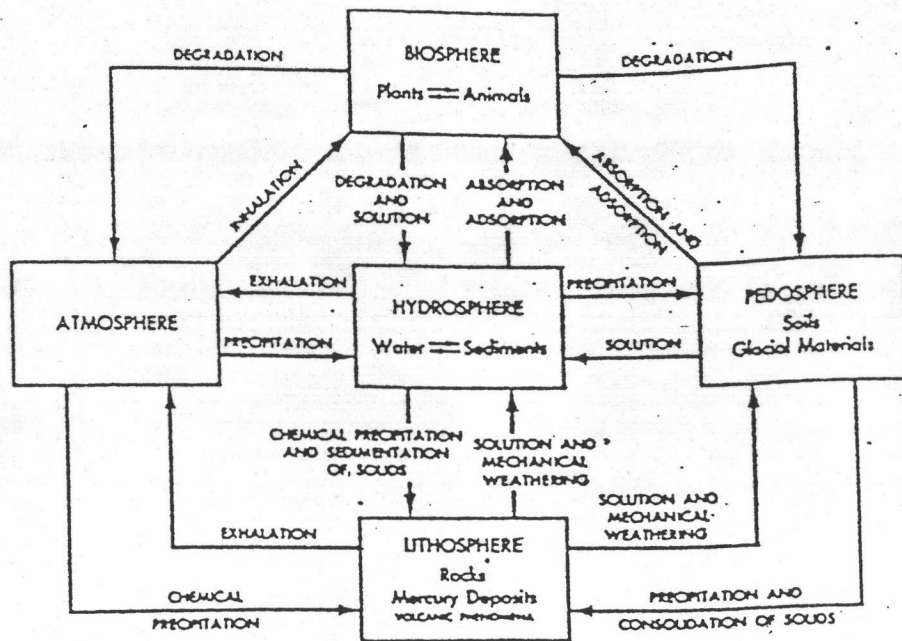
2.3.2.1 ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์และมาโรมิเตอร์

2.3.2.2 ใช้ทำให้เกิดโลหะเจือกับโลหะอื่น ๆ เช่น Ag และ



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ของสารปรอท

(Wood, 1975)



รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งกำเนิดของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

(Jonasson, 1971 in D'Itri, 1975)

Sn โลหะเงือกของ Hg และโลหะอื่น ๆ เรียกว่าอะมัลกัม (amalgam)

2.3.2.3 ใช้ผสมกับ Na เกิดโลหะเงือก Na-Hg ซึ่งเป็นตัว
รีดิวซ์ที่คมมากของปฏิกิริยารีดักชัน

2.3.2.4 ใช้เป็นตัวคะตะลิสต์ในกระบวนการผลิตไวนิลคลอ-
ไรด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหรือโมโนเมอร์ในการผลิตพลาสติกพีวีซี

2.3.2.5 ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช และใช้ฆ่าเชื้อรา

2.3.2.6 ใช้ทำถ่านไฟฉาย

2.3.2.7 ใช้สกัดทองคำจากแร่ทองคำโดยวิธีทำให้เกิดอะมัลกัม
กับแร่ทองคำ

2.3.2.8 ใช้ทำตะเกียงชนิดที่เรียกว่า ตะเกียงไอปรอท

2.3.2.9 ใช้เป็นคาโทดในกระบวนการเตรียมโซดาไฟ (NaOH)

2.3.2.10 ใช้ในเครื่องมือที่ทำให้เกิดสุญญากาศ

2.3.2.11 ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เพื่อป้องกันไม่ให้
กระดาษยุ่ยง่าย

2.3.2.12 ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง

2.3.2.13 ซัลไฟด์ของปรอทใช้ทำสีแดงในงานอุตสาหกรรม

เครื่องเคลือบดินเผา

2.3.2.14 ออกไซด์ของปรอท ใช้ทำสีเพื่อป้องกันไม่ให้แตก
ลอกง่าย ซึ่งใช้ในการทำไม้ทองเรือ

สำหรับสารปรอทอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม พบว่าเนื่อง
มาจากผลของ

- ของเสียจากขบวนการผลิตของโรงงานสารเคมี (methyl
mercury)

- สารเคมีที่ใช้กว้างขวางในทางเกษตรกรรม (methyl,
ethyl, phenyl mercury)

- การใช้เป็นยาป้องกันการติดเชื้อ และฆ่าเชื้อราในทางการ
แพทย (ethyl mercury และในเสื้อผ้า (phenyl mercury)

รูปแบบของสารปรอทที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีอยู่ทั้งหมด 5 รูป ดังนี้
(Jernelor, 1969)

1. divalent mercury , Hg^{2+}
2. metallic mercury, Hg^0
3. phenylmercury, $C_6H_5Hg^+$
4. methylmercury, CH_3Hg^+
5. Alkoxyalkylmercury, $CH_3O-CH_2-CH_2-Hg^+$

ในสภาวะที่มีการลด (reducing condition) พรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพรอทซัลไฟด์ แล้วเกิดการตกตะกอน ซึ่งเป็นพรอทในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่ละลายเลย พรอทซัลไฟด์สามารถถูกออกซิไดส์ (oxidize) ได้โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ทำให้มีโอกาละลายน้ำออกมาได้อีก ในแหล่งน้ำที่มีการขาดออกซิเจนบริเวณกันแหล่งน้ำจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มาก ดังนั้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนพรอทให้เป็นพรอทซัลไฟด์จึงมีโอกาสเกิดขึ้นมากกว่าแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในระดับปกติ

2.3.3 การสะสมของพรอทในดินตะกอน

สารพรอทเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึม (absorb) เข้าไปอยู่ในอนุภาคของตะกอนที่แขวนลอยทั้งที่เป็นพวกสารอินทรีย์และอนินทรีย์ และตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำในเวลาต่อมา โดยพบว่าในน้ำที่มีสารประกอบอินทรีย์เช่น humate และ fulvate ละลายอยู่นั้น สารละลายของสารอินทรีย์ดังกล่าวสามารถรวมตัวกับสารพรอทได้เป็นสารพรอทเชิงซ้อนทั้งที่ละลายน้ำได้ และละลายน้ำไม่ได้ สารพรอทเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำจะตกตะกอนสู่ท้องน้ำทันที ส่วนสารพรอทเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ก็จะถูกดูดซึม โดยอนุภาคของตะกอนแขวนลอย และจะมีการตกตะกอนเกิดขึ้นเช่นกัน

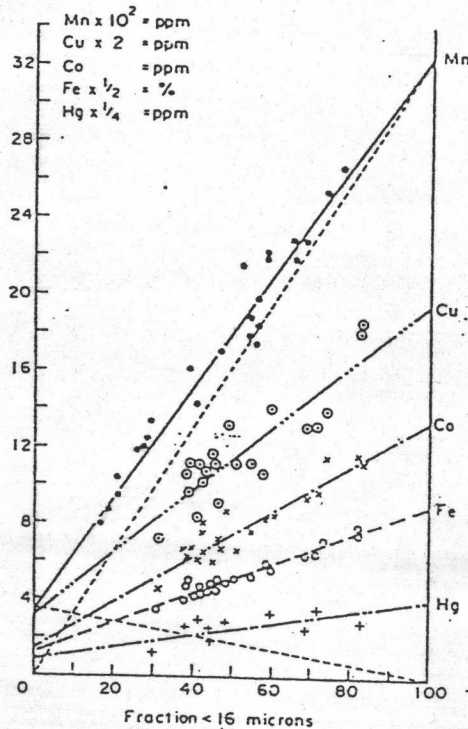
ความเข้มข้นของพรอทในดินตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของดินตะกอน โดยดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว (clay) และมีสารอินทรีย์อยู่มากจะมีปริมาณพรอทสูง ส่วนในดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นทรายมีปริมาณพรอทน้อยกว่า

การเปลี่ยนพรอทในรูปแบบต่าง ๆ ให้เป็นพรอทในรูปเมธิล (methyl mercury) พบว่าเกิดในชั้นดินตะกอน แต่ถ้าพรอทอยู่ลึกลงไปชั้นดินตะกอนจะไม่มีผลต่อการเกิดเมธิลเมอร์คิวรี ถ้าไม่ถูกรบกวน อย่างไรก็ตามการเคลื่อนไหวของกระแสน้ำและปรากฏการณ์ทางกายภาพอื่น ๆ เช่น สัตว์เล็กจำพวก หนอน หอย และในบริเวณที่มีการขุดลอกผิวหน้าของดินตะกอนจะมีการรบกวนในระดับลึกหลาย ๆ ฟุต

ปริมาณพรอทมีความสัมพันธ์กับสารอินทรีย์ในดินตะกอน โดยดิน

ตะกอนที่มีความเข้มข้นของปรอทสูงจะมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มาก (Warren et al., 1966 and reimers & krenkel, 1974) และสารอินทรีย์ทุกรูปแบบสามารถดูดซับปรอทอินทรีย์ได้ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ (Sulfur) จะสามารถดูดซับได้มากที่สุด

ปริมาณปรอทมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (linear - relationship) กับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนดินตะกอนที่มีขนาดน้อยกว่า $16 \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 พบว่าการสะสมของปรอทจะมีมากเมื่อดินตะกอนมีขนาดน้อยกว่า $16 \mu\text{m}$ แต่ถ้าขนาดของดินตะกอนน้อยกว่า $2 \mu\text{m}$ ก็จะมีความสัมพันธ์กันน้อยมากหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (Krenkel, 1975)

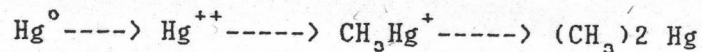


Linear relationships between metal contents and percentage of fraction < $16 \mu\text{m}$ (Ems sediment).

รูปที่ 2.3 แสดงปริมาณปรอทที่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (linear relationship) กับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของส่วนดินตะกอนที่มีขนาดน้อยกว่า $16 \mu\text{m}$ ไมโครเมตร

2.3.4 การเกิดเมทิลเลชั่น (Methylation) ของปรอท

กระบวนการเกิดเมทิลเลชั่น (Methylation) คือกระบวนการที่เปลี่ยนปรอทในรูปของอินทรีย์ไปเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของปรอทเมทิล (methylmercury) การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยที่ปรอทในรูปโลหะ (metallic mercury) ถูกออกซิไดส์ (oxidize) ส่วนปรอทฟีนิล (phenylmercury) และปรอทอัลคิล (alkylmercury) จะถูกสลายพันธะ จากนั้นด้วยกระบวนการทางชีววิทยา อีออนปรอท (mercuric ion) จะถูกเมทิลเลต (methylate) ได้เป็นปรอทโมโนเมทิล (monomethylmercury) หรือปรอทไดเมทิล (dimethylmercury) แบคทีเรียที่มีความสามารถเปลี่ยนรูปปรอทอินทรีย์ให้เป็นปรอทอินทรีย์ ได้แก่ "methanogenic bacteria" ซึ่งปรอทโมโนเมทิล จะถูกสะสมในสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ส่วนปรอทไดเมทิลมีความสามารถในการระเหยสูง ส่วนใหญ่จึงระเหยออกสู่อากาศ แต่ถ้าในบรรยากาศมีสภาพเป็นกรดหรือได้รับแสงอุลตราไวโอเล็ตก็จะเปลี่ยนรูปเป็นปรอทโมโนเมทิลตกลงมาพร้อมกับฝนอีก และพื้นที่ปริมาณสัมพันธ์ของการเกิดปรอทโมโนเมทิล และปรอทไดเมทิลขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ปริมาณสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของปรอท อุณหภูมิ และ pH ของแหล่งน้ำนั้น (Jensen and Jernelov 1969)



ค่าความเป็นกรดและด่าง มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของสารปรอทในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เกิดปรอทไดเมทิล (Larsson, 1970) ส่วนในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยก็จะทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นปรอทโมโนเมทิลมากขึ้น (study Group on Mercury Hazards, 1970) นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ ปรอทไดเมทิลเปลี่ยนรูปเป็นปรอทโมโนเมทิล ได้โดยง่าย

สภาวะการมีออกซิเจนและการขาดออกซิเจนกับการเกิดเมทิลเลชั่น จากการศึกษาการเกิดเมทิลเลชั่น โดยให้ methanogenic bacteria ซึ่งเป็น anaerobic bacteria ทำให้คิดว่า biological methylation ในน้ำและดินตะกอน ควรจะเกิดในสภาวะที่ขาดออกซิเจน (anaerobic condition) แต่ในน้ำและดินตะกอนในธรรมชาติในสภาวะที่ขาดออกซิเจนจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ และจะเกิดการรวมตัวกับปรอทเป็นปรอทซัลไฟด์ (mercuric sulphide) ซึ่งจะเกิดการเมทิลเลชั่นได้

น้อยมาก โดยโอกาสที่จะเกิดการออกซิเดชันเปลี่ยนซัลไฟด์ (sulphide) เป็นซัลเฟต (sulphate) เพื่อให้ได้ Hg^{2+} ในการเมธิลเลชันน้อยมาก ซึ่งหมายความว่าในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำเมื่ออยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน และมีไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีผลในการยับยั้งการเกิดเมธิลเลชันของปรอท

2.3.5 มลพิษของสารปรอท

เมื่อปรอทได้ถูกนำพาลงสู่แหล่งน้ำแล้วก็มีโอกาสสะสมไปตามห่วงโซ่อาหาร (food - chain) สารปรอทมีการเพิ่มขยายทางชีวภาพ (biological magnification) คล้ายกับยาฆ่าแมลงชนิด chlorinated hydrocarbon ความเป็นพิษของปรอทในแต่ละรูปจะไม่เท่ากัน ปรอทในรูปเมธิล และเอธิลจะมีความเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปรอทในรูปโลหะ (metallic form) และปรอทในรูปประกอบอนินทรีย์ จะมีความเป็นพิษน้อยที่สุด Harris et al (1970) ได้รายงานว่าความเข้มข้นของ methyl mercury ที่ 1 ppb ในน้ำทะเลสามารถลดอัตราการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชได้ และที่ความเข้มข้น 50 ppb การสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้ง Ekeles (1962) พบว่า methylmercury phosphate สามารถฆ่าแพลงค์ตอนพืชได้ ที่ความเข้มข้น 60 ppb ความเป็นพิษของสารปรอทยังขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ความเป็นพิษของปรอทจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Macheod and Pessah, 1973)

พิษของสารปรอทในร่างกายของคนเรา ปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่ 1. ทางจุก 2. ทางปาก 3. ทางผิวหนัง ซึ่งพิษของปรอทจะทำอันตรายต่อร่างกายมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับ

- 1) ทางที่พิษเข้าสู่ร่างกาย เช่น ทางผิวหนัง , ทางระบบหายใจ หรือทางระบบย่อยอาหาร
- 2) ปริมาณมากน้อยเท่าใด ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความเข้มข้น
- 3) สภาพที่ปรอทไปทำปฏิกิริยากับส่วนใดของร่างกาย อวัยวะส่วนไหน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทหรือชนิดของสารปรอทว่าอยู่ในรูปของอะไร เช่น ปรอทเมธิล ปรอทอัลไคด์ ปรอทฟีนีลส์ หรือปรอทอนินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะทำอันตรายต่อร่างกายที่อวัยวะส่วนต่าง ๆ กัน ได้แก่ พิษของปรอทในรูปของเมธิลหรือ อัลไคด์ จะมีมากกว่าพิษของปรอทในรูปฟีนีลส์ หรือสารประกอบอนินทรีย์ของปรอท

อาการแพ้พิษของปรอทมีทั้งแบบเฉียบพลัน และชนิดเรื้อรังโดยที่แบบเฉียบพลันเกิดจากการพิษสารปรอทเข้าไปจะเกิดอาการอาเจียน เลือดออก ปวดท้องอย่างรุนแรงท้องร่วง ไตอักเสบจนถึงตายในที่สุด สำหรับการหายใจเอาไอของสารปรอทเข้าไปจะทำให้เกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ , ปวดอักเสบ, แน่นหน้าอก, หายใจไม่ออกจนถึงตายในที่สุด สำหรับชนิดเรื้อรังอาการคล้ายชนิดเฉียบพลัน แต่ไม่รุนแรงนัก

2.4 ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติโดยทั่วไป คือ อ่อนมีสีน้ำเงินปนเทา หลอมเหลวได้ ทำให้อ่อนและคัดแปลงให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ตามต้องการและสามารถกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ มีความถ่วงจำเพาะ 11.35 ตะกั่วที่พบในเปลือกโลกเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของสารประกอบ และแหล่งตะกั่วที่สำคัญที่สุดได้แก่ แร่กาลีนา (galena, pbs) ตะกั่วที่ใช้ในการอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

- 1) สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Inorganic lead compound) เช่น โลหะตะกั่ว (Pb) ตะกั่วอะซิเตด ตะกั่วซิลิเฟด ตะกั่วซิลไฟด์ และออกไซด์ ของตะกั่ว เป็นต้น
- 2) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Organic lead compound) เช่น ตะกั่วเตตราเอทิล ตะกั่วเตตราเมทิล เป็นต้น

2.4.1 วัฏจักรของสารตะกั่ว (Lead Cycling)

อากาศเป็นตัวแพร่กระจายของตะกั่วได้เนื่องจากอากาศสามารถพัดพา particulates ขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร) ไปได้ แต่สารตะกั่วมีอนุภาคที่ใหญ่กว่าจะนั้นเมื่อเกิดการแพร่กระจายทางอากาศแล้ว ตะกั่วจะตกลงสู่นดินบริเวณใกล้ ๆ กับแหล่งกำเนิด แต่การแพร่กระจายจะมากถึง 30 กิโลเมตรหรือกว่านั้น ถ้าแหล่งกำเนิดเป็นปล่องควันสูง (tall chimney)

อนุภาคตะกั่วในอากาศส่วนใหญ่จะตกลงสู่นดินและในที่สุดก็ผสมอยู่ในชั้นผิวดิน ตะกั่วที่อยู่บริเวณชั้นผิวดินอาจถูกน้ำกลับขึ้นมาได้อีกโดยสัตว์พวกแกะเล็มใบไม้ใบหญ้าบริเวณผิวดินและโคสจุลชีพที่อยู่ผิวดิน และในที่สุดเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหาร

ตะกั่วในแม่น้ำมาจากการ runoff การกัดเซาะ และอากาศ ในทะเลสาบใหญ่ๆ ตะกั่วส่วนมากมาจากอากาศ (airborne deposition) น้ำจืดโดยทั่ว

ไปมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ suspended material มากกว่าน้ำเค็ม และสารเหล่านี้สามารถดูดซับตะกั่วละลายได้ดี พบว่าตะกั่วสามารถเข้าไปใน aquatic food chains ทำให้ปลาที่วางไข่ที่ผิวดินก้นแหล่งน้ำ (surface sediments) มีปริมาณของตะกั่วอยู่ในตัวปลาสูงและปลาที่อายุน้อยมีสารตะกั่วในตัวมากกว่าปลาที่มีอายุมาก การปนเปื้อนของสารตะกั่วในไข่ปลาอาจมีผลกระทบต่อประชากรของปลาและแหล่งอาหารของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงวัฏจักรของสารตะกั่วและเส้นทางที่ทำอันตรายต่อมนุษย์

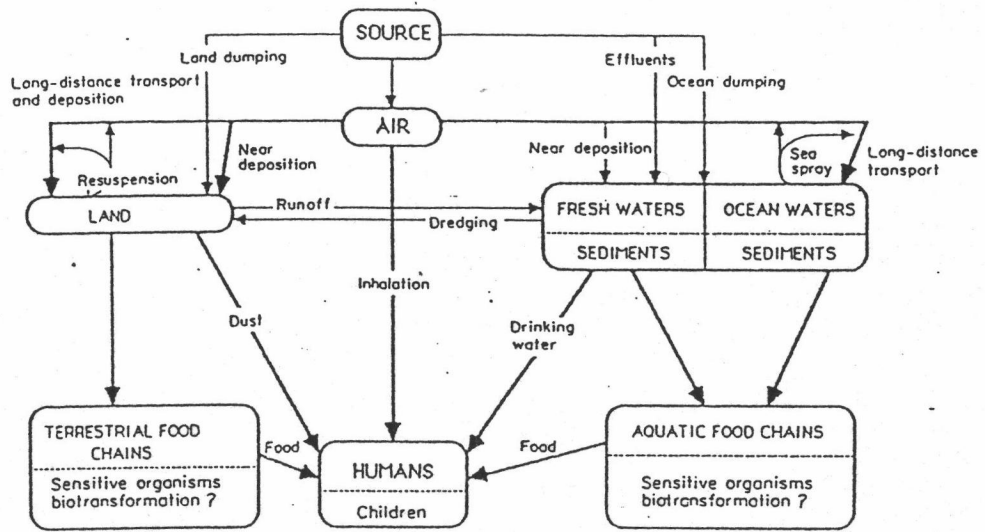
ตะกั่วส่วนมากที่ปนเปื้อนในทะเลเปิด (open oceans) มาจากบรรยากาศ (atmospheric deposition) มากกว่าแม่น้ำ และบริเวณปากแม่น้ำ (estuaries) ในน้ำทะเลมีปริมาณของคลอไรด์สูงซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของตะกั่วละลายสูงด้วย ตะกั่วสามารถตกตะกอนลงสู่ก้นทะเลโดยการดูดซับของอนุภาค (particulate matter) หรือเกิดจากจุลินทรีย์ที่ตายแล้วตกลงสู่ก้นทะเล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงวัฏจักรของสารตะกั่วในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำจืดและทะเล

2.4.2 ประโยชน์ของตะกั่ว

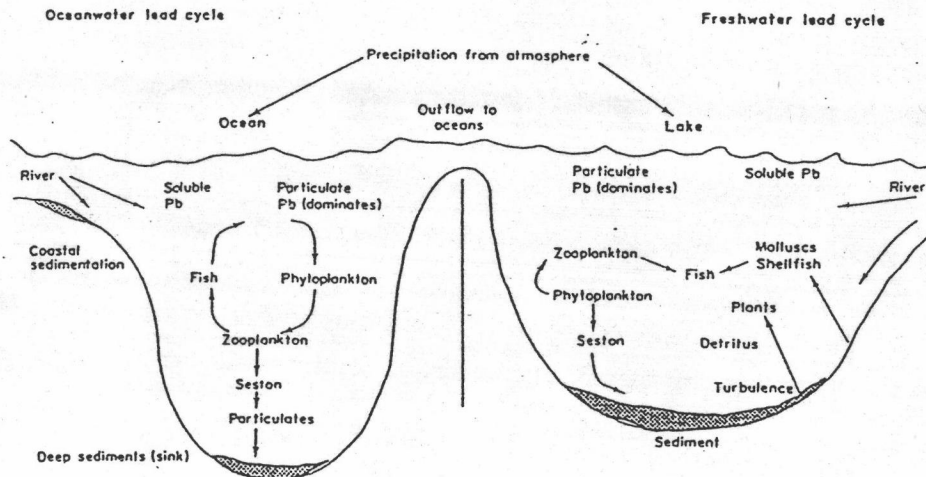
- 1) ใช้ในทางโลหกรรม โดยผสมกับโลหะต่าง ๆ เป็นโลหะผสมเพื่อประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ทำหัวลูกปืน ทำระฆัง แบตเตอรี่ ตะกั่วบัดกรี และใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น
- 2) ใช้ในด้านการแพทย์ และศิลป์ ใช้ในอุตสาหกรรมทำสิ่งต่าง ๆ อุตสาหกรรมเคมี และใช้ในการเคลือบภาชนะดินเผาให้สวยงาม
- 3) ใช้ในด้านเกษตรกรรม โดยผสมในยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น
- 4) ตะกั่ว-เตตราเอซิล และตะกั่ว-เตตราเมทิล ใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องบินและรถยนต์ เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์เดินเรียบ

2.4.3 การเพิ่มขึ้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

การเพิ่มขึ้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปของโลกได้ถูกพบเมื่อประมาณ 20 ปี ที่แล้ว นักสมุทรศาสตร์ที่ศึกษาการแพร่กระจายของตะกั่วในมหาสมุทรพบว่า น้ำในชั้นผิวมีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่มากกว่าน้ำในระดับลึก การที่น้ำระดับผิวมีความเข้มข้นของตะกั่วมากกว่า อาจจะเป็นเพราะตะกั่วถูกนำมาโดยลมและตกลงสู่ผิวน้ำโดยฝน การที่ตะกั่วจะตกตะกอนลงสู่ก้นของมหาสมุทรต้องกินเวลานานนับเป็นร้อย ๆ ปี



รูปที่ 2.4 แสดงวัฏจักรของสารตกัวและเส้นทางการทำอันตรายต่อมนุษย์



รูปที่ 2.5 แสดงวัฏจักรของสารตกัวในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล

ฉะนั้นจึง ทำให้ตะกั่วตกค้างอยู่ในระดับผิวน้ำได้เป็นเวลานาน

Murozumi et al (1965) ได้ทำการศึกษาระดับของตะกั่วในชั้นต่าง ๆ ของน้ำแข็งซึ่งอยู่บนกรีนแลนด์ พบว่าตะกั่วได้มีการเจือปนเพิ่มขึ้นจริงในประมาณสองศตวรรษที่ผ่านมา การเพิ่มของตะกั่วได้เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในราวศตวรรษที่ 18 ทั้งนี้เพราะมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม และพอมาถึงปี ค.ศ. 1924 ซึ่งเป็นปีที่เริ่มใช้ตะกั่วผสมลงในน้ำมันเบนซิน เพื่อเป็นสารกันเครื่องยนต์กระตุก ตะกั่วได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนับแต่บัดนั้นเป็นต้นมา ฉะนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่าการเจือปนเพิ่มขึ้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมของโลกนั้น มีแหล่งที่มาที่สำคัญที่สุดคือตะกั่วในน้ำมันเบนซิน

เมื่อได้เปรียบเทียบระดับตะกั่วในดินของเมืองใหญ่ ๆ กับดินตามชนบทที่ห่างไกลจากความเจริญจะพบว่ามีความแตกต่างกันมาก โดยที่ระดับตะกั่วในดินของเมืองใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่าดินบริเวณชนบท ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

Schell และ Barnes (1971) ได้ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วในแท่งตะกอนที่เก็บขึ้นมาจากก้นทะเลสาบวอชิงตันในมลรัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา เขาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในแท่งดินตะกอนได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่ ค.ศ. 1916 เป็นต้นมา รูปที่ 2.6 แสดงอัตราการเพิ่มแปรผันตรงกับปริมาณการใช้ น้ำมันเบนซิน จากรูปจะเห็นว่าเมื่อปริมาณการใช้ น้ำมันเบนซินเพิ่มขึ้นปริมาณตะกั่วในดินตะกอนก็เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณตะกั่วในดินของสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน

แหล่งของดิน	ระดับของตะกั่ว (ppb)
ดินจากทั่วโลกได้	10-15
เม็กซิโก	
เมืองเม็กซิโกซิตี	179
สหรัฐอเมริกา-ในเมือง	
เมืองวอชิงตัน	234
เมืองนิวยอร์ก	843

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

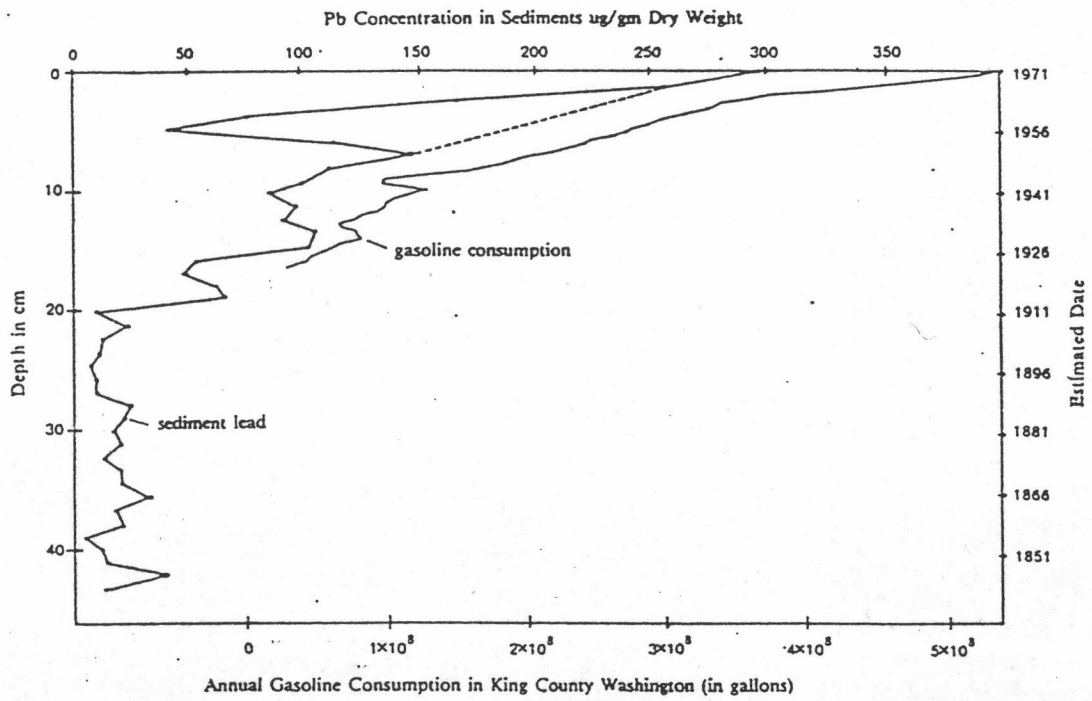
แหล่งของดิน	ระดับของตะกั่ว (ppb)
สหรัฐอเมริกา-ชนบท	
นิวยอร์ก-เชิร์ช	18
แคลิฟอร์เนีย	8
ไทย	
กรุงเทพฯ ข้างถนนสาทรบางนา-ตราด	213
กรุงเทพฯ หมู่บ้านที่ถมที่ด้วยกากแบดเตอรี	3,900
แหล่งที่มา : เปียมศักดิ์ (2520)	

โดยทั่วไปน้ำทะเลในมหาสมุทร จะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วละลายอยู่ในช่วง 0.1-1.0 ppb ความเข้มข้นระดับนี้ถือได้เป็นเส้นฐาน ส่วนน้ำที่อยู่ในบริเวณตัวเมืองใหญ่ ๆ เช่น กรุงเทพฯ อาจมีความเข้มข้นได้สูงคือ 5 ppb (Menasveta et al 1979) Dr.T.J.Chow แห่งสถาบันสมุทรศาสตร์ได้พิสูจน์ว่าการเพิ่มขึ้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมของเมืองใหญ่ ๆ มาจากน้ำมันเบนซินจริงหรือไม่ โดยใช้หลักการทางด้านไอโซโทปเป็นเครื่องพิสูจน์ ปรากฏว่า ตะกั่วมากกว่าร้อยละ 90 ของตัวอย่างดินเป็นตะกั่วที่ถูกปลดปล่อยออกมาทางท่อไอเสียรถยนต์ ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ตะกั่วในน้ำมันเบนซินเป็นแหล่งใหญ่ที่ทำให้เกิดการเจือปนเพิ่มขึ้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

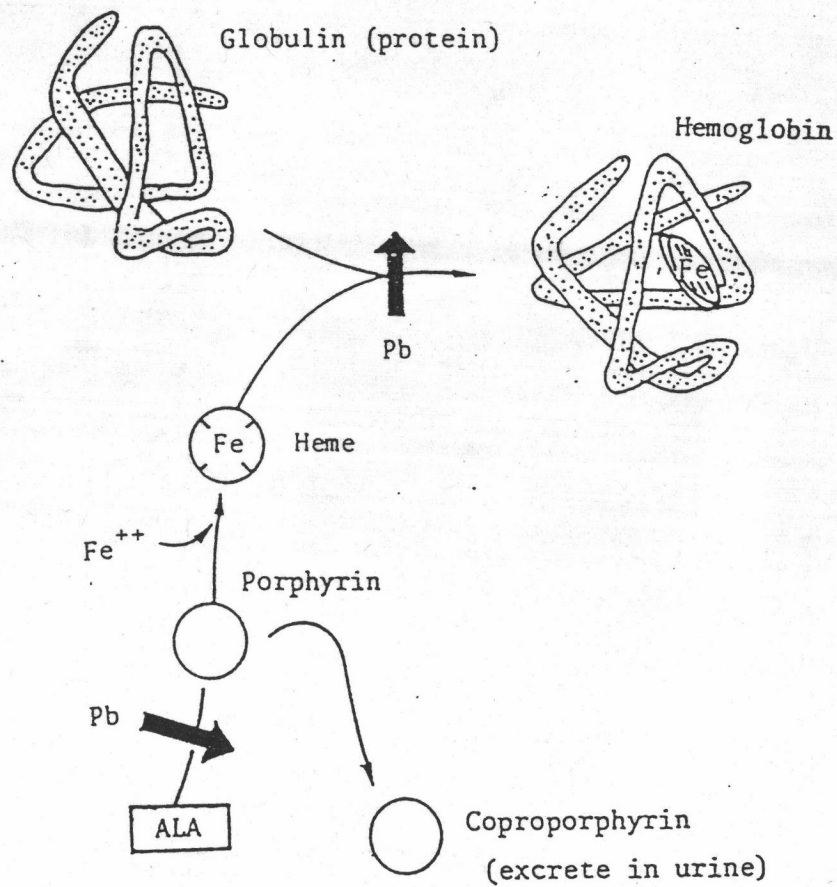
2.4.4 มลพิษของสารตะกั่ว

การที่ปริมาณตะกั่วในสิ่งแวดล้อมมีปริมาณเพิ่มขึ้นนั้นก็ทำให้มีโอกาสเจือปนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ปลา กุ้ง และหอยที่อาศัยอยู่ในหนองน้ำที่ถูกเจือปน โดยตะกั่วอย่างรุนแรงโดยมีความเข้มข้นของตะกั่วภายในตัวสูงประมาณ 16.5 - 33.6 ppm (น้ำหนักสด) ความเข้มข้นในระดับนี้อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้น้ำไปบริโภคได้

เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของคนเรานั้น ส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้



รูปที่ 2.6 แสดงอัตราการเพิ่มของสารตะกั่วแปรผันตรงกับปริมาณการใช้ น้ำมันเบนซิน



รูปที่ 2.7 แสดงการขัดขวางการสร้าง Hemoglobin ของเม็ดเลือดแดงโดยสารตะกั่ว

เนื้อเยื่อ โครงสร้าง เช่น เส้นผม และกระดูก ทั้งนี้เป็นเพราะตะกั่วมีลักษณะคล้ายแคลเซียมในสภาวะปกติตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้ 2 ทาง คือ ทางอาหาร และทางลมหายใจ อาหารในแต่ละวันมีตะกั่วเจือปนอยู่โดยเฉลี่ย 300 ไมโครกรัม แต่ร่างกายดูดซึมไว้เพียง 5-15 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนที่เหลือจะถูกถ่ายออกมากับอุจจาระในอากาศที่เราหายใจเข้าไปนั้นมีระดับตะกั่วอยู่ไม่แน่นอนแล้วแต่สถานที่ แต่การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางลมหายใจนั้นสูงกว่าทางเดินอาหารมากคือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์

อาการเป็นพิษเนื่องจากตะกั่วแบบเฉียบพลัน มีหลายแบบด้วยกัน คือ อ่อนเพลียคลื่นไส้ วิงเวียน การระคายของกล้ามเนื้อและอาการอื่น ๆ สำหรับพิษแบบเรื้อรังที่สำคัญได้แก่ โรคโลหิตจาง เพราะตะกั่วจะไปขัดขวางการสร้าง hemoglobin ของเม็ดเลือดแดง (ดูรูปที่ 2.7)

2.5 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อน มีสีเงินมีจุดหลอมเหลวที่ 320.9°C จุดเดือด 769°C และมีความถ่วงจำเพาะ 8.65 ทำนองเดียวกับปรอทและตะกั่ว โลหะนี้ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและยังเป็นพิษต่อร่างกายด้วย

ในธรรมชาติแคดเมียมพบอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (CdS) แต่แหล่งที่มีน้อยมากแคดเมียมส่วนใหญ่พบปะปนในปริมาณเล็กน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นแคดเมียมส่วนใหญ่เป็นผลผลิตพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี Buchaver (1973) พบว่ามีการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นระยะทางอย่างน้อย 20 กิโลเมตร จากโรงงานหลอมสังกะสี

2.5.1 แหล่งกำเนิดของสารแคดเมียม

1) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

ปฏิกิริยาที่เกิดในภูเขาไฟจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แคดเมียมแพร่กระจายไปในบรรยากาศ สำหรับแหล่งอื่น ๆ ก็ได้แก่ ไฟป่า (forest fires) ocean sprays และการปล่อยสารแคดเมียมของพืช (M. Hutton, 1987)

2) แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์

เนื่องจากสารประกอบแคดเมียมสามารถนำมาใช้ประโยชน์กับ

อุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น

- ใช้ร่วมกับโลหะนิเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่ ที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ เรียกว่า แบตเตอรี่ Cd-Ni
- ใช้ทำโลหะเจือ Cd-Au ให้สีเขียวแวววาว ใช้เป็นโลหะประดับโลหะเจือสาร Cd-Ag สามารถต่อต้านการเปลี่ยนเป็นสีค่าของโลหะเงินได้เป็นอย่างดี จึงนิยมใช้ทำภาชนะเครื่องคัม เมื่อผสมแคดเมียมเล็กน้อยกับทองแดงช่วยเพิ่มความเหนียวของทองแดงได้
- ใช้ผสมสีบางชนิด
- ใช้ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก
- ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ (electro plating)
- ใช้เป็นพลาสติกไซเซอ์ (plasticizer) สำหรับพลาสติกบางชนิด
- ใช้ผสมกับปรอทในการอุดฟัน
- ใช้ทำกระป๋องโลหะบางชนิด

การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ข้างต้นเป็นสาเหตุให้โลหะแคดเมียมเข้ามาเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะแหล่งที่มีการทำเหมืองสังกะสี และการเผาไหม้ของพวกของทิ้งที่เป็นพลาสติกและยาง อีกแหล่งหนึ่งของที่มาของแคดเมียมได้แก่ควันบุหรี่ มีการประมาณว่า บุหรี่ 1 มวน จะให้แคดเมียม $1.3 \mu\text{g}$

2.5.2 มลพิษของสารแคดเมียม

แคดเมียมในรูปของสารละลายมักจะตรวจหาไม่พบในขณะที่แคดเมียมจำนวนมากจะถูกตรวจพบในอนุภาคแขวนลอย (suspended particle) และตะกอนใต้แหล่งน้ำ ฉะนั้นเมื่อต้องการตรวจสอบปริมาณแคดเมียมในแหล่งน้ำควรตรวจสอบทั้งในน้ำและดินตะกอน

ในประเทศญี่ปุ่น ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ แม่น้ำจินชิเกิดโรค อีไตอิด เนื่องจากมีการปนเปื้อนของแคดเมียมจากแม่น้ำที่ใช้ระบบชลประทานลงสู่นาข้าวของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ แม่น้ำจินชิ

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายของคนได้ทั้งทางน้ำ อากาศ

และอาหาร เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสะสมในร่างกายและปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุของคนเรา มีการประมาณว่าคนทั่วไปที่มีอายุ 50 ปี จะมีแคดเมียมสะสมในร่างกาย 10 μg ถึง 50-60 μg แล้วแต่สิ่งแวดล้อมที่คน ๆ นั้นอาศัยอยู่ ส่วนเด็กที่เพิ่งเกิดใหม่มีแคดเมียมในร่างกายเพียง 1 μg

การสะสมแคดเมียมในร่างกายในปริมาณสูงทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมันและเป็นมะเร็งได้ นอกจากนี้แล้วยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อไตและตับ บทบาทความเป็นพิษของแคดเมียมยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก แต่เชื่อว่ามีส่วนเหตุจากการเข้าแทนที่ Zn ในเอนไซม์บางชนิด ทำให้เอนไซม์นั้นไม่สามารถทำงานได้ตามปกติได้ พิษของแคดเมียมซึ่งนำความสนใจมาสู่ชาวโลกครั้งแรก เกิดขึ้นตามริมฝั่งแม่น้ำจินซี (Jintsu) ในระหว่างสงครามครั้งที่ 2 พบว่าชาวบ้านแถบนั้นเกิดอาการสาหัส ผิดปกติและปวดกระดูกตามท้อง , ขี้โครงและสันหลัง ชาวญี่ปุ่นเรียกโรคนี้ว่า "itai - itai" เพราะบริเวณแถบนั้นเป็นที่ทำเหมืองและถลุงโลหะซึ่งผลิต โลหะทองแดง , ตะกั่ว และสังกะสี เป็นสาเหตุให้บริเวณแถบนั้นมีแคดเมียม ในปริมาณสูงทั้งทางอากาศ และน้ำ

2.6 ค่ามาตรฐาน

ค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณสารปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม ที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม และน้ำทิ้ง ได้นำมารวบรวมและเสนอ ดังนี้ (ดังตารางที่ 2.2 ถึงตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณสารปรอท ตะกั่วและแคดเมียม ที่ยอมให้ มีได้ในน้ำดื่มและน้ำทิ้ง

	องค์การอนามัยโลก (WHO) (ค.ศ 1974)	การประปานครหลวง	กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ 2525)
ปรอท (ppm)	0.001 (น้ำดื่ม)	- (น้ำดื่ม)	0.005 (น้ำทิ้ง)
ตะกั่ว (ppm)	0.05 "	0.05 "	0.2 "
แคดเมียม(ppm)	0.01 "	- "	0.03 "

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ามาตรฐานของโลหะหนักสำหรับน้ำทะเล

Substance	Hawaiian Standards. ⁽¹⁾	Water Quality Criteria 1972 ⁽²⁾	
	(mg/L)	Minimal Risk (mg/L)	Hazardous (mg/L)
Mercury	0.0002	-	0.0001
Lead	*	0.01	0.05
Cadmium	0.005	0.0002	0.01

* Standard to be determined by applying a 0.01 factor to the 96 hour lethal concentration of the substance upon 50 percent of the appropriate test organisms

(1) Report of the Technical Committee on Water Quality Standards 1977

(2) Report of the Committee on Water Quality Criteria 1972

ตารางที่ 2.4 แสดงค่ามาตรฐานสำหรับแหล่งน้ำจืดในประเทศไทย โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (1982)

	Classification of Water Use				
	1	2	3	4	5
Total Hg (mg/L)	-	-----	0.002	-----	-
Pb (mg/L)	-	-----	0.05	-----	-
Cd as CaCO ₃ (mg/L)	-	---	0.005*, 0.05**	---	-

หมวดหมู่ การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดินซึ่งไม่ใช่ทะเล

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่มีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
- การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
- การอนุรักษ์ระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- การประมง
- การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน
- การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การคมนาคม

* ในน้ำที่มีความกระด้างไม่เกินกว่า 100 มก./ลิตร ในรูป CaCO_3

** ในน้ำที่มีความกระด้างเกินกว่า 100 มก./ลิตร ในรูป CaCO_3

- ไม่ได้กำหนด

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

โลหะหนัก	ประเภทของคุณภาพน้ำ						
	1	2	3	4	5	6	7
ปรอท (ppm)	-	>0.0001	>0.0001	>0.001	-	-	0.0001
ตะกั่ว (ppm)	-	>0.05	>0.05	>0.05	-	-	-
แคดเมียม (ppm)	-	>0.005	>0.005	>0.005	-	-	0.005

หมายเหตุ การกำหนดประเภทของแหล่งน้ำชายฝั่งทะเล

ประเภทที่ 1 เขตอนุรักษ์ธรรมชาติ เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ ดังนี้

- เพื่อการศึกษา วิจัยและ/หรือการสาธิต ทางด้านวิทยาศาสตร์ประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น การสังเกตการณ์ การติดตามตรวจสอบ เป็นต้น
- เพื่อกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากทัศนียภาพ และความงามตามธรรมชาติ
- เพื่อกิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการและการอนุรักษ์ ที่ไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม

ประเภทที่ 2 เขตอนุรักษ์แหล่งปะการัง

ประเภทที่ 3 เขตอนุรักษ์แหล่งธรรมชาติอื่นๆ ได้แก่ ป่าชายเลน แหล่งที่อยู่ของสัตว์ป่า แหล่งแพรวพราว แหล่งอนุบาลตัวอ่อน และแหล่งอาหารของสัตว์น้ำทะเล, 1 product area

ประเภทที่ 4 เขตสงวนเพื่อการเพาะพันธุ์สัตว์น้ำประเภทการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง ได้แก่ เลี้ยงหอย เลี้ยงกุ้ง เลี้ยงปลาในกระชัง เป็นต้น

ประเภทที่ 5 เขตเน้นทางการเพื่อการว่ายน้ำ

ประเภทที่ 6 เขตเน้นทางการเพื่อการกีฬาทางน้ำอื่นๆ

ประเภทที่ 7 เขตเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม เช่น กิจกรรมเหมืองและ/หรือ เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม โดยที่ไม่ทำให้บริเวณนี้มีคุณภาพน้ำต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

มาตรฐานน้ำดื่มของรัฐบาลกลางสหรัฐอเมริกาและกระทรวงสาธารณสุขสหรัฐอเมริกา (USFA & USPHS) กำหนดว่าน้ำดื่มมีสารปรอทไม่เกิน 5 ppb

ตารางที่ 2.6 แสดงค่ามาตรฐานปรอทในน้ำดื่มและน้ำทิ้งของประเทศต่างๆ

องค์การหรือหน่วยงาน ผู้ออกมาตรฐาน	มาตรฐานที่กำหนด	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ มิลลิกรัม/ลิตร (ppm)
W.H.O	น้ำดื่ม	0.001 (1974)
U.S. Federal Regulation	น้ำดื่ม	0.005
State of Texas, U.S.A.	น้ำทิ้ง	0.005
U.S.S.R	"	0.005
Severn River Board, U.K	"	0.5
Mersey River Board. U.K	"	1.0
Bristol Avon River Board ,U.K	"	1.0