



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การแพร่กระจายและสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเล
บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

โดย รศ.ดร.วรวิทย์ ชีวาพร และคณะ

กรกฎาคม 2542



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การแพร่กระจายและสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเล
บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

โดย รศ.ดร.วรวิทย์ ชีวาพร และคณะ

กรกฎาคม 2542

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การแพร่กระจายและการสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม
ทางทะเลบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. รศ.ดร. วรวิทย์ ชีวาพร | ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 2. นางสาวพวงกมล นาคสุทธิ | ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 3. นางสาวสายทิพย์ สวัสดิคุณ | ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 4. ศ.ดร. ไชยมงคล วัฒนเสว | สถาบันวิจัยทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการ ทุนวิจัยหลักปริญญาเอกปี 2540

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย การแพร่กระจายและสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก เป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี โดยแบ่งโครงการออกเป็น 2 ระยะดังนี้

ปีที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับ History of Hg contamination as recorded in the sediment core from the Eastern Coast of Thailand

ปีที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับ Bioaccumulation and biomagnification of Hg in the Eastern Coast of Thailand

โครงการวิจัยนี้ทำให้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทางสำนักงานเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต สถาบันวิจัยทรัพยากรสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อเป็นนักวิจัยที่ปรึกษาให้กับโครงการ

รศ.ดร. วรวิทย์ ชีวาพร

หัวหน้าโครงการ

บทคัดย่อ

Project Code : PDF/45/2540

Project Title : การแพร่กระจายและสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเล
บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

Investigators :

รศ.ดร.วรวิทย์ ชีวาพร

นางสาวพวงกมล นวลสุทธิ์

นางสาวสายทิพย์ สวัสดิกุล

ศ.ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต

ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สถาบันวิจัยทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail Address : voravit@bucc4.buu.ac.th

Project Period : สิงหาคม 2540 - กรกฎาคม 2542

Objectives :

1) เพื่อศึกษาหาระดับการปนเปื้อนของสารพิษปรอทในสิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก และการสะสมขยายตัวทางชีวภาพของสารพิษปรอทในสัตว์น้ำเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

2) ข้อมูลองค์ความรู้ที่ได้จะนำไปคำนวณประเมินผลความเสี่ยงต่อการบริโภคสัตว์น้ำจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

Methodology :

1) ทำการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดิน (Sediment core) จากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่ บริเวณอ่างศิลา ศรีราชา แหลมฉบัง พัทยาและมาบตาพุด มาเพื่อศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทในแท่งตะกอนดิน

2) ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำชนิดต่างๆ จากบริเวณอ่างศิลา แหลมฉบัง และจังหวัดระยอง (บ้านเพ) ด้วยวิธีการลากอวนและถุงแพลงค์ตอน เพื่อศึกษาการสะสมและการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอทในบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

3) นำตัวอย่างที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสารปรอทโดยการย่อยด้วยกรดไนตริกและวัดด้วยวิธี Hydride generation Atomic Absorbtion Spectrophotometry (Perkin Elmer 3300)

4) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA, Duncan's New Multiple Range Test และ Pearson Correlation analysis

Result :

ได้ทำการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินจำนวน 30 แท่ง ใน 5 สถานี จากบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรีและระยอง มาวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทโดยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ระบบไฮโดรด์ รวมทั้งวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินตะกอน และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน ผลการศึกษาพบว่าโดยทั่วไปปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความลึกเปลี่ยนแปลงไป แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ไม่มีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณสารปรอทในปัจจุบันเมื่อเทียบกับอดีต นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณอนุภาค Silt&Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอย่างชัดเจน กล่าวคือบริเวณใดที่มีปริมาณอนุภาค Silt&Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง ก็จะมีปริมาณการปนเปื้อนของสารปรอทสูงตามไปด้วย ปริมาณสารปรอทที่พบในแท่งตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.80 - 37.49 ng/g ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานดินที่ไม่มีการปนเปื้อน (50 ng/g) และค่าเฉลี่ยในดินตะกอนของโลก (300 ng/g) ผลการศึกษายังพบว่าความแปรปรวนของปริมาณสารปรอทในแท่งตะกอนดินที่ตรวจพบในฤดูกาลและสถานีที่ต่างกันนั้น เกิดเนื่องจากตัวอย่างแท่งตะกอนดินที่เก็บได้ในแต่ละฤดูกาลและสถานีมีลักษณะเนื้อดินและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่แตกต่างกัน การศึกษาการแพร่กระจายตามแนวระยะพบว่าแหล่งชุมชน (ศรีราชา) มีการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนสูงกว่าแหล่งเพาะเลี้ยง (อ่างศิลา) แหล่งท่องเที่ยว (พัทยา) และ แหล่งอุตสาหกรรม (แหลมฉบังและมาบตาพุด)

ในส่วนของการศึกษาด้านการสะสมตัวและการขยายตัวของชีวภาพ พบว่ามีการขยายตัวของชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารในบริเวณอ่างศิลา แหลมฉบังและระยอง นอกจากนี้ยังพบว่าสัตว์น้ำหลายชนิดเช่น กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguensis*) และปลาหางแข็งบัง (*Atule mate*) มีการสะสมสารปรอทเพิ่มขึ้น เมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้น กลไกของการสะสมนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด

Discussion, Conclusion :

ผลงานการวิจัยนี้พบว่า ปริมาณสารปรอทในแท่งตะกอนดินไม่แสดงแนวโน้มการสะสมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ บริเวณที่มีอนุภาคตะกอนละเอียด เช่น อนุภาคของ silt&clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง ก็จะมีปริมาณการปนเปื้อนของสารปรอทสูงตามไปด้วย ในส่วนของการสะสมตัวพบว่าสัตว์น้ำหลายชนิดมีการสะสมตัวของสารปรอทมากขึ้นเมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้น และพบการขยายตัวของชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหาร ในบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก

อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณค่า PTWI (Provisional tolerate-weekly intake) แล้วพบว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในสัตว์ทะเลชายฝั่งภาคตะวันออกยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

Suggestions/Further Implication/Implementation :

สิ่งที่ค้นพบใหม่จากงานวิจัยนี้คือ พบว่าสารปรอทไม่แสดงแนวโน้มการสะสมที่เพิ่มขึ้นในแท่งตะกอนดินจากชายฝั่งภาคตะวันออก แต่พบการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารในบริเวณนี้ และมีการสะสมของสารปรอทมากขึ้นในสัตว์ทะเลบางชนิดเมื่อสัตว์ทะเลมีอายุหรือขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณค่าความเสี่ยงในการบริโภค PTWI (Provisional tolerate-weekly intake) แล้วพบว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในสัตว์ทะเลชายฝั่งภาคตะวันออก ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือการขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งของอ่าวไทยทั้งหมด

Keywords :

Mercury, Bioaccumulation, Biomagnification, Food-chain, Sediment-core, Provisional tolerate-weekly intake (PTWI)

Abstract

Project Code : PDF/45/2540

Project Title : Distribution and Accumulation of Hg in the Marine Environment of
The Eastern Coast of Thailand.

Investigators :

Voravit Cheevaporn	Dept. of Aquatic Sc. Burapha University.
Phuangkamol Nualsut	Dept. of Aquatic Sc. Burapha University.
Saitip Savadhikul	Dept. of Aquatic Sc. Burapha University.
Prof. Piamsak Menasveta	Aquatic Resources Research Institute, Chulalongkorn University

E-mail Address : voravit@bucc4.buu.ac.th

Project Period : August 1997- July1999

Objectives :

- 1) To investigate the extent of Hg contamination in the marine environment and the biomagnification of Hg in the economic marine animals of the Eastern Coast of Thailand.
- 2) To assess the risk of marine animal consumption due to the Hg contamination in the Eastern Coast of Thailand.

Methodology :

- 1) Thirty sediment cores were taken from 5 stations namely: Angsila, Sriracha, Laem-Chabang, Pattaya, and Mabtapud for Hg analysis and studies regarding history of Hg contamination in sedimentary column.
- 2) Marine organisms were collected from Angsila, Laem Chabang, and Rayong province (Ban Pae) by trawler and plankton net. The samples were kept for bioaccumulation and biomagnification studies.
- 3) Samples were then analysed for Hg by Nitric acid digestion and measured by means of Hydride generation Atomic Absorption Spectrophotometry (Perkin Elmer 3300).

- 4) The data obtained was statistical analysis by ANOVA, Duncan's New Multiple Range Test and Pearson Correlation analysis.

Results:

Thirty sediment cores were taken from 5 stations along the coastal line of Chonburi and Rayong provinces. Mercury concentrations were then determined by using a hydride generation atomic absorption spectrophotometer. Sediment texture was analysed by wet sieving techniques, whereas the titration method was used for determination of organic carbon in the sediments. Results of the analysis revealed no significant differences of the mercury level in each depth of the sedimentary column. These findings indicated that there was no increase of the present-day anthropogenic inputs of the mercury contamination when comparing with those of the previous day. Furthermore, the results also demonstrated that there was a significant correlation between the concentration of mercury and the texture of the sediments (%silt&clay) or the total organic carbon contents in the sediments. The mercury content ranged from 4.80 – 37.49 ng/g, which was similar to the un-polluted sediment standard (50ng/g) and lower than the world average value for sediment (300ng/g). In finding of the study, it was also found that there were significant differences among the mercury level collected from different seasons and also among those collected from different stations. These temporal and spatial variations were due to different textures of the collected sediments. These findings supported the idea that clay –minerals and organic materials have strong affinity with free mercuric ions. Horizontal distribution of mercury contamination in the area showed higher concentration of mercury contamination in the urban area than in the aquaculture area (Angsila), tourist area (Pattaya), and industrial areas (Laem Chabang and Mabtapud).

In a present study, biomagnification of Hg was found in the marine food-chain of Angsila, Laem Chabang, and Rayong province. Hg levels tend to increase at higher trophic levels and according to the animal's size (i.e., White shrimp (*Peneaus merguiensis*) , and Banded crevalle fish (*Atule mate*)). The mechanism of this accumulation was not well understood.

Discussion, Conclusion :

Results of the studies indicated that there was no significant increase of the present-day anthropogenic inputs of the mercury contamination when comparing with those of the previous day. Furthermore, the results also demonstrated that there was a significant correlation between the concentration of mercury and the texture of the sediments (%silt&clay) or the total organic carbon contents in the sediments. Mercury levels tend to increase at higher trophic levels in the food chain and according to the animal's size. The calculation of PTWI (Provisional tolerate-weekly intake) indicated that the mercury levels of marine animals from the Eastern Coast of Thailand are within safety limit.

Suggestions/Further Implication/Implementation :

Results of the studies revealed that there was no significant increase of the Hg levels in the marine sediments from the Eastern Coast of Thailand. However, the results demonstrated that mercury levels tend to increase at higher trophic levels in the marine food-chain and according to the animal's size. Provisional tolerate weekly intake (PTWI) value indicated that marine animal from the Eastern Coast are still safe for consumption. For further studies, we recommend to extend the study areas to cover the whole gulf of Thailand.

Keywords :

Mercury, Bioaccumulation, Biomagnification, Food-chain, Sediment-core, Provisional tolerate-weekly intake (PTWI)

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	1
Abstract	4
Executive summary	7
เนื้อหางานวิจัย	
-เนื้อหางานวิจัยปีที่ 1	8
-เนื้อหางานวิจัยปีที่ 2	65
Outputs	94
ภาคผนวก	95

Executive Summary

ได้ทำการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินจำนวน 30 แท่ง ใน 5 สถานี จากบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรีและระยอง มาวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทโดยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ระบบไฮโดรด์ รวมทั้งวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินตะกอน และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน ผลการศึกษาพบว่าโดยทั่วไปปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความลึกเปลี่ยนแปลงไป แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ไม่มีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณสารปรอทในปัจจุบันเมื่อเทียบกับอดีต นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณอนุภาค Silt&Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอย่างชัดเจน กล่าวคือบริเวณใดที่มีปริมาณอนุภาค Silt&Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูง ก็จะมีปริมาณการปนเปื้อนของสารปรอทสูงตามไปด้วย ปริมาณสารปรอทที่พบในแท่งตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.80 - 37.49 ng/g ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานดินที่ไม่มีการปนเปื้อน (50 ng/g) และค่าเฉลี่ยในดินตะกอนของโลก (300 ng/g) ผลการศึกษายังพบว่าความแปรปรวนของปริมาณสารปรอทในแท่งตะกอนดินที่ตรวจพบในฤดูกาลและสถานีที่ต่างกันนั้น เกิดเนื่องจากตัวอย่างแท่งตะกอนดินที่เก็บได้ในแต่ละฤดูกาลและสถานีมีลักษณะเนื้อดินและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่แตกต่างกัน การศึกษาการแพร่กระจายตามแนวระนาบพบว่าแหล่งชุมชน (ศรีราชา) มีการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนสูงกว่าแหล่งเพาะเลี้ยง (อ่างศิลา) แหล่งท่องเที่ยว (พัทยา) และ แหล่งอุตสาหกรรม (แหลมฉบังและมาบตาพุด)

ในส่วนของการศึกษาด้านการสะสมตัวและการขยายตัวทางชีวภาพ พบว่ามีการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารในบริเวณอ่างศิลา แหลมฉบังและระยอง นอกจากนี้ยังพบว่าสัตว์น้ำหลายชนิดเช่น กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguensis*) และปลาหางแข็งบั้ง (*Atule mate*) มีการสะสมสารปรอทเพิ่มขึ้น เมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้น กลไกของการสะสมนี้ยังไม่ทราบแน่ชัด

เมื่อคำนวณหาอัตราความเสี่ยงต่อการบริโภคสัตว์ทะเล ชายฝั่งภาคตะวันออก โดยการคำนวณค่า PTWI (Provisional Tolerate-weekly intake) แล้วพบว่า การปนเปื้อนของสารปรอทในสัตว์ทะเลชายฝั่งภาคตะวันออกยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

เนื้อหางานวิจัย

- 1.1 เนื้อหางานวิจัยปีที่ 1 เรื่อง History of Mercury Contamination as Recorded in the Sediment cores from the Eastern Coast of Thailand

1.1.1 บทนำ

ภูมิหลัง

มหาสมุทรและทะเลเป็นแหล่งประกอบกิจกรรมและแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เช่น การเล่นกีฬาทางน้ำ การทำการประมง การท่องเที่ยว การเดินทางทางน้ำ และ สัตว์น้ำยังเป็นแหล่งอาหารที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ นอกจากนี้มหาสมุทรยังเป็นแหล่งสุดท้ายที่จะรองรับของเสียหรือสารมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ บนพื้นโลกที่สำคัญ ทำให้ในปัจจุบันปัญหามลพิษในแหล่งน้ำได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic input) เช่นผลจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมทำให้มีการปล่อยของเสียและสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติส่งผลให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมรวมทั้งสิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับผลกระทบจากกิจกรรมเหล่านี้ และอาจเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ (Natural input) เช่นการกัดกร่อนหรือการพังทลายตามธรรมชาติของชั้นหินและดิน การเน่าเปื่อยและย่อยสลายตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถจำแนกประเภทมลพิษของน้ำตามแหล่งที่มาของสารพิษได้ 3 ประเภท คือ

1. มลพิษของน้ำที่เกิดจากน้ำโสโครกของแหล่งชุมชน (Domestic wastewater)
2. มลพิษของน้ำที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)
3. มลพิษของน้ำที่เกิดจากการเกษตรกรรม (Agriculture wastewater)

(เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2538)

กิจกรรมทางชีววิทยาจะสามารถแยกสารประกอบอินทรีย์ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแต่สารประกอบอินทรีย์โดยเฉพาะพวกโลหะจะสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมยกเว้นบางส่วนที่จะสะสมอยู่ในสัตว์ทะเลและสิ่งมีชีวิต ซึ่งถ้าสะสมอยู่ในปริมาณที่สูง ๆ ก็จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ (Sadiq. 1992)

สารพิษจากอากาศ จากดินและน้ำ และจากอาหารจะแพร่กระจายโดยการหมุนเวียนไปมาของสารพิษในสิ่งแวดล้อมจากผู้ใช้งานสู่ผู้บริโภคโดยขบวนการลูกโซ่อาหาร (ไมตรี สุทธิจิตต์. 2534) สารพิษที่ส่งผลต่อแหล่งน้ำที่สำคัญคือโลหะหนัก เช่นปรอท ดีบุก ตะกั่ว ทองแดง เหล็ก สังกะสี แคดเมียมเป็นต้น ซึ่งโลหะหนักจะถูกพัดพาไปสู่แหล่งน้ำโดยกระบวนการทางธรรมชาติและโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น การใช้ยาปราบศัตรูพืช การทิ้งของเสีย การกำจัดน้ำโสโครก โรงงานอุตสาหกรรม การเผาเชื้อเพลิงเป็นต้น บางส่วนของโลหะหนักมาจากพื้นที่ท้องทะเลออกสู่น้ำทะเลโดยการละลายและการระเหยหรือการพังทลายของดินฐานธรณีซึ่งมีส่วนประกอบ

ของโลหะหนักอยู่ส่วนหนึ่งของโลหะหนักจะละลายอยู่ในแหล่งน้ำและอีกส่วนจะถูกดูดซับไว้บนสารแขวนลอยและคอลลอยด์ต่าง ๆ ตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำซึ่งจะทำให้มีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักที่อยู่ในน้ำ อย่างไรก็ตามโลหะหนักบนตะกอนยังสามารถกลับคืนสู่แหล่งน้ำได้โดยกระบวนการทางเคมีกายภาพและชีววิทยา ตะกอนจึงทำหน้าที่เปรียบเสมือนบัฟเฟอร์และเป็นแหล่งสะสมโลหะหนักต่างๆ ไว้ได้นาน แม้ว่าการปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำจะหยุดลงแล้วก็ตาม (มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532)

หลายเหตุการณ์ในอดีตที่เกิดจากสารพิษและส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์จึงควรมีการสำรวจถึงปริมาณของโลหะหนักที่เป็นพิษในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ปัญหามลพิษของสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายสาเหตุด้วยกัน สาเหตุหนึ่งที่มีความสำคัญมากได้แก่การปล่อยทิ้งของเสียที่มีสารพิษเจือปนโดยไม่มีการบำบัดลงสู่ทะเล โดยเฉพาะปริมาณปรอทในสิ่งแวดล้อม ซึ่งในอดีตที่ผ่านมา ก่อนปี พ.ศ. 2536 ปริมาณสารปรอทที่พบในปลาทะเลและสิ่งแวดล้อมเกือบทั้งหมดมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค แต่ภายหลังปี พ.ศ. 2536 เป็นต้นมาจะพบว่ามีการสะสมในปริมาณที่มากขึ้น จนในบางครั้งมีปริมาณอยู่ในระดับสูงเกินกว่าระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคโดยตรง ซึ่งแหล่งที่มาของสารปรอทเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งบนบกและในน้ำทะเล (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2538) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก เป็นภูมิภาคที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อโครงการพัฒนาชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกได้บรรจุอยู่ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ทำให้มีการพัฒนาพื้นที่ในด้านต่าง ๆ เพื่อให้โครงการนี้รองรับการเจริญเติบโตและการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ ความพร้อมของพื้นที่ชายฝั่งภาคตะวันออกไม่ว่าจะเป็นท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบังและท่าเรือน้ำลึกมาบตาพุดจะเป็นประตูระบายสินค้าเข้า-ออกสู่ภาคต่าง ๆ ของประเทศ นอกจากนี้ยังมีการสร้างนิคมอุตสาหกรรมเพื่อรองรับการลงทุนอย่างมหาศาลในพื้นที่แถบนี้ แหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนที่สำคัญ เช่น นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ท่าเทียบเรือ แหล่งชุมชน แหล่งท่องเที่ยวและฟาร์มเลี้ยงหอย เป็นต้น การศึกษาเกี่ยวกับประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทจะทำให้ทราบว่าในปัจจุบันมีการปนเปื้อนของสารปรอทเพิ่มมากขึ้นหรือไม่ และถ้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นนั้นปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างไร ถ้าหากขาดการควบคุมดูแลและตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องแล้วก็จะเป็แหล่งหนึ่งที่มีโอกาสปนเปื้อนจากผลผลิตที่มีปริมาณปรอทปนอยู่ได้ ดังนั้นควรมีการติดตามตรวจสอบปริมาณปรอทในน้ำและในตะกอนทะเลในบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนนี้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมและป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในทะเล

ก่อนที่จะสายเกินไปและเพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการฟื้นฟูทะเลไทยให้มีความยั่งยืนตลอดไปด้วย

ความมุ่งหมายของการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนที่เก็บตามความลึก บริเวณแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนรวม 5 สถานีคืออ่างศิลา (ฟาร์มเลี้ยงหอยนางรม) ศรีราชา (ท่าเทียบเรือไปเกาะสีชัง) แหลมฉบัง (อ่าวอุดม) พัทยา (นาเกลือ) และมาบตาพุด (ข้างโรงงาน TPI)
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการปนเปื้อนของสารปรอทใน 2 ฤดู คือ ฤดูฝน (เดือนตุลาคม) และฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม)

ความสำคัญของการศึกษาวิจัย

1. ทำให้ทราบประวัติการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน
2. ทำให้ทราบถึงการปนเปื้อนของสารปรอทจากแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนตามฤดูกาล
3. สามารถนำไปกำหนดและดำเนินการจัดการเพื่อลดปัญหาหรือเตรียมป้องกันอันตรายอันจะเกิดจากโลหะปรอทที่รั่วออกมาสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
4. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ประเมินผลกระทบที่อาจเกิดกับสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำที่สัมพันธ์กับสัตว์น้ำเศรษฐกิจในระบบห่วงโซ่อาหาร

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี ได้แก่ อ่างศิลา (ฟาร์มเลี้ยงหอยนางรม) ศรีราชา (ท่าเทียบเรือไปเกาะสีชัง) แหลมฉบัง (อ่าวอุดม) พัทยา (นาเกลือ) และจังหวัดระยองที่มาบตาพุด (ข้างโรงงาน TPI) ตัวอย่างดินจะนำมาตัดเป็นชั้นๆตามระดับความลึกก่อนที่จะนำตัวอย่างเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกและแช่แข็ง แล้วจึงนำมาเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในห้องปฏิบัติการต่อไป

1.1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารปรอทเป็นธาตุลำดับที่ 80 ของตารางธาตุ มีมวลอะตอม 200.59 มีจุดเดือด 857 องศาเซลเซียสและจุดหลอมเหลว -38.4 องศาเซลเซียส มีสถานะเป็นของเหลวและสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง จัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงและเป็นพิษต่อมนุษย์ (Janicki *et al.*, 1987) สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย

ตาราง 1 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท (De. 1994)

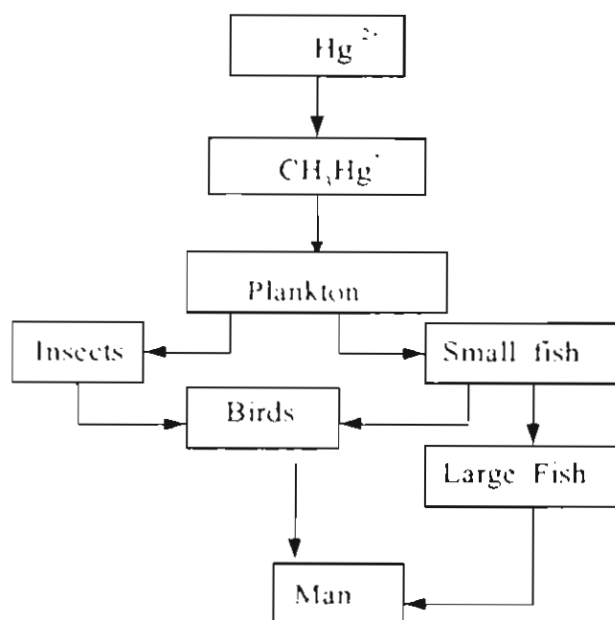
รูปแบบ	ความเป็นพิษ
Hg	โลหะปรอท : ค่อนข้างเฉื่อย (inert) และไม่เป็นพิษ แต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างร้ายแรงเมื่อสูดเข้าไป
Hg ₂ ²⁺	ประจุเมอร์คิวรัส : ไม่ละลายน้ำในรูปสารประกอบคลอไรด์ ความเป็นพิษไม่มาก เช่น เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg ₂ Cl ₂)
Hg ²⁺	ประจุเมอร์คิวริก : เป็นพิษ แต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อ เช่น Blood-Brain-Barrier (BBB) ซึ่งกั้นระหว่างกระแสโลหิตกับเนื้อเยื่อสมอง (ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อประสาทส่วนกลาง) สามารถสะสมและทำอันตรายต่อไต เช่น เมอร์คิวริกคลอไรด์ (HgCl ₂)
RHg ⁺	สารปรอทอินทรีย์เชิงเดี่ยว : มีความเป็นพิษสูงโดยเฉพาะเมทิลเมอร์คิวรี (CH ₃ Hg) ทำลายระบบประสาทส่วนกลางและสมองอย่างถาวร เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อกีดกัน เช่น BBB ได้ สะสมได้ดีในเนื้อเยื่อไขมัน
R ₂ Hg	สารปรอทอินทรีย์เชิงคู่ : มีความเป็นพิษต่ำ แต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็น RHg ⁺ ได้ในตัวกลางที่เป็นกรด เช่น ไดเมทิลเมอร์คิวรี ((CH ₃) ₂ Hg)
HgS	สารประกอบปรอทซัลไฟด์ : ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษ พบตามธรรมชาติในดินในรูปของแร่ซินนาบาร์

ปกติในธรรมชาติสารปรอทถูกพบในรูปของแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar) มีสูตร HgS ซึ่งมีสีแดงและไม่ละลายน้ำ ปรอทบริสุทธิ์มีสถานะเป็นของเหลวและไม่มีพิษมากนักแต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างแรง จึงควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับไอปรอท สารประกอบของปรอทมีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง +1 และ +2 เมื่อเลขออกซิเดชันเป็น +1 เรียกสารนั้นว่าเมอร์คิวรัส (Mercurous) เช่น Hg₂Cl₂ เมื่อเป็น

+2 เรียกว่าเมอร์คิวริก (Mercuric) เช่น HgCl_2 อย่างไรก็ตามสารประกอบเมอร์คิวรัสมี Hg สองอะตอมอยู่คู่กันเสมอเรียกว่าเกิดเป็นไดเมอร์ ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำจะเป็นประจุคู่เสมอ คือเป็น Hg_2^{2+} แต่สมบัติทางเคมีอื่นๆ คล้ายคลึงกับประจุเดี่ยวทั่วไป เช่น Ag^+ จะทำปฏิกิริยากับประจุคลอไรด์ (Cl^-) ได้เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous chloride) มีสูตร Hg_2Cl_2 ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวเรียกว่าคาลอเมล (Calomel) ใช้ประโยชน์เป็นอิเล็กโทรดในเซลล์ไฟฟ้า สารนี้ถ้าถูกกับแสงสว่างโดยตรงจะสลายให้ Hg และ HgCl_2 ซึ่งสาร HgCl_2 เป็นพิษอย่างร้ายแรง

ประจุเมอร์คิวรัส (Hg_2^{2+}) สามารถรวมตัวกับคลอไรด์เป็นเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2) ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษมากนัก ส่วนประจุเมอร์คิวริก (Hg^{2+}) มีความเป็นพิษ เนื่องจากมีสัมพรรคภาพ (Affinity) สูงกับกลุ่มไทออล (thiol group; $-\text{SH}$) สามารถจับตัวกับซัลเฟอร์ในเม็ดเลือดแดง เซรัม (serum) และ ในโปรตีนชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตามประจุเมอร์คิวริกไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBB ในสิ่งมีชีวิตได้ พรอทจะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยห่วงโซ่อาหาร เมื่อพรอทเข้าสู่สิ่งมีชีวิตจะเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปเมทิลเมอร์คิวรีซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี ปลาบางชนิดมีเมทิลเมอร์คิวรีประมาณ $40 \mu\text{g} / \text{L}$ ในเนื้อเยื่อ ในเลือดพบปริมาณพรอท $22.8 \mu\text{g} / \text{g}$ พืชก็สามารถดูดซึมพรอทได้เช่นกันแต่พบว่ามิพรอทในเนื้อเยื่อของพืชน้อยแม้ว่าดินบริเวณนั้นจะมีพรอทสูงมากก็ตาม (Cheevaporn, 1996)

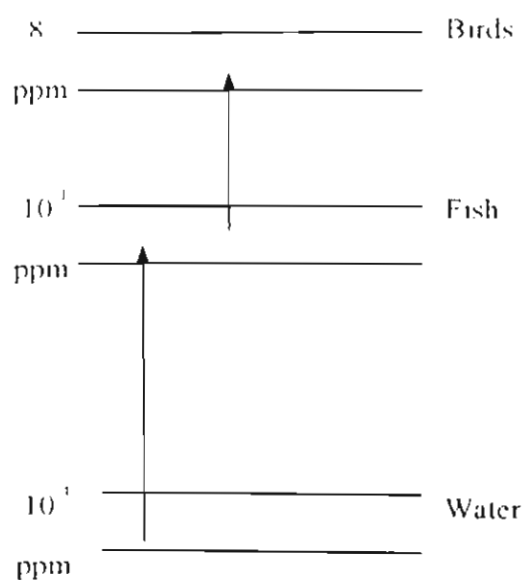
สารประกอบไดเมทิลของพรอท (Dimethylmercury) สามารถถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเมทิลของพรอท (Methylmercury) ได้ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารประกอบเมทิลของพรอทจะสะสมและขยายปริมาณเพิ่มขึ้น (Biological magnification) ในห่วงโซ่อาหารได้เป็นจำนวนนับพัน ๆ เท่าดังแสดงในภาพประกอบ 1 และ ภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 1 กลไกการถ่ายทอดของสารปรอทผ่านห่วงโซ่อาหารสู่มนุษย์ (Knauer and Martin, 1972)

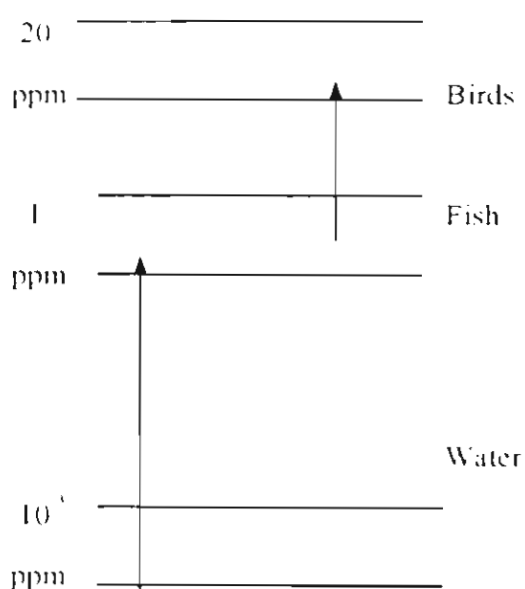
ก) ปริมาณในระดับปกติ

(Normal levels)



ข) ปริมาณในระดับที่ได้รับการปนเปื้อน

(Contaminated levels)



ภาพประกอบ 2 แสดงการขยายปริมาณเพิ่มขึ้น (Biological magnification) ของสารปรอทในห่วงโซ่อาหารในระดับปกติและระดับที่ได้รับการปนเปื้อน (De, 1994)

ประเภทของสารปรอท แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. สารประกอบอนินทรีย์ของปรอท (Inorganic mercury compound) ได้แก่ สารประกอบเมอร์คิวรัสคลอไรด์และสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์มีอำนาจในการจัดขวางปฏิกิริยาในร่างกายมากกว่าสารประกอบพวงเมอร์คิวรัสคลอไรด์

2. สารประกอบอินทรีย์ของปรอท (Organo mercury compound) เป็นสารประกอบปรอทที่เป็นพิษมากที่สุด เช่น สารประกอบจำพวกอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkyl mercury) เช่นเมทิลเมอร์คิวรี ซึ่งสารนี้จะละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงสะสมได้ดีในเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้งเนื้อเยื่อสมอง สารประกอบปรอทอินทรีย์สามารถผ่านเนื้อเยื่อ BBB (Blood-Brain Barrier) ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อสมอง ดังนั้นสารปรอทอินทรีย์จึงสามารถทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถาวร สารประกอบปรอทอินทรีย์ยังสามารถซึมผ่านรก (placenta) เข้าสู่ทารกในครรภ์แม้ทำให้ทารกที่เกิดมามีอาการผิดปกติทางระบบประสาทและภูมิปัญญานอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบปรอทอินทรีย์สามารถทำให้เกิดการผิดปกติทางโครโมโซม (chromosome) ของมนุษย์ซึ่งส่งผลกระทบต่อกรรมพันธุ์

สารประกอบปรอทที่แพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่ง คือ

1. แหล่งธรรมชาติ (Natural sources) ปรอทสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ของโลก ปรอทที่พบมากในธรรมชาติคือ โลหะปรอท และปรอทซัลไฟด์ ปรอทแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยการแตกแยกสลายเป็นส่วนเล็กๆ ใดๆ ไรก็ตามการแพร่กระจายโดยธรรมชาตินั้นหายากและมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปรอทที่มาจากการทำงานของมนุษย์ทำให้สมดุลของธรรมชาติเปลี่ยนไปก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษยชาติและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

ในแม่น้ำลำคลองรวมทั้งน้ำในดินจะไหลผ่านสิ่งต่าง ๆ ที่มีปรอทสะสมอยู่ แต่ปริมาณปรอทในน้ำธรรมชาติสามารถลดลงได้โดยพืชน้ำจะสามารถดูดซึมปรอทเอาไว้ ปรอทบางส่วนจะซึมอยู่ในดินตะกอนในแหล่งน้ำ ความเข้มข้นของปรอทในน้ำธรรมชาติจะน้อยกว่า $0.1 \mu\text{g} / \text{L}$

2. แหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic sources) ปรอทเป็นสารที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมาก มนุษย์รู้จักและได้ใช้ประโยชน์จากสารปรอทหลายอย่างเช่นใช้เมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO) และซินนาบาร์ ทำเป็นเม็ดสี (pigment) และเครื่องสำอางมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ (Saha, 1972) ในปัจจุบันมีการใช้อย่างกว้างขวางเช่น ใช้เป็นอิเล็กโทรด (Hg electrode) ใช้ในกระบวนการผลิตโซดาไฟและคลอรีน (Chloralkaline industry) ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ สวิตช์ไฟฟ้า ใช้ในโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร

(Engle. 1976) เนื่องจากการใช้สารปรอทกันอย่างกว้างขวางทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าเกิดจากการกระทำโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดการแพร่กระจายและตกค้างของสารปรอทในธรรมชาติในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกันตัวอย่างการแพร่กระจายของสารปรอทโดยมนุษย์จนเกิดอันตรายต่อมนุษย์เคยเกิดมาแล้วที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2506 ทำให้ผู้คนล้มป่วยและตายลงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากบริโภคปลาและหอยที่มีปริมาณของสารปรอทที่อยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีในปริมาณที่สูง (Kurland *et al.*, 1960) ซึ่งสาเหตุที่ปลาในอ่าวมินามาตะมีปริมาณปรอทสูงมากเป็นเพราะบริเวณริมอ่าวเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกพีวีซี ซึ่งในกระบวนการผลิตใช้เมอร์คิวรีคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เกิดการรั่วไหลและมีการเทสารเมอร์คิวรีคลอไรด์ลงในอ่าวเป็นประจำ อีกเหตุการณ์หนึ่งในปี พ.ศ. 2515 มีรายงานผู้ล้มป่วยและเสียชีวิตเนื่องจากสารปรอทที่ประเทศอิรักถึง 450 คน สาเหตุเนื่องมาจากรับประทานข้าวสาลีที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยยากำจัดเชื้อราที่ผสมสารปรอท ปรอทที่แพร่สู่สิ่งแวดล้อมโดยมนุษย์อาจมาจากหลายทางด้วยกัน ได้แก่

2.1 ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโซดาไฟและคลอรีน อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมทำสารเคมี เป็นต้น

2.2 ด้านเกษตรกรรม ใช้ $HgCl_2$ เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง สารประกอบอินทรีย์ของปรอทใช้ฆ่าเชื้อราในพืช บางครั้งอาจใช้ปรอททาบนเมล็ดพืชเพื่อป้องกันแมลงและโรคพืช

2.3 จากอุปกรณ์เครื่องมือทางฟิสิกส์ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ และ mercury-arc lamp เป็นต้น

2.4 จากการทำกระจกเงาและแว่นตาเพราะปรอทมีการสะท้อนแสงได้ดี

2.5 ทางทันตกรรม เช่น amalgam ที่ใช้ในการอุดฟันเนื่องจากเมื่อผสมเสร็จใหม่ ๆ จะมีลักษณะอ่อนสามารถแต่งเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่าย เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศระยะหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว นอกจากนี้ยังใช้เป็นประกอบของยา เช่น ยาถ่ายคาโลเมล เป็นต้น

2.6 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการและน้ำเสียจากครัวเรือน

2.7 จากการเผา fossil fuels

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

ปรอทอยู่ในน้ำได้หลายรูปแต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปใดรูปหนึ่ง ดังนี้

1. Inorganic divalent mercury, Hg^{2+}

2. Metallic mercury, Hg^0

(Engle. 1976) เนื่องจากการใช้สารปรอทกันอย่างกว้างขวางทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าเกิดจากการกระทำโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดการแพร่กระจายและตกค้างของสารปรอทในธรรมชาติในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกันตัวอย่างการแพร่กระจายของสารปรอทโดยมนุษย์จนเกิดอันตรายต่อมนุษย์เคยเกิดมาแล้วที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2506 ทำให้ผู้คนล้มป่วยและตายลงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากบริโภคปลาและหอยที่มีปริมาณของสารปรอทที่อยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีในปริมาณที่สูง (Kurland *et al.*, 1960) ซึ่งสาเหตุที่ปลาในอ่าวมินามาตะมีปริมาณปรอทสูงมากเป็นเพราะบริเวณริมอ่าวเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกพีวีซี ซึ่งในกระบวนการผลิตใช้เมอร์คิวริกคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เกิดการรั่วไหลและมีการเทสารเมอร์คิวริกคลอไรด์ลงในอ่าวเป็นประจำ อีกเหตุการณ์หนึ่งในปี พ.ศ. 2515 มีรายงานผู้ล้มป่วยและเสียชีวิตเนื่องจากสารปรอทที่ประเทศอิรักถึง 450 คน สาเหตุเนื่องมาจากรับประทานข้าวสาลีที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยยากำจัดเชื้อราที่ผสมสารปรอท ปรอทที่แพร่สู่สิ่งแวดล้อมโดยมนุษย์อาจมาจากหลายทางด้วยกัน ได้แก่

2.1 ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโซดาไฟและคลอรีน อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมทำสารเคมี เป็นต้น

2.2 ด้านเกษตรกรรม ใช้ $HgCl_2$ เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง สารประกอบอินทรีย์ของปรอทใช้ฆ่าเชื้อราในพืช บางครั้งอาจใช้ปรอทปราบแมลงศัตรูพืชเพื่อป้องกันแมลงและโรคพืช

2.3 จากอุปกรณ์เครื่องมือทางฟิสิกส์ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ และ mercury-arc lamp เป็นต้น

2.4 จากการทำกระจกเงาและแว่นตาเพราะปรอทมีการสะท้อนแสงได้ดี

2.5 ทางทันตกรรม เช่น amalgam ที่ใช้ในการอุดฟันเนื่องจากเมื่อผสมเสร็จใหม่ ๆ จะมีลักษณะอ่อนสามารถแต่งเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่าย เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศระยะหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว นอกจากนี้ยังใช้เป็นประกอบของยา เช่น ยาถ่ายคาโลเมล เป็นต้น

2.6 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการและน้ำเสียจากครัวเรือน

2.7 จากการเผา fossil fuels

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

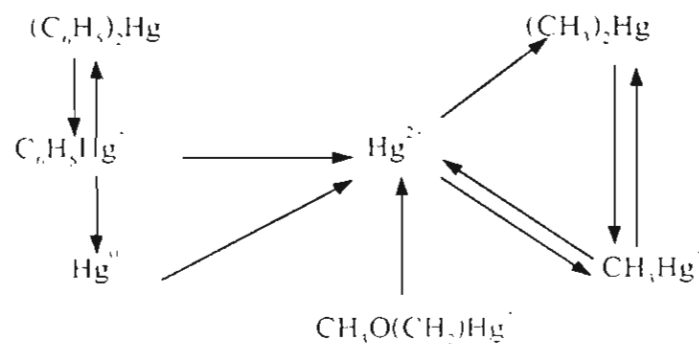
ปรอทอยู่ในน้ำได้หลายรูปแต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปใดรูปหนึ่ง ดังนี้

1. Inorganic divalent mercury, Hg^{2+}

2. Metallic mercury, Hg^0

3. Phenyl mercury, $C_6H_5Hg^+$
4. Methyl mercury, CH_3Hg^+
5. Alkoxy-alkyl mercury, $CH_3O-CH_2-CH_2-Hg^+$

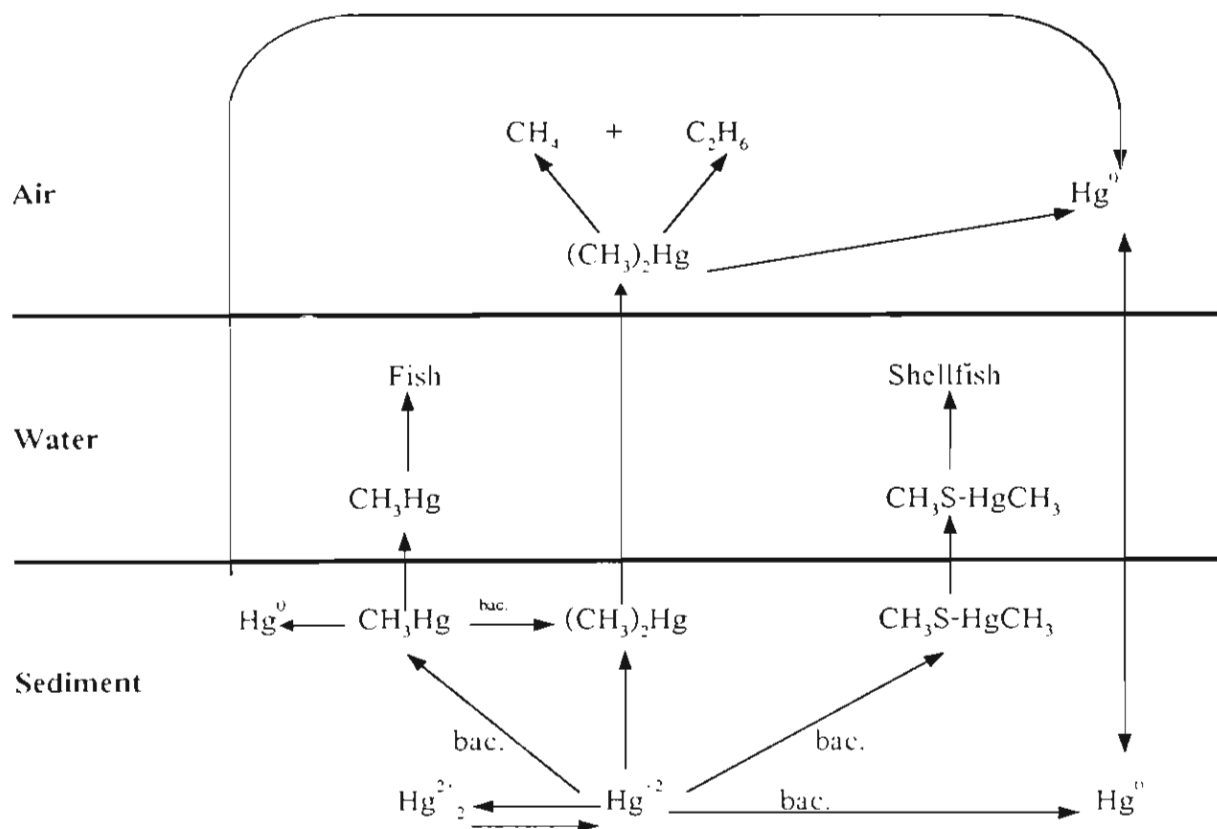
เมื่อสารปรอทได้ถูกปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมของน้ำแล้วบางส่วนจะเข้าไปติดอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ Bothner และ Carpenter (1972) ได้รายงานว่าปริมาณ 50 ถึง 75% ของปรอทไอออนในแม่น้ำโคลัมเบียจะเข้าไปติดอยู่กับวัตถุที่แขวนลอยในน้ำภายใน 10-60 ชั่วโมงหลังจากที่ได้ปล่อยไอออนนี้ลงไปนอกจากนี้ Hannerz (1969) ยังพบว่าถึงแม้จะแขวนลอยในน้ำจะทำหน้าที่คล้าย ๆ กับตัวกำจัดปรอทออกไปจากน้ำ โดยที่มันจะเหนี่ยวนำให้ปรอทไอออนมาเกาะติดและตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำต่อไป



ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนรูปของสารปรอทที่เจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Jernelov, 1969)

Matsumura *et al.*, (1972) ได้รายงานว่า การเปลี่ยนรูปของปรอทอินทรีย์ไปเป็นปรอทอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อมหลายประการเช่นความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในดินตะกอน Jensen และ Jernelov (1969) ได้พบว่าปรอทในรูปไดวาเลนต์ (Hg^{2+}) ในโคลนตมสามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ แบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนปรอทอินทรีย์ให้เป็นปรอทอินทรีย์ได้แก่ methanogenic bacteria การเปลี่ยนรูปดังกล่าวจะทำให้เกิดปรอทอินทรีย์ได้ทั้งสองรูปแบบคือเมทิลเมอร์คิวรีและไดเมทิลเมอร์คิวรี (Wood *et al.*, 1968) เมทิลเมอร์คิวรีเป็นรูปของปรอทที่สามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้แต่ไดเมทิลเมอร์คิวรีเป็นรูปของปรอทที่มีความสามารถในการระเหยสูงดังนั้นส่วนใหญ่มักจะระเหยออกจากแหล่งน้ำไป ปรอทที่อยู่ในน้ำอาจถูกขจัดออกจากน้ำได้โดยการระเหยเป็นไอในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรีซึ่งจะแพร่กระจายในอากาศต่อไป แต่จะสลายตัวเมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเลตจึงไม่ค่อยพบในอากาศมากนัก ค่าความเป็นกรดเป็น

ค่า (pH) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของปรอท ในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เกิดไดเมทิลเมอร์คิวรี (Larsson, 1970) แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อยก็ก็จะทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรีมากขึ้น (Study Group on Mercury Hazards, 1970) นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ไดเมทิลเมอร์คิวรีเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรีได้โดยง่าย



ภาพประกอบ 4 วัฏจักรทางชีวภาพของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม (Wood, 1975)

ในสภาวะที่มีการลด (reducing condition) ปรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นปรอทซัลไฟด์ แล้วเกิดการตกตะกอน ปรอทในรูปนี้ละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่ละลายเลยอย่างไรก็ดีปรอทซัลไฟด์อาจถูกออกซิไดซ์ได้โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) และมีโอกาสละลายน้ำออกมาได้อีก ในแม่น้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้นที่บริเวณพื้นก้นแม่น้ำจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มากดังนั้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนปรอทให้เป็นปรอทซัลไฟด์จึงมีโอกาสดังกล่าวได้มากกว่าแม่น้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในระดับปกติ

ปรอทอินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนของพื้นก้นแหล่งน้ำมีโอกาสเปลี่ยนเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จึงมีโอกาสเข้าสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี

ดี อย่างไรก็ตามถ้าสภาวะที่พื้นก้นแหล่งน้ำเป็นแบบที่ไม่มีอากาศ (anaerobic) โปรทก็ไม่สามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นโปรทอินทรีย์ได้ (Jermelov, 1969)

Gillespie (1972) ได้ทำการศึกษาอัตราการเคลื่อนที่ของโปรท 3 ชนิดจากดินตะกอนผ่านน้ำเข้าสู่ปลา สารโปรทเหล่านี้คือเมอร์คิวริกคลอไรด์ เมอร์คิวริกซัลไฟด์ และ โลหะโปรท ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของโปรทในตัวปลาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการทดลองที่ใช้โลหะโปรทผสมดินตะกอนซึ่งแสดงว่าโลหะโปรทสามารถผ่านเข้าไปในตัวปลาได้เร็วกว่าสารประกอบโปรทและยังพบว่าปลาสามารถเปลี่ยนโลหะโปรทให้เป็นเมทิลเมอร์คิวรีได้น้อยกว่าสารประกอบโปรทที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ดังปรากฏว่าปริมาณเมทิลเมอร์คิวรีที่ตรวจพบในปลาซึ่งเลี้ยงในน้ำมี โลหะโปรท เมอร์คิวริกคลอไรด์ และ เมอร์คิวริกซัลไฟด์ มีค่าเท่ากับ 30% , 40% และ 50% ของโปรททั้งหมดในตัวปลาตามลำดับ

ดินตะกอน (Sediment)

ดินตะกอนประกอบด้วยส่วนที่เป็นซากของสิ่งมีชีวิต (detritus) กับอนุภาคของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เกาะรวมกันในบริเวณพื้นท้องน้ำซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพเคมี และ ชีววิทยาของแหล่งน้ำนั้น ๆ ดินตะกอนจะเป็นแหล่งรองรับและเป็นที่สะสมตัวของสารที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์และจากธรรมชาติอันจะเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารนั้นในแหล่งน้ำ

ดินตะกอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. Interstitial water หรือ Pore water เป็นช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินตะกอนมีปริมาณมากที่สุดถึง 50% ของพื้นผิวดินตะกอน
2. Inorganic phase รวมถึงหินและเปลือกหอยที่แตกหัก และแร่ธาตุที่เป็นผลมาจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติของสารบนบก
3. Organic phase มีปริมาณน้อย แต่เป็นส่วนที่มีความสำคัญของดินตะกอน เพราะสิ่งมีชีวิตสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ ซึ่งอาจทำให้สิ่งมีชีวิตมีการปนเปื้อนของสารพิษในร่างกาย
4. Anthropogenic derived materials สารที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์และการกัดกร่อนของดินชั้นบน

การเคลื่อนย้ายของสารเข้าและออกจากดินตะกอนจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางเคมี ชีวภาพและกายภาพรวมทั้งปริมาณของช่องว่างระหว่างอนุภาค (porosity) และความสามารถของน้ำในการเคลื่อนที่เข้าออกระหว่างช่องว่าง (permeability) โดยที่กรวดและทรายเป็นตัวที่ยอมให้น้ำผ่านได้ดีที่สุด ส่วนโคลนเป็นตัวยอมให้น้ำผ่านได้น้อยที่สุด

อนุภาคของดินตะกอนอาจมาจากการผสมกันของสารที่เข้ามาโดยการกัดกร่อนของหินและดิน อนุภาคของของเสี้ยว อนุภาคที่ตกลงมาจากบรรยากาศ และจากขบวนการทางชีวภาพที่ผลิตสารอินทรีย์ซึ่งจะอยู่ในหลายๆส่วนประกอบรวมทั้งส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุในดินเหนียว คาร์บอนตควอทซ์ เฟลสปาร์ และ สารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง สำหรับ coated จะเป็นส่วนที่ประกอบด้วยไฮดรรัสแมงกานีส (hydrous manganese) และเหล็กออกไซด์ (iron oxide) และสารอินทรีย์ซึ่งเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ จะวางตัวเป็นชั้นในทะเลสาบและปากแม่น้ำและระหว่างชั้นของน้ำและดินตะกอนในน้ำจืดและน้ำทะเล ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนจะมีชั้นผิวของสารอินทรีย์ที่อยู่บนดินตะกอนเรียกว่า biofilms ซึ่งเกิดจากสิ่งมีชีวิตพวกสาหร่ายและแบคทีเรีย โดยการแตกตัวแล้วและโดยการดูดซึมสารอินทรีย์สู่ชั้นผิวของดินตะกอน

ตาราง 2 การจำแนกชนิดของอนุภาคดินตะกอนตามหลักของ International system และ United State Department of Agriculture System(USDA) (Claude E. Boyd. n.d.)

ชนิดของอนุภาคดินตะกอน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง(ไมครอน)	
	International System	USDA System
Clay	<2	<2
Silt	2-20	2-50
Very fine sand		50-100
Fine sand	20-200	100-250
Medium sand		250-500
Coarse sand	200-2,000	500-1,000
Very coarse sand		1,000-2,000
Gravel	>2,000	>2,000

เมื่อแยกส่วนที่เป็นอนุภาคเนื้อหยาบจะพบสารซิลิเกตอนินทรีย์ที่ไม่ยึดเกาะติดกันและไม่มี ความสัมพันธ์ทางเคมีที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อน ส่วนอนุภาคเนื้อละเอียดจะมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับสัดส่วนของปริมาณการมีประจุไฟฟ้าที่ผิวทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีววิทยาได้ง่ายกว่า อนุภาคเนื้อหยาบและยังง่ายต่อการดูดซับและการปล่อยคืนสู่สิ่งแวดล้อมอันเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งปัญหาการปนเปื้อนจะเกิดในอนุภาคเนื้อละเอียด (ดินโคลน) มากกว่าอนุภาคเนื้อหยาบ คุณภาพของดินตะกอนมีอิทธิพลเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำนั้น

ตัวอย่างเช่นการศึกษาในแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเลก็จะมีประวัติการเกิดที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทั้งทางด้านความเค็มและชนิดของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนตัวของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำ การเคลื่อนตัวของดินตะกอน ช่องว่างระหว่างอนุภาค (pore water) ช่วงเวลาที่คงอยู่ของสาร และ คุณภาพน้ำทางเคมีซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการดูดซึมสารปนเปื้อนสู่ดินตะกอน (Elizabeth and Peter. 1992)

ขบวนการเกิดเมทิลเลชัน (Methylation process)

เมทิลเลชัน (Methylation) เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในดินตะกอน (Belliveau and Trevors. 1989) เนื่องจากสารปรอทสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางกายภาพและทางเคมีได้ง่าย โดยสามารถเปลี่ยนไปเป็น CH_3Hg (Bothner. 1980, Jernelov. 1969) $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ (Bothner. 1980, Jernelov. 1969) และเป็นธาตุปรอทที่สามารถระเหยได้ (Spangler *et al.*, 1973) นอกจากนี้บางส่วนก็สูญหายไปอยู่ในดินตะกอน (Bothner. 1980) ปรอทสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปอยู่ในดินตะกอนในรูปของ CH_3Hg (Windom *et al.*, 1976) หรือ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ (Kolb *et al.*, 1973) หรือสารอินทรีย์ในรูปของกาซ

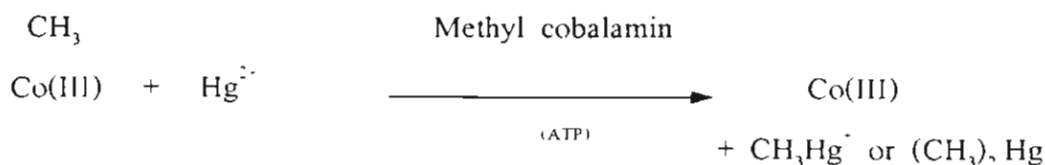
ขบวนการเกิดเมทิลเลชันสามารถเกิดได้ 2 ขั้นตอน คือ

1. เมทิลเลชัน (Methylation) เป็นการรวม Hg เข้ากับ CH_3 - group
2. ดีเมทิลเลชัน (Demethylation) เป็นการเคลื่อนย้าย CH_3 -group ออกจาก Hg เป็นขั้นตอนสำคัญในการลดความเป็นพิษและการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอน

อัตราการเกิดเมทิลเลชันในปรอทและปรอทอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น pH พบว่าในลำธารและทะเลสาบ ความเข้มข้นของ CH_3Hg จะสูงเมื่อ pH ของน้ำต่ำเพราะ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ จะถูกย่อยสลายไปเป็น CH_3Hg ได้ที่สภาพ pH ต่ำและจะเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนในดินตะกอน (Jernelov. 1969)

Wood *et al.*, (1968) ได้ทำการศึกษาขบวนการเมทิลเลชันแบบ nonenzymatic โดยสกัดเซลล์อิสระของ methanogenic bacterium กับ methylcobalamin (Vitamin B12 - CH_3) ที่ให้ CH_3 -group สรุปได้ว่าจุลชีพที่สามารถสังเคราะห์ Vitamin B12 ได้ก็จะสามารถสังเคราะห์ CH_3Hg ได้

สารปรอทอินทรีย์ที่สะสมในสิ่งแวดล้อมสามารถถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารปรอทอินทรีย์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงได้โดยแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์สารมีเทน (Methane-synthesizing bacteria) โดยใช้โคบอลท์ (III) ในวิตามิน B12 เป็นตัวช่วย กลุ่มมีเทน (CH_3 -group) จะจับตัวกับโคบอลท์ (III) และถูกเคลื่อนย้ายต่อไปจับตัวกับประจุ Hg^{2+} โดยผ่านเมทิลโคบาลามิน (Methyl cobalamin) ดังแสดงในสมการ



ที่มา : Dunlap (1971)

Akagi *et al.*, (1977) พบว่า Photomethylation ในกระบวนการของสิ่งมีชีวิตสามารถทำให้ HgCl_2 เปลี่ยนเป็น CH_3Hg โดยใช้รังสีอุลตราไวโอเลต

การสะสมของสารปรอทในดินตะกอน

โลหะหนักที่มีการสะสมในดินตะกอนนอกจากจะเกิดจากธรรมชาติแล้วการกระทำของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานด้านโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมพยายามจะแยกปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนที่เกิดจากธรรมชาติออกจากปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เพื่อจะได้เห็นลักษณะของภาวะมลพิษของโลหะหนักในดินตะกอนได้ชัดเจนขึ้น การแยกแยะดังกล่าวทำได้หลายวิธีวิธีการหนึ่งที่ใช้กันคือ การตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระดับความลึกหรือไม่ ถ้าพบมีความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนชั้นบนมากกว่าในตะกอนในระดับลึกลงไปอาจสรุปได้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนชั้นบนเกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Suess and Erlenkeuser, 1975 และ Bertine, 1976) ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนชั้นบนจากการกระทำของมนุษย์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของดินตะกอนจนถึงระดับความลึกประมาณ 20-30 ซม. (Price *et al.*, 1976)

Menasveta และ Swangwong (1977) ทำการศึกษาปริมาณของทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และ ปรอทในดินตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยทำการศึกษาปริมาณโลหะดังกล่าวตามระดับความลึกของดินตะกอน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทซึ่งลดลงตามระดับความลึก และความเข้มข้นของโลหะทุกตัว ยกเว้น แคดเมียมมีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณท่าเรือกรุงเทพฯ และมีความเข้มข้นลดลงเมื่อห่างออกไป จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนชี้ให้เห็นว่า แหล่งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อาคารบ้านเรือน และการเกษตรมีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนสูงขึ้นในแต่ละปี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามีการเพิ่ม anthropogenic input ของโลหะหนักในดินตะกอนเพิ่มขึ้นในแต่ละปี

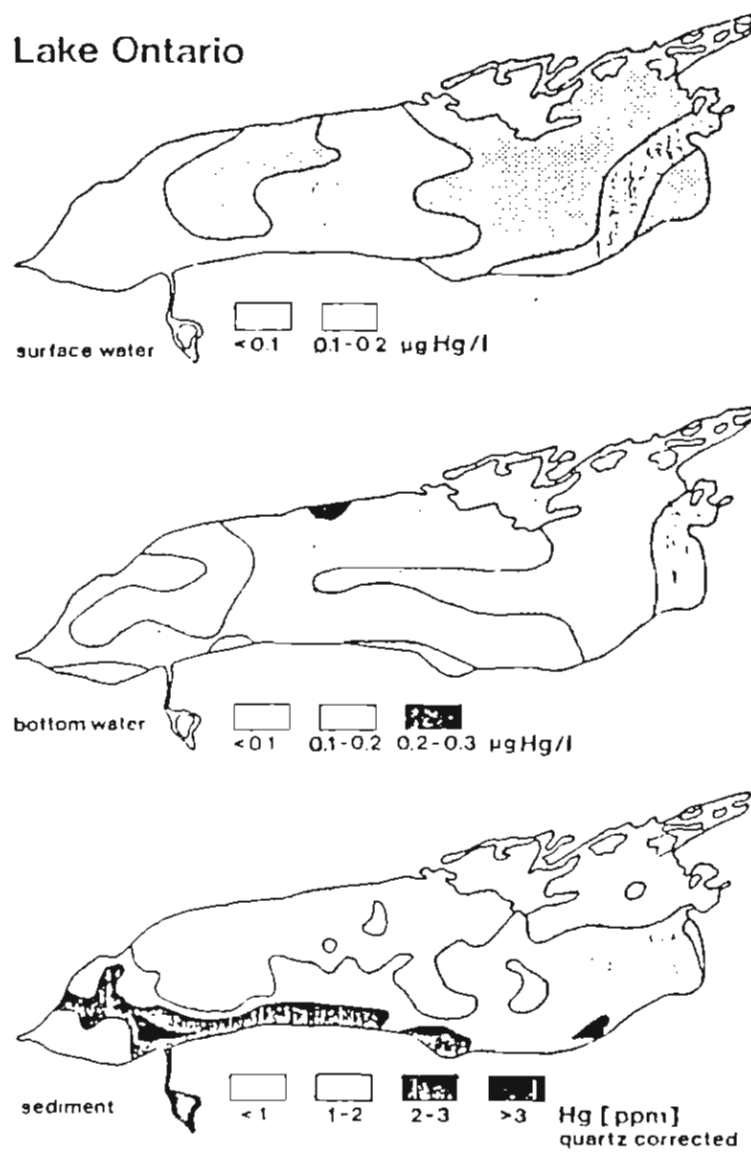
การปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอน

1. สารปรอทที่พบในดินตะกอนทั่วไป

ในการศึกษาการปนเปื้อนของสารปรอทในแหล่งน้ำนั้น การวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในน้ำไม่สามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงการปนเปื้อนได้ดี ทั้งนี้เพราะสารปรอทมีความสามารถในการละลายที่ต่ำ (William and Coffee, 1975) ตัวอย่างเช่นในการศึกษาบริเวณ Lake Ontario จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณสารปรอทในผิวน้ำและน้ำชั้นล่างไม่ได้ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนและจุดปล่อยสารปรอทลงใน Lake Ontario แต่ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนจะชี้ชัดว่ามีการปนเปื้อน และแหล่งปล่อยสารปรอทเป็นบริเวณปากแม่น้ำ Niagara ซึ่งอยู่ทางตอนล่างของ Lake Ontario เนื่องจากมีการทำเหมืองปรอทในแม่น้ำ Niagara (ภาพประกอบ 4) ดังนั้นการติดตามการปนเปื้อนของสารปรอทจึงควรตรวจสอบในดินตะกอนและสิ่งมีชีวิตตามที่ทางUSEPA ได้กำหนดไว้

ตาราง 3 ค่าพื้นฐานของสารปรอทจากที่ต่างๆ

สถานที่	ค่าพื้นฐานของสารปรอท ($\mu\text{g/g}$)	เอกสารอ้างอิง
ชายฝั่งออสเตรเลีย	0.004-0.005	Knauer, 1976
ชายฝั่งอิสราเอล	0.02	Hornung <i>et al.</i> , 1981
ชายฝั่งทวีปอาร์กติก	0.02-0.08	WHO, 1986
อ่าวบัพฟินใกล้เกาะกรีนแลนด์	0.07	Campell and Loring, 1980
ชายฝั่งแมกซิโกตะวันตก	0.012-0.173	ESBMP, 1987
ชายฝั่งฮาวาย	0.02-0.24	Moore and Ramamoorthy, 1984
มาตรฐานดินตะกอนที่ไม่มี การปนเปื้อน	0.05	Sadiq, 1992
มาตรฐานคุณภาพดินตะกอน สำหรับวอชิงตัน	0.41	Burton, 1992



ภาพประกอบ 5 เปรียบเทียบปริมาณสารปรอทใน Lake Ontario บริเวณผิวน้ำ น้ำชั้นล่าง และดินตะกอน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งปล่อยสารปรอทจากแม่น้ำ Niagara ที่อยู่ทางตอนใต้ของทะเลสาบ (Thomas, 1972)

สำหรับบริเวณอื่นๆที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอนได้รวบรวมไว้ในตารางข้างล่าง

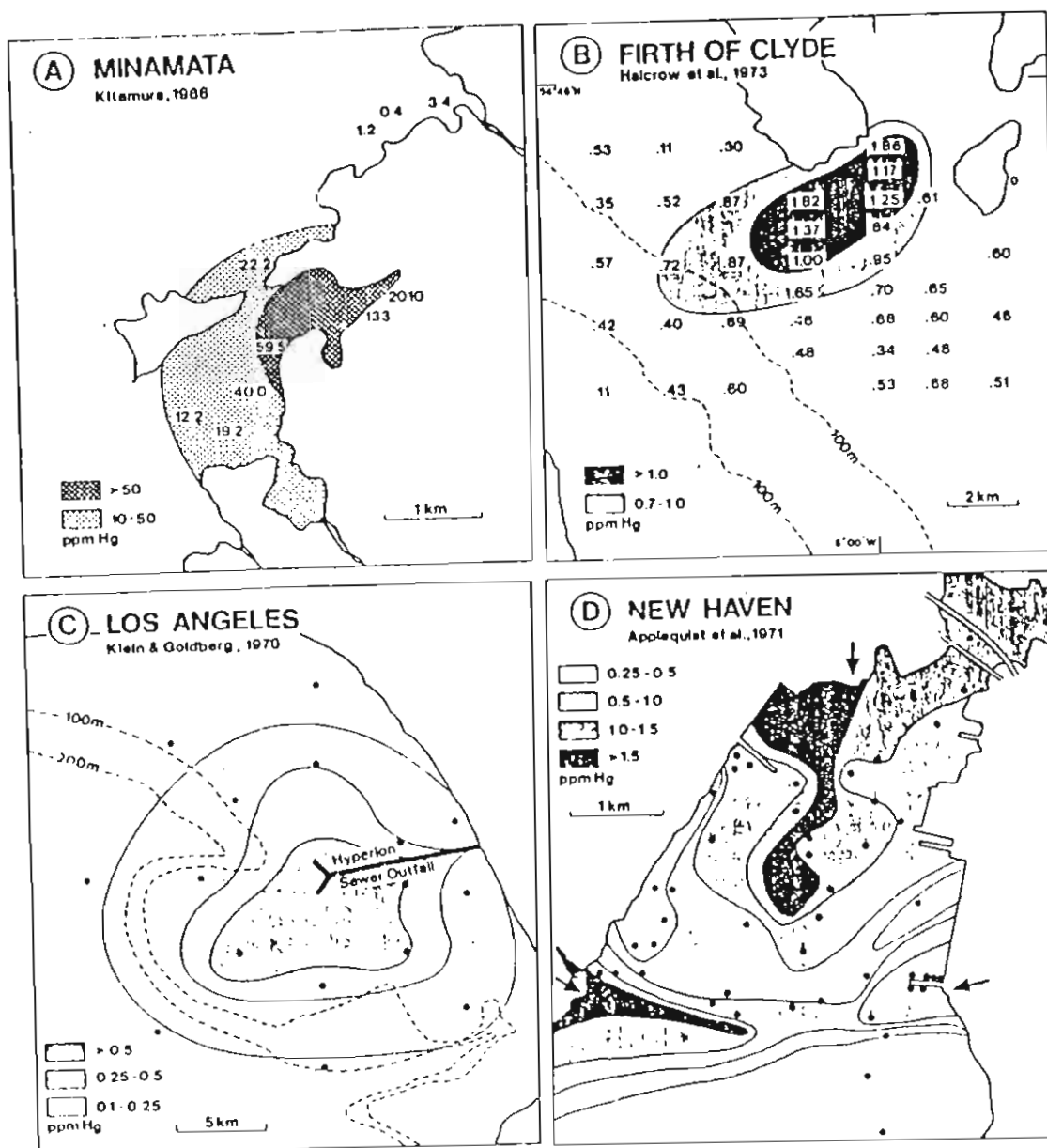
ตาราง 4 ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนทะเล

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณสารปรอท ($\mu\text{g/g}$)	เอกสารอ้างอิง
Georgia, USA	0.27-1.70	Gardner <i>et al.</i> , 1978
Mediterranean, Turkish	0.02-0.48	Tuncel <i>et al.</i> , 1980
Puget Sound, USA	0.01-0.5	Crecelius <i>et al.</i> , 1975
San Francisco Bay	0.1-1.3	Olson and Cooper, 1976
Plym Estuary	0.02-2.61	Millward and Herbert, 1981
Salt Marsh, USA	0.27-1.70	Gardner <i>et al.</i> , 1978
Mersey Estuary	0.01-14.3	Craig and Morton, 1976
Clyde Estuary	0.05-5.31	Bartlett and Craig, 1981
Thames Estuary	0.02-0.49	Smith <i>et al.</i> , 1973
East Pacific Rise	0.02-0.24	Cox and McMurtry, 1981
Southampton region	0.02-2.6	Armannsson <i>et al.</i> , 1985
Haifa Bay, Israel	0.06-0.99	Hornung <i>et al.</i> , 1984
Argentine Sea	0.04-0.69	Marcovecchio <i>et al.</i> , 1984
Baltic Sea	0.08-0.80	Brugmann, 1988
Mediterranean, Western	0.07-1.62	Bargagli <i>et al.</i> , 1988
Indian Ocean, India	0.04-0.08	Sanzgiry <i>et al.</i> , 1988
Tyrrhenian Sea, Italy	0.10-11.0	Baldi <i>et al.</i> , 1979

จากตารางแสดงปริมาณสารปรอทในดินตะกอนพบว่าอยู่ในช่วงพิสัยระหว่าง 0.02-14.3 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งบริเวณที่มีปริมาณของสารปรอทค่อนข้างสูงพบอยู่บริเวณชายฝั่งที่คาดว่ามีการกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารปรอท เช่น แหล่งอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการปนเปื้อนในประเทศที่พัฒนามีปริมาณสูงกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา

จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่นทำให้เกิดโรคมินามาตะหรือโรคพิษสารปรอทเป็นเหตุให้ผู้คนล้มตายและเจ็บป่วยเป็นจำนวนมาก พบว่าระดับปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวมินามาตะมีปริมาณสูงถึง $2,010 \mu\text{g/g}$ ที่บริเวณใกล้โรงงานที่เป็นจุดปล่อยสารมลพิษและมีปริมาณ $130 \mu\text{g/g}$ ที่บริเวณห่างออกไป 200-300 เมตร ขณะที่พบค่าพื้นฐานของสารปรอทในบริเวณอ่าวมินามาตะอยู่ที่ระดับ $0.1-0.35 \mu\text{g/g}$ ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าบริเวณดังกล่าวถูกปนเปื้อนด้วยสารปรอทเป็นอย่างมาก (Fujiki, 1980) ในอ่าวมินามาตะบริเวณร่องน้ำทั้งมีสารปรอทเจือปนอยู่ในระดับสูงถึง $2,010 \mu\text{g/g}$ บริเวณกลางอ่าวพบอยู่ในระดับ $40-59 \mu\text{g/g}$ แต่ในบริเวณน้ำกร่อยติดกับทะเลเปิดพบในปริมาณที่ลดลงอยู่ที่ $12-22 \mu\text{g/g}$ ในขณะที่ตะกอนดินชายฝั่งใกล้เชิงพบในปริมาณเพียง $0.4-3.4 \mu\text{g/g}$

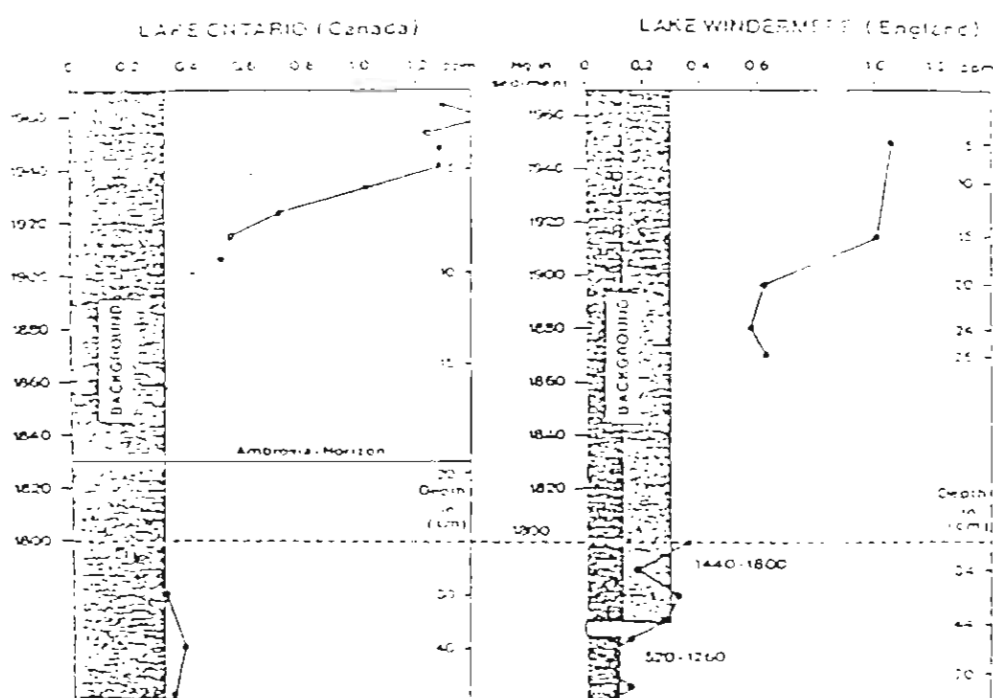
นอกจากนี้มีรายงานในบริเวณ Drewent Estuary ใน Tasmania พบว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในระดับที่สูงประมาณ $1,130 \mu\text{g/g}$ แต่ต่ำกว่าที่พบในอ่าวมินามาตะ (Bloom and Ayling, 1977) ใน Santa Monica Bay พบว่าการปนเปื้อนของสารปรอทบริเวณผิวดินตะกอน $0.16 \mu\text{g/g}$ เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณดินตะกอนที่ลึกลงไป $0.04 \mu\text{g/g}$ (Anderson, 1985) สำหรับบริเวณ Firth of Clyde, Los Angeles และ New Haven ซึ่งเป็นจุดปล่อยน้ำทิ้งและขอมสีย พบว่าการปนเปื้อนของสารปรอทที่สูงในระดับ >1.0 , >0.5 และ $>1.5 \mu\text{g/g}$ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสารปรอทบริเวณชายฝั่งจาก Minamata Bay, Firth of Clyde, Los Angeles และ New Haven (Wittmann, 1983)

การศึกษาและประเมินผลการปนเปื้อนของสารปรอทด้วยแท่งตะกอนดินที่ทราบอายุ (Dated Sediment Core)

มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากแท่งตะกอนดินที่ทราบอายุในการประเมินผลการปนเปื้อนของสารปรอทจากหลายแห่ง พบว่ามีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในประวัติศาสตร์หลายประการ เช่น ผลการศึกษาในบริเวณ Lake Ontario และใน Lake Windermere จากรูปแสดงให้เห็นว่าสารปรอทใน Lake Ontario ช่วงระยะตั้งแต่ปี 1906-1943 มีปริมาณเพิ่มขึ้น 3-4 เท่าตัว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวทางอุตสาหกรรมในช่วงนี้ เช่นเดียวกับที่พบใน Lake Windermere ในประเทศอังกฤษพบว่าการสะสมที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับระดับพื้นฐานที่พบในดินตะกอนส่วนล่าง



ภาพประกอบ 7 ปริมาณสารปรอทในแท่งตะกอนดินจาก Lake Ontario และ Lake Windermere (Thomas 1972)

2. การศึกษาระดับปริมาณสารปรอทในดินตะกอนอ่าวไทย

จากการศึกษาการแพร่กระจายของสารปรอทในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง Picharn (1977) รายงานว่า พบค่าสารปรอทบริเวณผิวหน้าดินมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.012-0.264 $\mu\text{g/g}$ และมีปริมาณสูงบริเวณในเมืองและย่านอุตสาหกรรมนอกจากนี้การศึกษาในแท่งตะกอนดินพบปริมาณสารปรอทที่ผิวดินสูงกว่าบริเวณที่อยู่ลึกลงไปชั้นดินแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนเนื่องจากการกระทำของมนุษย์

การศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารปรอทในบริเวณต่างๆของอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียงได้รวบรวมไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 5 แสดงปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียง

สถานที่ศึกษา	ปริมาณสารปรอท ($\mu\text{g/g}$)	เอกสารอ้างอิง
ปากแม่น้ำบางปะกง	0.041	สุธรรม สิริชัยเกษม และ สุวรรณี เฉินบำรุง. 2527
ปากแม่น้ำบางปะกง	0.033	Polprasert <i>et al.</i> , 1979
ปากแม่น้ำบางปะกง	0.62	Cheevaparanapivat. 1979
ปากแม่น้ำบางปะกง 14 มี.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำบางปะกง 23 พ.ค. 39	1	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำท่าจีน	0.017	สุธรรม สิริชัยเกษม และ สุวรรณี เฉินบำรุง. 2527
ปากแม่น้ำท่าจีน	0.028	Polprasert <i>et al.</i> , 1979
ปากแม่น้ำท่าจีน	1.09	Cheevaparanapivat. 1979
ปากแม่น้ำท่าจีน 11 มี.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำท่าจีน 21 พ.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำเจ้าพระยา	0.023	Polprasert <i>et al.</i> , 1979
ปากแม่น้ำเจ้าพระยา	2.2	Cheevaparanapivat. 1979
เจ้าพระยาตอนบน 12 มี.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
เจ้าพระยาตอนบน 22 พ.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำแม่กลอง	0.031	Polprasert <i>et al.</i> , 1979

ปากแม่น้ำแม่กลอง	0.66	Cheevaparanapivat. 1979
ปากแม่น้ำแม่กลอง 12 มี.ค. 39	ไม่พบ	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำแม่กลอง 21 พ.ค. 39	1	กรมเจ้าท่า. 2539
ปากแม่น้ำเพชรบุรี	0.007	สุธรรม สิทธิชัยเกษม และ สุวรรณณี เฝินบำรุง. 2527
ปากแม่น้ำปราณบุรี	0.014	สุธรรม สิทธิชัยเกษม และ สุวรรณณี เฝินบำรุง. 2527
อ่าวไทยตอนบน	0.030	Polprasert <i>et al.</i> , 1979
อ่าวไทยตอนบน	nil-1.2	อำไพ สิทธิเกษมและคณะ. 2524
อ่าวไทยตอนล่าง 22 Mar.- 5 Apr. 1977	0.04-37	NRCT. 1974-1976
อ่าวไทย 20-30 Oct. 1973 9-11 Apr. 1974 29 Oct.- 2 Nov. 1974 27-30 Jan. 1975 15-18 Apr. 1975 27-30 Jul. 1975 27-31 Oct. 1975 1-4 Mar. 1976 22-29 Mar. 1976 11-18 May. 1976 26-29 Sep. 1976 22-31 May. 1977 8-11 Jun. 1977	nil-43.9 nil-16.2 0.3-0.6 0.01-0.29 0.01-0.07 0.01-0.13 0.01-0.07 0.001-0.003 0.002-0.004 0.150-0.33 0.001-0.006 0.03-0.14 0.02-0.67	NRCT. 1974-1976
บริเวณที่ตั้งโรงงานปิโตรเคมีชลบุรี	0.026-0.28	Pescod. 1975
ค่าเฉลี่ยในดินตะกอนของโลก	0.3	Rankama and Sahama. 1960

1.1.3 วิธีการดำเนินการ

วิธีดำเนินการ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 5 สถานีได้แก่ อ่างศิลา ศรีราชา แหลมฉบัง พัทยา และ มาบตาพุด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน และใช้ GPS ดูตำแหน่งของสถานี ที่กำหนดเพื่อให้การเก็บตัวอย่างทุกๆ ครั้งอยู่ในตำแหน่งเดิมอย่างแน่นอน บริเวณที่ทำการศึกษาทั้ง 5 สถานีแสดงในตาราง 6 และภาพประกอบ 8

ตาราง 6 ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่าง จากอ่างศิลา จังหวัดชลบุรีถึงมาบตาพุด จังหวัดระยอง

สถานี	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ละติจูด	ลองจิจูด
1	อ่างศิลา : บริเวณฟาร์มเลี้ยงหอยนางรม	13° 18' 43.9" N	100° 55' 07.4" E
2	ศรีราชา : บริเวณท่าเรือไปเกาะสีชัง	13° 10' 02.7" N	100° 55' 23.8" E
3	แหลมฉบัง : บริเวณอ่าวอุดม(ใกล้ Thai oil)	13° 07' 15.2" N	100° 53' 50.6" E
4	พัทยา : บริเวณตำบลนาเกลือ	12° 58' 35.1" N	100° 54' 49.5" E
5	มาบตาพุด : บริเวณใกล้โรงงาน TPI	12° 39' 56.8" N	101° 10' 56.6" E

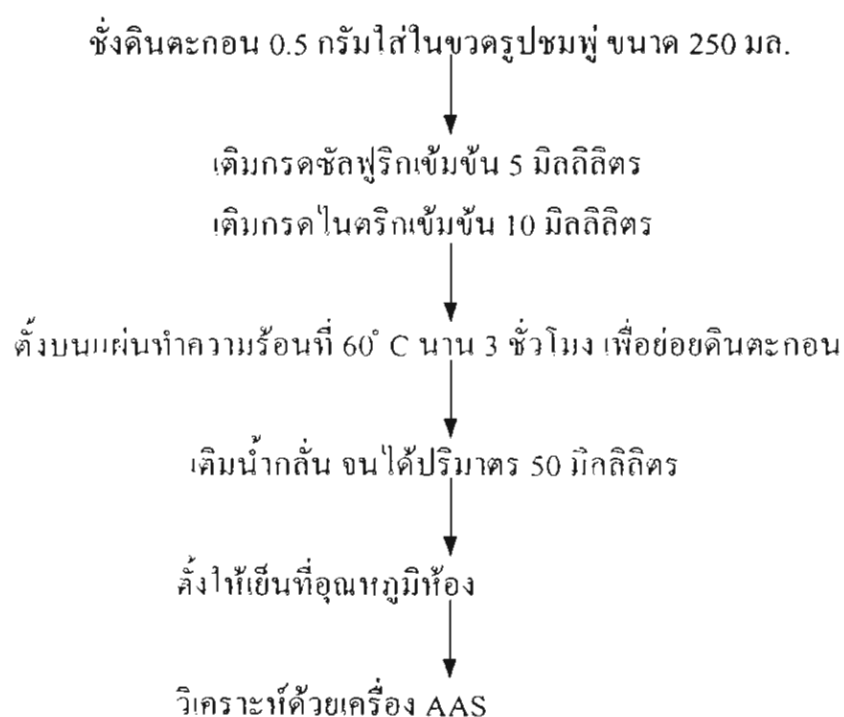
เก็บตัวอย่างดินตะกอนโดยใช้ Gravity core เก็บตัวอย่าง 2 จุดคือ จุดผืน (เดือนตุลาคม) และจุดแล้ง (เดือนมีนาคม) โดยเก็บสถานีละ 3 ซ้ำ ดินตะกอนที่เก็บจะเก็บในถังแช่เย็นและนำกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อตัดเป็นชั้นๆ ตามระดับความลึกทุก 1 เซนติเมตร โดยใช้มีดพลาสติก แล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนร่อนผ่านเพื่อแยกเปลือกหอยออกก่อนเก็บในภาชนะพลาสติกโดยเก็บแยกตามระดับความลึก ดินตะกอนทุกสถานีจะแบ่งเป็น 2 ส่วนในครั้งแรก ส่วนที่ 1 นำไปเก็บในตู้แช่แข็ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารปรอท ส่วนที่ 2 นำมาทำการวิเคราะห์หาชนิดของดินตะกอนแต่ละสถานี

การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน (Tanner and Leong, 1995)

นำดินตะกอนที่แยกเปลือกหอยออกแล้ว ใส่ลงในขวดพลาสติก แล้วนำไปเข้าตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ - 80°C เป็นเวลา 1-2 วัน แล้วนำตัวอย่างดินตะกอนออกจากตู้แช่แข็งไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบทำความเย็นทันทีที่อุณหภูมิ -55°C (ประมาณ 3-4 วัน) จึงนำตัวอย่างออกจากเครื่องอบแห้งแบบทำความเย็น นำตัวอย่างดินตะกอนมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1.00 มิลลิเมตร ด้วยชุดเครื่องร่อนดินตะกอน เพื่อแยกเปลือกหอยอีกครั้ง และนำตัวอย่างดินตะกอนมาบดให้ละเอียดด้วยครกบด นำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 63 ไมครอนด้วยชุดเครื่องร่อนดินตะกอน เก็บตัวอย่างดินตะกอนแต่ละขนาดไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทในโลทำแห้ง เพื่อรอขั้นตอนการย่อยดินตะกอนต่อไป

การย่อยตัวอย่างดินตะกอน (digestion) เพื่อการวิเคราะห์สารปรอท (Loring *et al.*, 1990)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอน 0.5 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. วางบนแผ่นทำความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 3 ชั่วโมง
4. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (ภาพประกอบ 9)

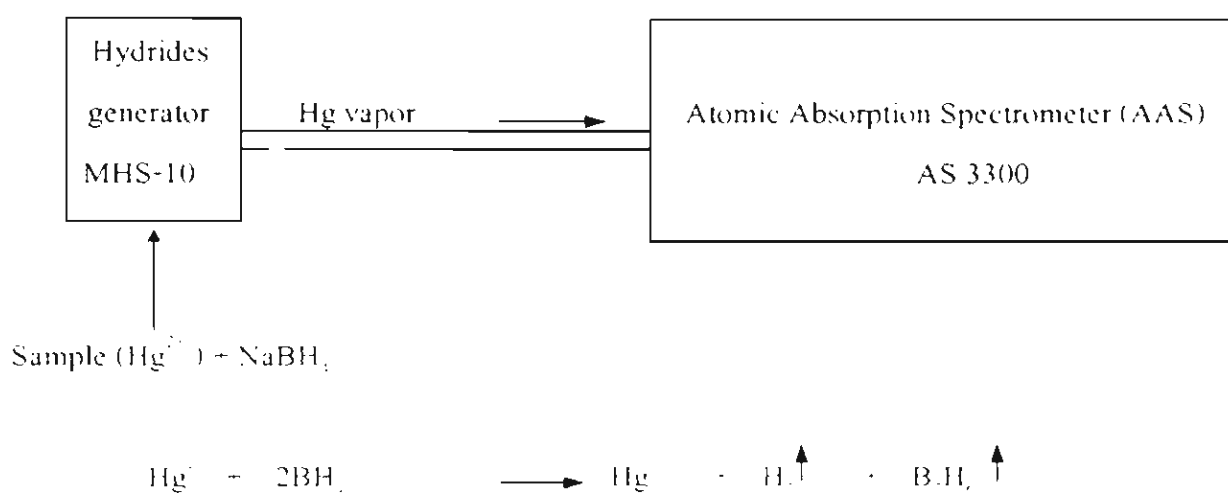


(ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นลิวรีดิทซ์ โดยใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ละลายใน 1 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์)

ภาพประกอบ 9 แสดงขั้นตอนการย่อยดินตะกอน และการวิเคราะห์สารปรอทในดินตะกอน (Loring *et al.*, 1990)

การวิเคราะห์สารปรอท

วิเคราะห์สารปรอทโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ 3300 และระบบไฮไดรด์ MHS-10 ของ เพอร์กินเอลเมอร์ โดยในการวิเคราะห์จะใช้สารละลาย 3 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ใน 1 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็นไฮไดรด์ ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงการทำงานของเครื่อง Hydride generator ร่วมกับเครื่อง AAS

(คัดมาปัดจาก Operator's manual MHS-10 Mercury Hydride system, 1987)

การคำนวณ

สร้างกราฟมาตรฐานโดยเขียนกราฟระหว่างความสูงของพีคของสารละลายมาตรฐานกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน วัดความสูงของพีคที่อ่านได้จากสารตัวอย่าง นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานแล้วอ่านความเข้มข้นจากกราฟนำความเข้มข้นที่อ่านได้มาคำนวณกับปริมาณหรือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนการคำนวณสูงความเข้มข้นของสาร

สูตรการคำนวณ

$$\text{Concentration of Mercury in } \mu\text{g/g} = \frac{V \cdot X}{A \cdot W}$$

Where V = Total volume of digestion solution (ml)
 X = Determined weight of metal in sample aliquot A ($\mu\text{g/g}$)
 A = Sample aliquot (ml)
 W = Sample weight (g)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 คือ ฤดู สถานที่ และ ความลึกเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed Factors) ดังนั้นการทดลองจึงเป็นแบบ All fixed factor ANOVA โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของแต่ละปัจจัย โดยใช้โปรแกรม SPSS/PC[®] (Statistic Packsgge for the Social Sciences) for Windows 95 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan 's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม Statistica และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของปริมาณสารปรอทต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และเปอร์เซนต์ Silv/Clay พร้อมทั้งหาสมการเส้นตรงรีเกรสชัน (Linear regression)

1.1.4 ผลการศึกษา

ผลการทดลอง

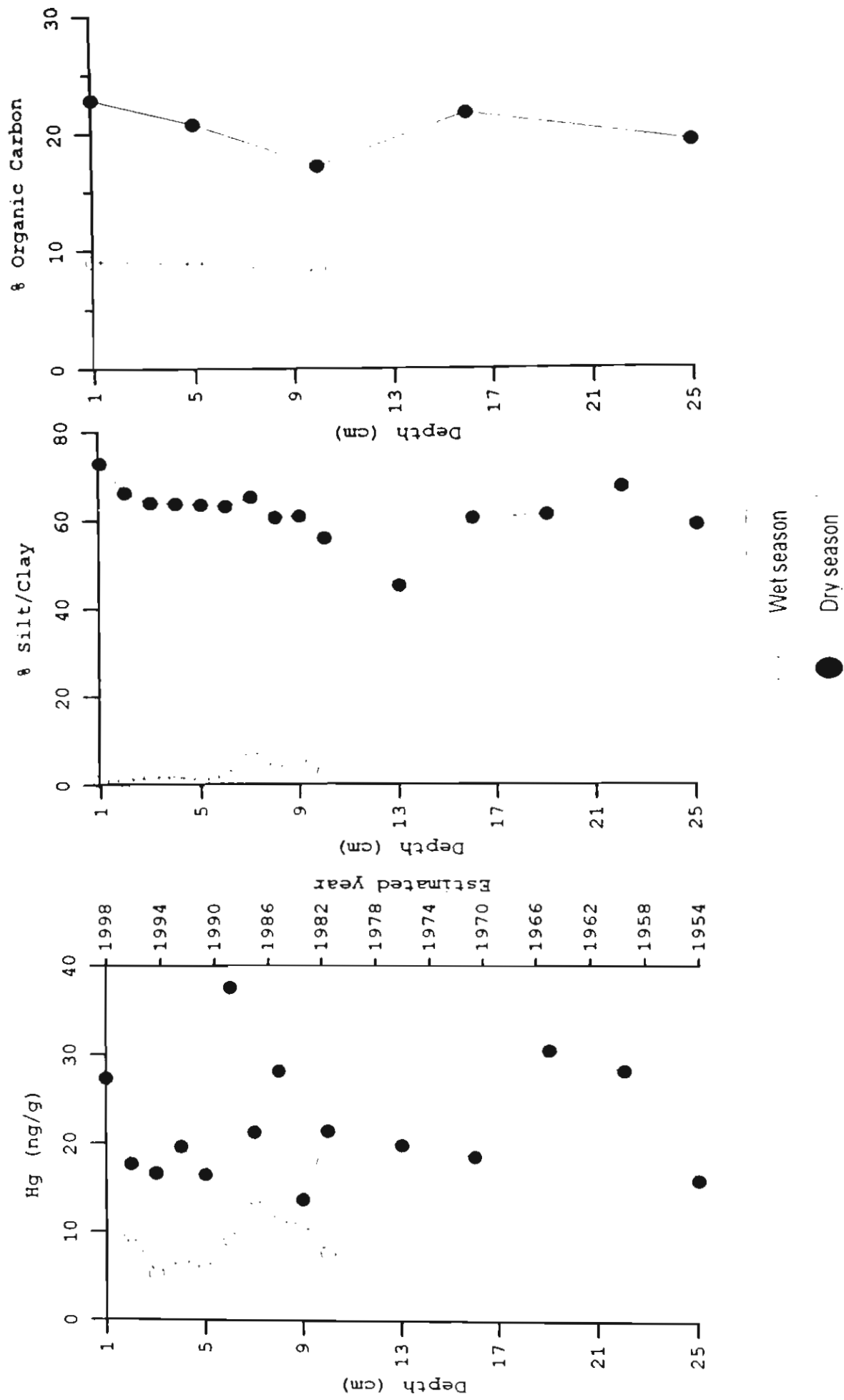
จากการศึกษาการปนเปื้อนของสารปรอทในแท่งดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรี และ ระยอง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 5 สถานี คือ อ่างศิลา ศรีราชา แหลมฉบัง พัทยา และ มาบตาพุด สถานีละ 3 ซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบใน 2 ฤดู คือ ฤดูฝน (เดือนตุลาคม 2540) และฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม 2541) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในดินตะกอน ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ฟชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ระบบไฮโดรด์ จำแนกขนาดอนุภาคดินตะกอนด้วยวิธี Wet Sieve ตามวิธีของ Wittmann, 1983 (ภาคผนวก ง) และหาเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธีไตเตรตของ Gaudette *et al.*, 1974 (ภาคผนวก จ) ผลการทดลองได้แสดงในภาพประกอบที่ 11, 12, 13, 14 และ 15 และภาคผนวก ก, ข และ ค และสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

การแพร่กระจายของสารปรอทในดินตะกอนตามแนวดิ่ง (Vertical Distribution)

สถานีอ่างศิลา (บริเวณฟาร์มเลี้ยงหอยนางรม)

รูปแบบการแพร่กระจายของสารปรอทตามความลึกในฤดูแล้งไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ปริมาณสารปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 13.60 - 37.49 ng/g และค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 21.88 ± 7.17 ng/g ส่วนฤดูฝนพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายของสารปรอทไม่แตกต่างกันตามความลึก ปริมาณสารปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 4.88 - 13.83 ng/g และค่าเฉลี่ยของสารปรอทตามความลึกในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 8.43 ± 2.97 ng/g จะเห็นได้ว่าปริมาณสารปรอทเฉลี่ยตามความลึกในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน (ภาพประกอบ 11)

ลักษณะตะกอนในบริเวณนี้เป็นโคลนปนทรายมีสีน้ำตาลดำ พบเปลือกหอยชิ้นใหญ่ และ เศษเปลือกหอยที่แตกหัก เปอร์เซ็นต์ Sil/Clay ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 45.07 - 72.87 % และ 0.88 - 8.07 % ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของ Sil/Clay, Sand และ Gravel เฉลี่ยในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 61.94 % , 37.60 % และ 0.4 % ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะเป็น Sil/Clay และในฤดูฝนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.90 % , 90.1 % และ 7.56 % ตามลำดับ จากกราฟพบว่าเปอร์เซ็นต์ของ Sil/Clay ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน



ภาพประกอบ 11 แสว่ Profile ปริมาณสารปรอทในดินตะกอน, เปอร์เซ็นต์ Silt/Clay, เปอร์เซ็นต์ Organic Carbon และอายุดินตะกอน (Estimated year)
 กองสทกานี้ถั่วคิตา

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 17.08 - 22.80 % น้ำหนักแห้ง และ 8.15 - 9.01 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 20.20 ± 2.23 % น้ำหนักแห้ง และ 8.67 ± 0.46 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนที่เก็บได้ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

สถานีศรีราชา (บริเวณท่าเทียบเรือไปเกาะสีชัง)

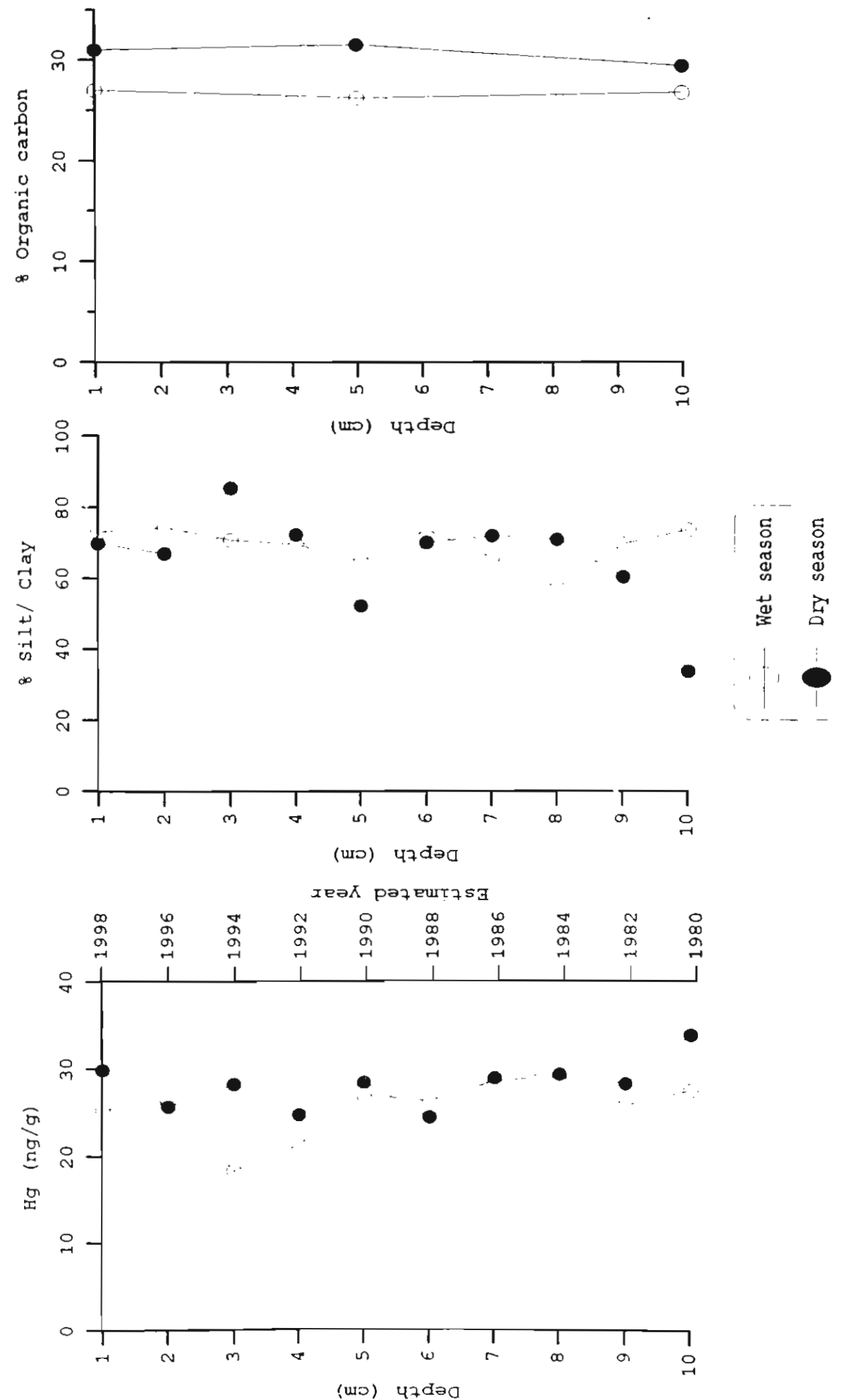
ปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกับในฤดูฝนและมีค่าสูงกว่าทุกสถานีทั้ง 2 ฤดู (ภาพประกอบ 12) ค่าต่ำสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 24.44 ng/g ที่ความลึก 6 เซนติเมตร และ 18.36 ng/g ที่ความลึก 3 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าสูงสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 33.88 ng/g ที่ความลึก 10 เซนติเมตร และ 29.06 ng/g ที่ความลึก 8 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 28.18 ± 2.77 ng/g และ 25.53 ± 3.31 ng/g ตามลำดับ โดยที่ปริมาณสารปรอทตามความลึกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ลักษณะตะกอนบริเวณนี้เป็นโคลนละเอียด สีดำ มีกลิ่นเหม็นและมีเศษขยะปน อยู่มาก ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเขตชุมชนที่อยู่อาศัย เปอร์เซนต์ Sil/Clay มีค่าสูงกว่าทุกสถานี โดยที่เปอร์เซนต์ Sil/Clay ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 33.56 - 85.22 % และ 57.13 - 74.14 % ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของ Sil/Clay, Sand และ Gravel ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 63.64 % , 36.19 % และ 0.17 % ตามลำดับ และ 69.08 % , 30.92 % และ 0.00 % ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าลักษณะดินตะกอนทั้ง 2 ฤดูของสถานีนี้ดูส่วนใหญ่จะเป็น Sil/Clay

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 29.33 - 30.97 % น้ำหนักแห้ง และ 26.17 - 26.92 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 30.59 ± 1.12 % น้ำหนักแห้ง และ 26.59 ± 0.38 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับความลึกและมีค่าสูงกว่าทุกสถานีที่ทำการศึกษา โดยสรุปกล่าวได้ว่าปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนของสถานีนี้ทั้ง 2 ฤดูมีค่าใกล้เคียงกันมาก

สถานีแหลมฉบัง (บริเวณอ่าวอุดม ใกล้โรงงาน Thai Oil)

จากภาพประกอบที่ 13 ปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนในบางระดับความลึก ค่าต่ำสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 9.99 ng/g ที่ผิวหน้า (ลึก 1 เซนติเมตร) และ 13.14 ng/g ที่ความลึก 2 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าสูงสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 28.10 ng/g ที่ความลึก 3 เซนติเมตร และ 20.61 ng/g ที่ความลึก 10 เซนติเมตร ตามลำดับ



ภาพประกอบ 12 แสดง Profile ปริมาณสารปรอทในดินตะกอน, เปอร์เซนต์ Silt/Clay, เปอร์เซนต์ Organic Carbon และอายุดินตะกอน (Estimated year) ของสถานีศรีราชา

ค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 21.18 ± 5.59 ng/g และ 16.40 ± 2.34 ng/g ตามลำดับ

ลักษณะดินตะกอนเป็นทรายสีเทาดำ เปอร์เซ็นต์ Sil/Clay ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 8.89 - 19.75 % และ 0.82 - 25.64 % ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของ Sil/Clay, Sand และ Gravel ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 1.84 % , 68.94 % และ 29.22 % ตามลำดับ และ 1.61 % , 91.99 % และ 7.00 % ตามลำดับ ซึ่งลักษณะดินตะกอนที่พบส่วนใหญ่จะเป็น Sand ทั้ง 2 ฤดู จากกราฟจะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์ Sil/Clay ในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 10.41 - 10.82 % น้ำหนักแห้ง และ 5.01 - 10.08 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 10.09 ± 0.53 % น้ำหนักแห้ง และ 6.80 ± 2.85 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนที่เก็บฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

พัทธา (บริเวณลำบสนาเกลือ)

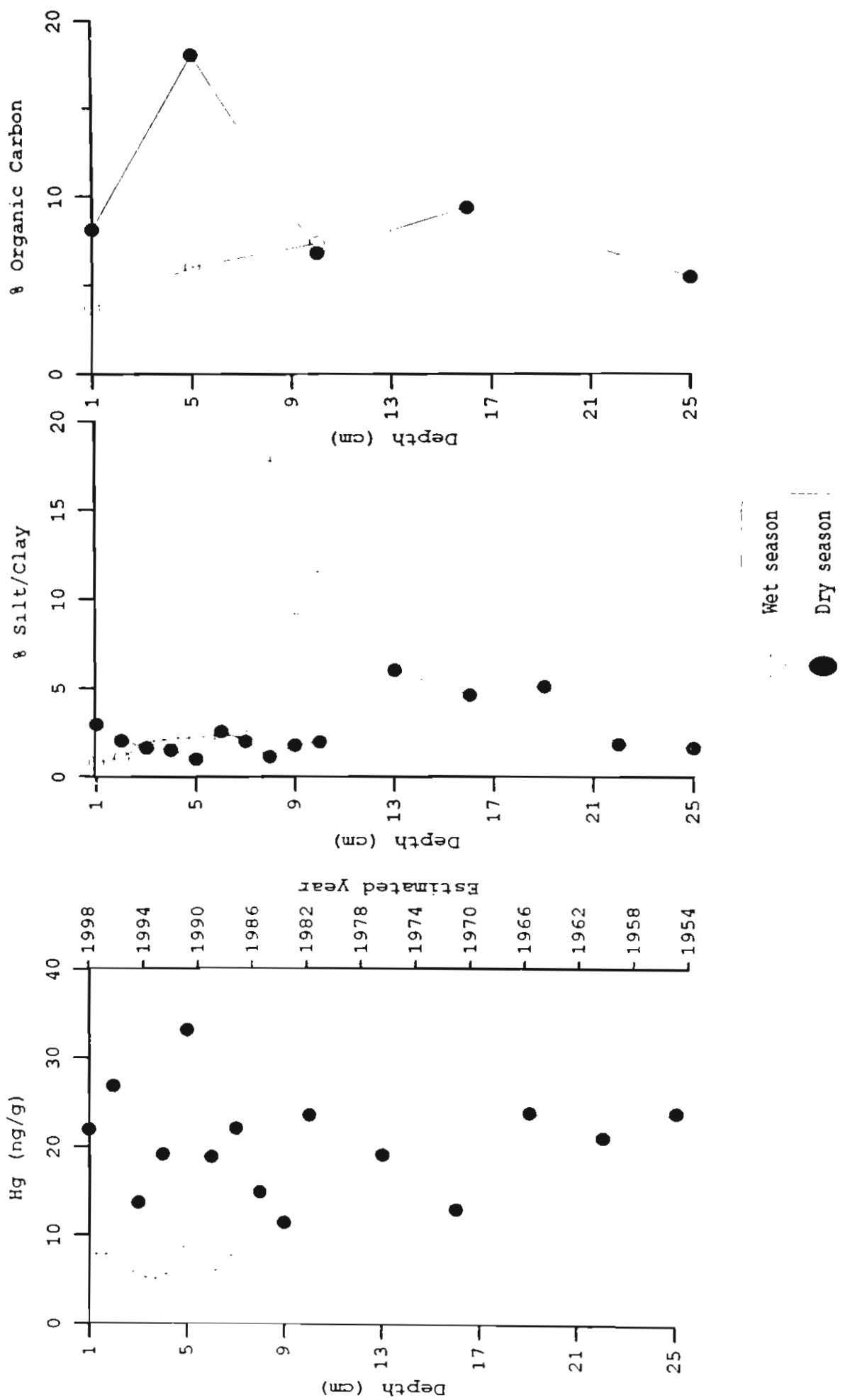
ปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนในทุกระดับความลึก ค่าต่ำสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 12.78 ng/g ที่ความลึก 16 เซนติเมตร และ 4.91 ng/g ที่ความลึก 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าสูงสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 33.10 ng/g ที่ความลึก 5 เซนติเมตร และ 10.63 ng/g ที่ความลึก 8 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 21.49 ± 6.30 ng/g และ 7.51 ± 1.85 ng/g ตามลำดับ (ภาพประกอบ 14)

ลักษณะตะกอนเป็นโคลนปนทรายสีเทาเข้ม เปอร์เซ็นต์ Sil/Clay ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 0.99 - 5.98 % และ 0.79 - 18.14 % ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของ Sil/Clay, Sand และ Gravel ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 2.50 % , 67.41 % และ 30.08 % ตามลำดับ และ 5.15 % , 90.15 % และ 28.91 % ตามลำดับ ลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น Sand ทั้ง 2 ฤดู

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 5.42 - 18.02 % น้ำหนักแห้งและ 3.68 - 7.35 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 9.54 ± 4.96 % น้ำหนักแห้ง และ 5.68 ± 1.86 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนที่เก็บในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

สถานีมาบตาพุด (บริเวณโรงงาน TPI)

จากภาพประกอบที่ 15 พบว่าปริมาณสารปรอทที่พบในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน ซึ่งค่าต่ำสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 10.28 ng/g ที่ความลึก 10 เซนติเมตร และ 4.80 ng/g ที่ผิวหน้า (ลึก 1 เซนติเมตร) ตามลำดับ และค่าสูงสุดที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าเท่ากับ



ภาพประกอบ 14 แสดง Profile ปริมาณสารปรอทในดินตะกอน, เปอร์เซนต์ Silt/Clay, เปอร์เซนต์ Organic Carbon และอายุดินตะกอน (Estimated year) ของสถานีศึกษา

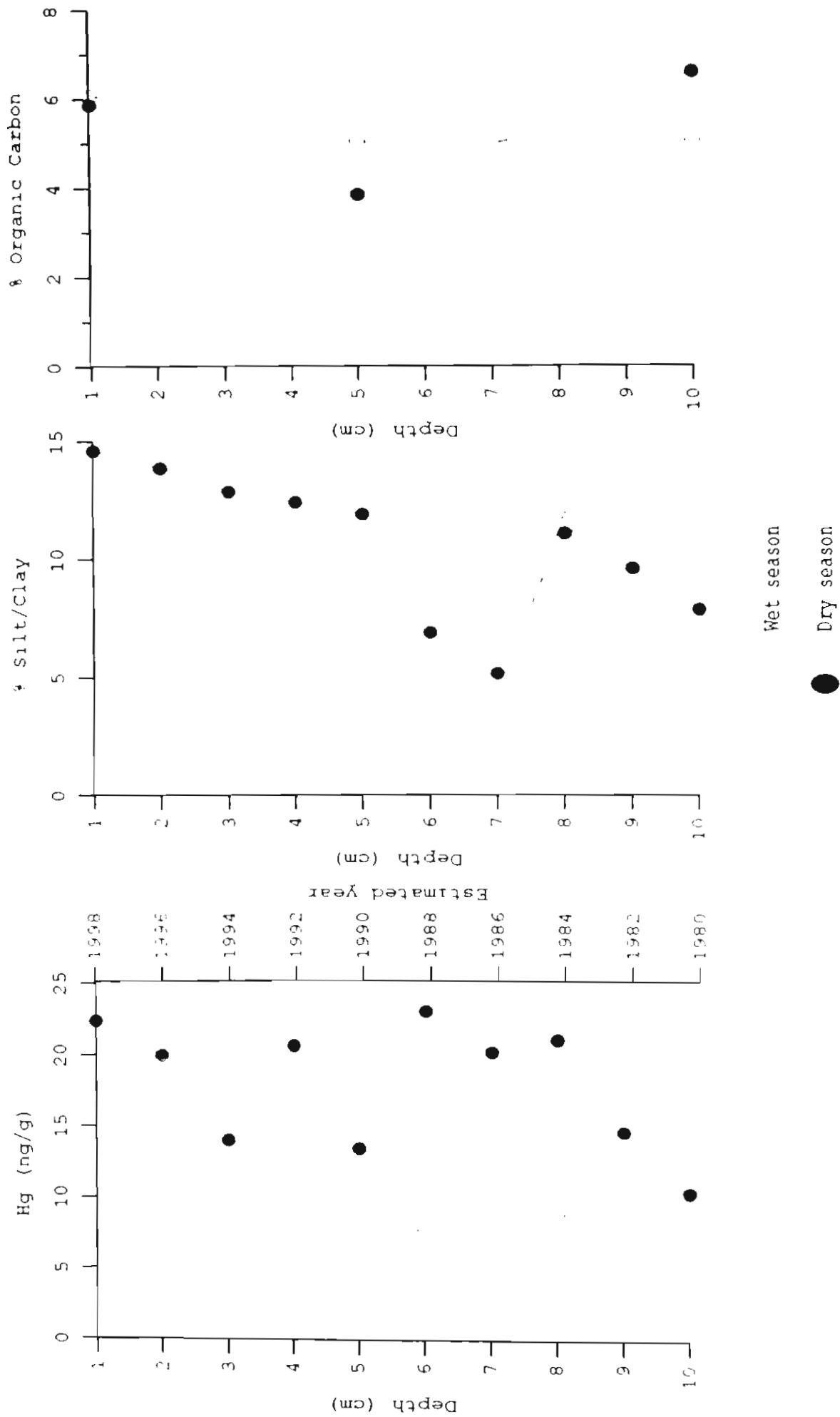


Figure 15. Depth profile of mercury concentration, silt/clay, and organic carbon in the sediment (Estimated year)

Figure 15. Depth profile of mercury concentration, silt/clay, and organic carbon in the sediment (Estimated year)

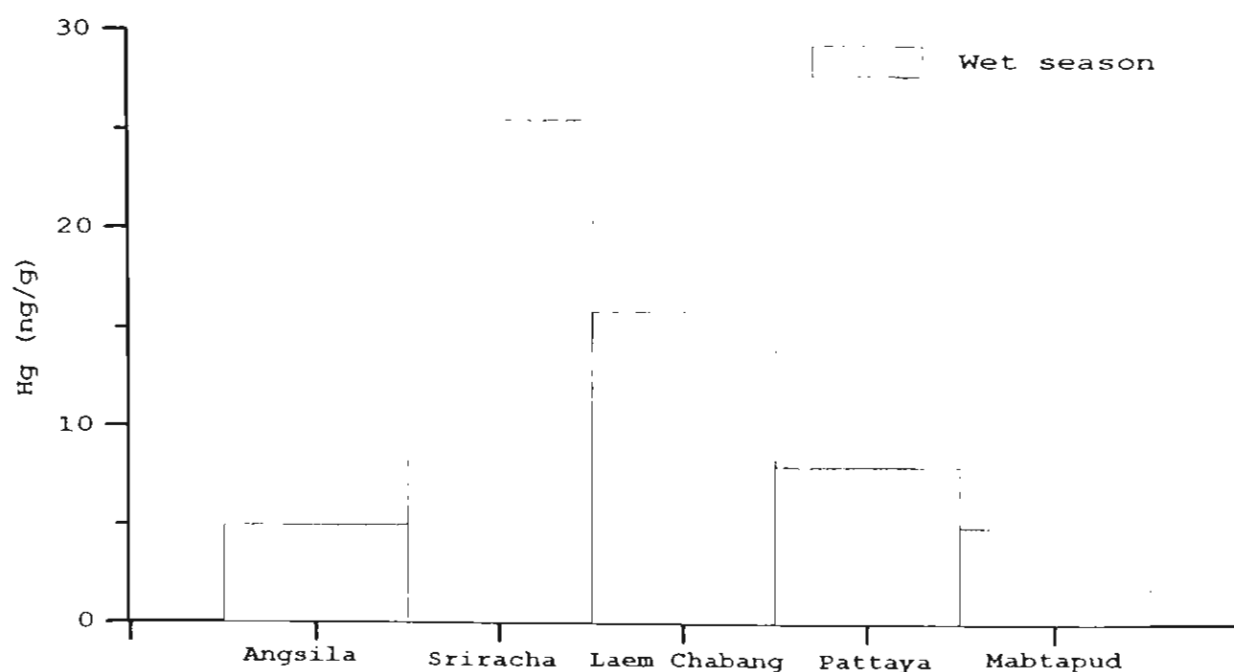
22.98 ng/g ที่ความลึก 6 เซนติเมตร และ 10.75 ng/g ที่ความลึก 10 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 17.60 ± 4.39 ng/g และ 7.03 ± 1.89 ng/g ตามลำดับ

ลักษณะตะกอนเป็นโคลนปนทรายสีน้ำตาลเทาเปอร์เซ็นต์ Silty/Clay ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 3.84 - 6.53 % และ 0.67 - 12.01 % ตามลำดับ ลักษณะดินตะกอนในฤดูแล้งจะเป็น Silty/Clay ส่วนในฤดูฝนจะเป็น Sand ซึ่งค่าเฉลี่ยของ Silty/Clay, Sand และ Gravel ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 65.22 % , 34.80 % และ 0.03 % ตามลำดับ และ 3.33 % , 54.81 % และ 40.22 % ตามลำดับ

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 3.84 - 6.53 % น้ำหนักแห้ง และ 5.00 - 6.07 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 5.41 ± 1.40 % น้ำหนักแห้ง และ 5.36 ± 0.61 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนที่เก็บในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนเล็กน้อย

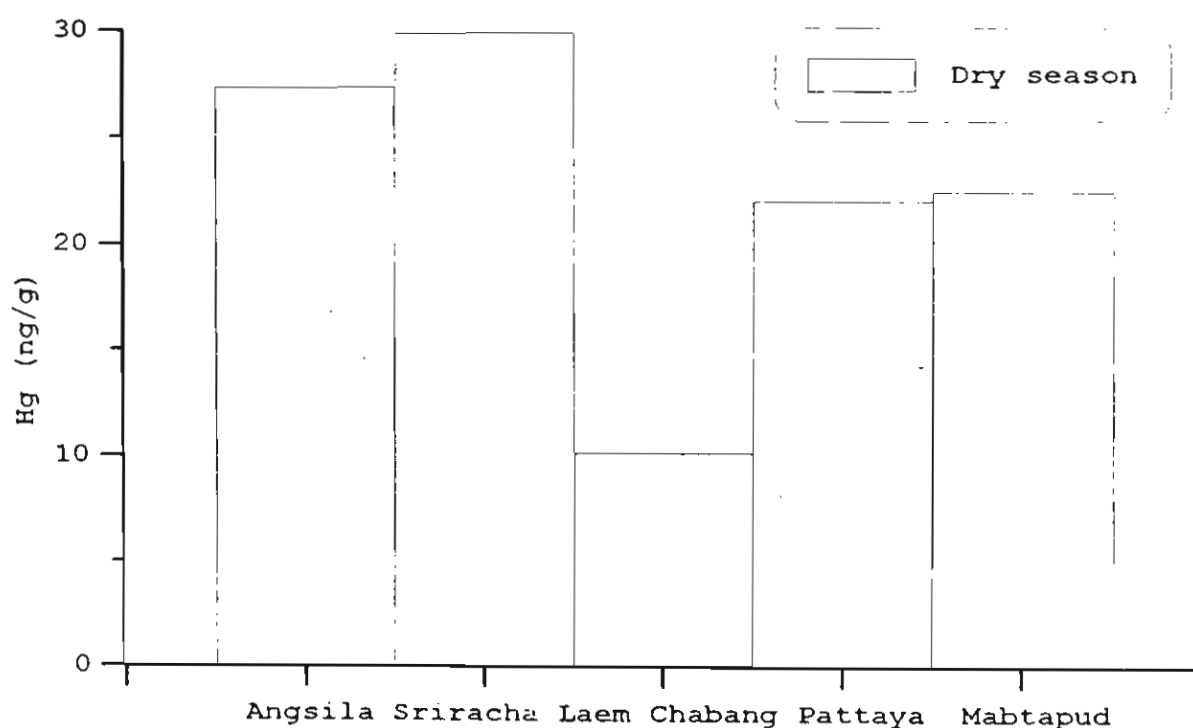
การแพร่กระจายของสารปรอทตามแนวนอน (Horizontal Distribution)

การแพร่กระจายของสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้า (ลึก 0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานี แยกตามฤดูกาล แสดงถึงภาพประกอบที่ 16 และ 17



ภาพประกอบ 16 แสดงการแพร่กระจายของสารปรอทบริเวณผิวหน้า (ลึก 0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานี ของฤดูฝน

จากภาพประกอบที่ 16 การแพร่กระจายของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้าในฤดูฝน พบว่า สถานีศรีราชา มีปริมาณสารปรอทที่ผิวหน้าสูงที่สุดถึง 25.29 ng/g รองลงมาคือ สถานี แหลมฉบัง, พัทยา, อ่างศิลา และ มาบตาพุด ซึ่งมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนที่ผิวหน้าเท่ากับ 15.65 ng/g, 7.87 ng/g, 4.88 ng/g และ 4.80 ng/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามีการใช้สารปรอทมากที่สุดที่สถานีศรีราชาซึ่งบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นบริเวณชุมชนที่อยู่อาศัย และลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น Silt/Clay ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงถึง 26.92 % น้ำหนักแห้ง ส่วนสถานีแหลมฉบัง, พัทยา, อ่างศิลา และ มาบตาพุด ลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น Sand ที่มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ผิวหน้า 10.08, 3.68, 9.01 และ 6.07 % น้ำหนักแห้งตามลำดับ



ภาพประกอบ 17 แสดงการแพร่กระจายของสารปรอทบริเวณผิวหน้า (ลึก 0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีของฤดูแล้ง

การแพร่กระจายของสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้าในฤดูแล้ง พบว่าสถานีศรีราชา มีปริมาณสารปรอทสูงที่สุดคือ 29.84 ng/g และสูงกว่าในฤดูฝน และสถานีแหลมฉบังมีปริมาณสารปรอทที่ผิวหน้าต่ำที่สุดคือ 9.99 ng/g ส่วนสถานีอ่างศิลา, มาบตาพุด และ พัทยา มีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนที่ผิวหน้าเท่ากับ 27.29 ng/g, 22.34 ng/g และ 21.91 ng/g ตามลำดับ (ภาพ

ประกอบ 17) ซึ่งทุกสถานีมีปริมาณสารปรอทที่ผิวหน้าสูงกว่าในฤดูฝน ลักษณะดินตะกอนที่สถานีศรีราชาและอ่างศิลาส่วนใหญ่จะเป็น Silty/Clay และสถานีมาบตาพุด, พัทยา และ แหลมฉบัง ลักษณะดินตะกอนส่วนใหญ่จะเป็น Sand สำหรับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์บริเวณผิวหน้าของสถานีศรีราชา, อ่างศิลา, มาบตาพุด, พัทยา และแหลมฉบัง มีค่าเท่ากับ 30.97, 22.80, 5.85, 8.12 และ 10.82 % น้ำหนักแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบ 2 ฤดู พบว่า ในฤดูแล้งมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้าสูงกว่าในฤดูฝน ยกเว้นสถานีแหลมฉบังที่มีปริมาณสารปรอทในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง เนื่องจากในฤดูฝนมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าในฤดูแล้ง

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.1 วิเคราะห์ปริมาณสารปรอทตามความลึก โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ทดสอบทางเดียว (Oneway ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสารปรอทตามระดับความลึกในแต่ละสถานีแยกตามฤดูกาล ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 7

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสารปรอทในดินตะกอนตามความลึกในแต่ละสถานี

Station	d.f.	MS Effect	MS Error	F-ratio	P-level
Wet Season					
Angsila	9.20	26.436	22.208	1.190	0.353 ^{NS}
Sriracha	9.20	32.834	43.958	0.747	0.664 ^{NS}
Laem Chabang	9.20	17.506	20.282	0.863	0.571 ^{NS}
Pattaya	9.20	10.312	19.426	0.531	0.835 ^{NS}
Mabtapud	9.20	10.737	9.014	1.191	0.353 ^{NS}
Dry season					
Angsila	9.20	154.114	97.435	1.582	0.188 ^{NS}
Sriracha	9.20	23.247	66.814	0.348	0.947 ^{NS}
Laem Chabang	9.20	93.900	137.368	0.684	0.715 ^{NS}
Pattaya	9.20	119.034	100.493	1.185	0.356 ^{NS}
Mabtapud	9.20	57.912	112.972	0.513	0.848 ^{NS}

หมายเหตุ NS หมายถึง ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า $P < 0.05$ ในทุกสถานีจึงสรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือปริมาณของสารปรอทในดินตะกอนในแต่ละระดับความลึกไม่มีความแตกต่างกันในทุกสถานี จึงไม่นำส่วนของความลึกมาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทต่อฤดูกาลและสถานีในทางสถิติ

วิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนต่อฤดูกาลและสถานีทางสถิติ

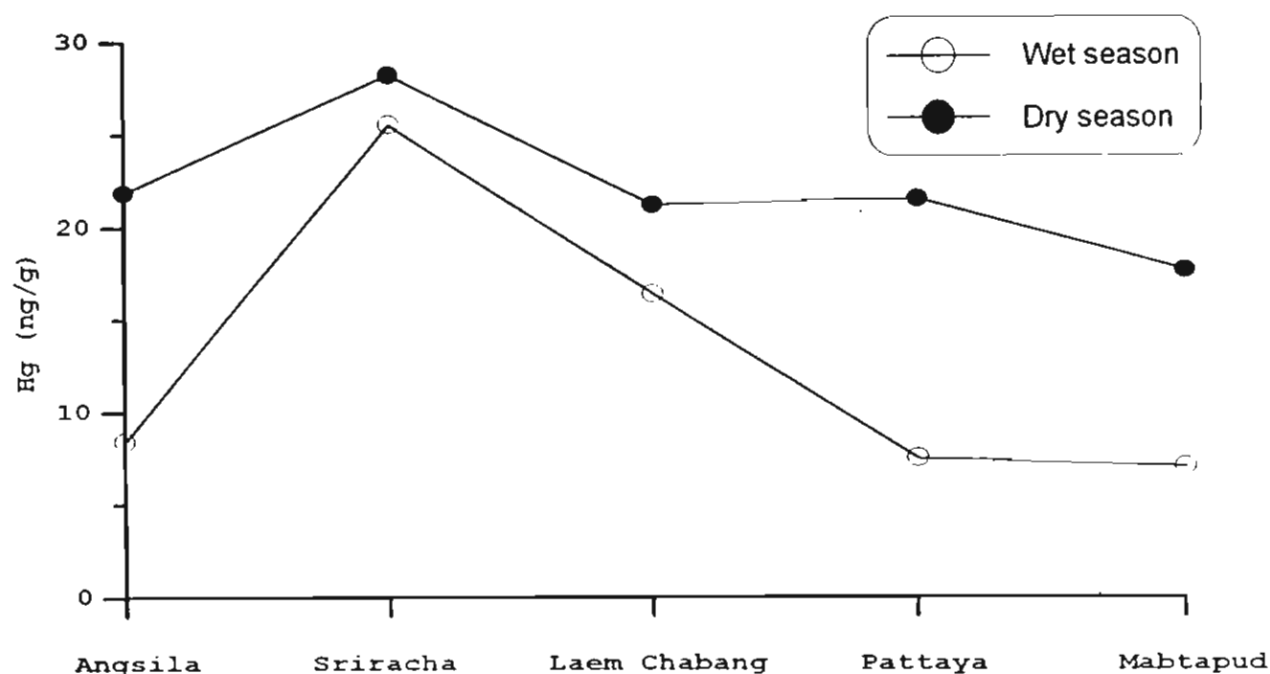
ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนต่อฤดูกาลและสถานีโดยใช้ ANOVA ทดสอบ 2 ปัจจัยแบบ All Fixed Factors ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนจาก 5 สถานี ใน 2 ฤดู

Source of Variance	d.f.	Sum of Squares	Mean Square	F-ratio	F-Table
Season	1	2181.810	2181.810	115.353	3.94
Station	4	2689.170	672.292	35.544	2.46
Season*Station	4	553.345	318.336	7.314*	2.46
Residual	100	1891.420	18.914		
Total	109	7226.676	66.300		

หมายเหตุ * หมายถึง แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 8) ปรากฏว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและสถานี แสดงให้เห็นว่าปริมาณปรอทของแต่ละสถานีในฤดูแล้งแปรผันต่างจากในฤดูฝน เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานีในทั้ง 2 ฤดู ดังภาพประกอบที่ 18 พบว่าปริมาณสารปรอทในฤดูฝนมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามมี 2 สถานีที่ปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันคือ ศรีราชาและแหลมฉบัง



ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของสารปรอทในแต่ละสถานีตามฤดูกาล

2.3 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสารปรอททั้ง 2 ฤดู โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามความลึกของปริมาณสารปรอทตามความลึกระหว่างสถานี ในแต่ละฤดู ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 19

ฤดูฝน

ค่าเฉลี่ย	7.03	7.51	8.43	16.40	25.53
สถานี	มาบตาพุด	พัทลุง	อ่างศิลา	แหลมฉบัง	ศรีราชา

ฤดูแล้ง

ค่าเฉลี่ย	17.60	21.18	21.49	21.88	28.18
สถานี	มาบตาพุด	แหลมฉบัง	พัทลุง	อ่างศิลา	ศรีราชา

หมายเหตุ เส้นได้แสดงกลุ่มที่เหมือนกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ภาพประกอบ 19 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสถานี ในแต่ละฤดู

จากภาพประกอบที่ 19 พบว่าในฤดูฝนปริมาณสารปรอทของสถานีศรีราชาแตกต่างจากสถานีแหลมฉบัง และแตกต่างจากกลุ่มของสถานีมาบตาพุด พัททยา และ อ่างศิลาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฤดูแล้งพบว่าปริมาณสารปรอทในสถานีศรีราชาแตกต่างจากกลุ่มของสถานีมาบตาพุด แหลมฉบัง พัททยา และ อ่างศิลา อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยที่สถานีศรีราชาจะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทสูงที่สุดและแตกต่างจากสถานีอื่นทั้ง 2 ฤดู และสถานีมาบตาพุด พัททยา และ อ่างศิลามีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทใกล้เคียงกันทั้ง 2 ฤดู สรุปได้ว่าปริมาณสารปรอทในสถานีศรีราชามีค่าสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก 4 สถานีที่เหลือ แต่ในฤดูฝนสถานีศรีราชาและแหลมฉบัง จะมีปริมาณสารปรอทสูงกว่า 3 สถานีที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ

2.4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างฤดูในแต่ละสถานี

จากผลการทดลองข้อ 2.2 (ตารางที่ 8) พบว่าสถานีและฤดูกาลมีปฏิสัมพันธ์กันในทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทในดินตะกอนต่อสถานีและฤดูกาลได้ แต่เมื่อได้ทดลองทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสารปรอทระหว่างฤดูในแต่ละสถานีโดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test (DMRT) เปรียบเทียบ 2 ตัวอย่าง ที่มีความแปรปรวนเท่ากัน สามารถสรุปผลจากการทดสอบด้วย DMRT ได้ดังนี้

1. สถานีอ่างศิลา เมื่อทดลองทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสถานีอ่างศิลาระหว่าง 2 ฤดู พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอททั้ง 2 ฤดูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) โดยที่ค่าเฉลี่ยของสารปรอทตามความลึกในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 21.88 ng/g ซึ่งสูงกว่าในฤดูฝนที่มีค่าเฉลี่ย 8.43 ng/g

2. สถานีศรีราชา พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนทั้ง 2 ฤดูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$) ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนในฤดูแล้งและในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 28.18 ng/g และ 25.53 ng/g ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

3. สถานีแหลมฉบัง จากการทดลองเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในดินตะกอนระหว่าง 2 ฤดู พบว่าปริมาณสารปรอทในฤดูแล้งซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.18 ng/g มีค่าสูงกว่าในฤดูฝนซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.40 ng/g แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$)

4. สถานีพัทธา พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทตามความลึกในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในฤดูแล้งและในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 21.49 ng/g และ 7.51 ng/g ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าทั้ง 2 ฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

5. สถานีมาบตาพุด จากการทดสอบความแตกต่างของสารปรอทระหว่าง 2 ฤดูทางสถิติพบว่า ปริมาณสารปรอทเฉลี่ยตามความลึกระหว่าง 2 ฤดู แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$) และค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 17.60 ng/g ซึ่งสูงกว่าในฤดูฝนที่มีปริมาณสารปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 7.03 ng/g

สรุปได้ว่าปริมาณสารปรอทในฤดูแล้งมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูฝนในทุกสถานี อย่างไรก็ตามมี 2 สถานีที่ปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดูคือสถานีสรีราชาและแหลมฉบัง

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

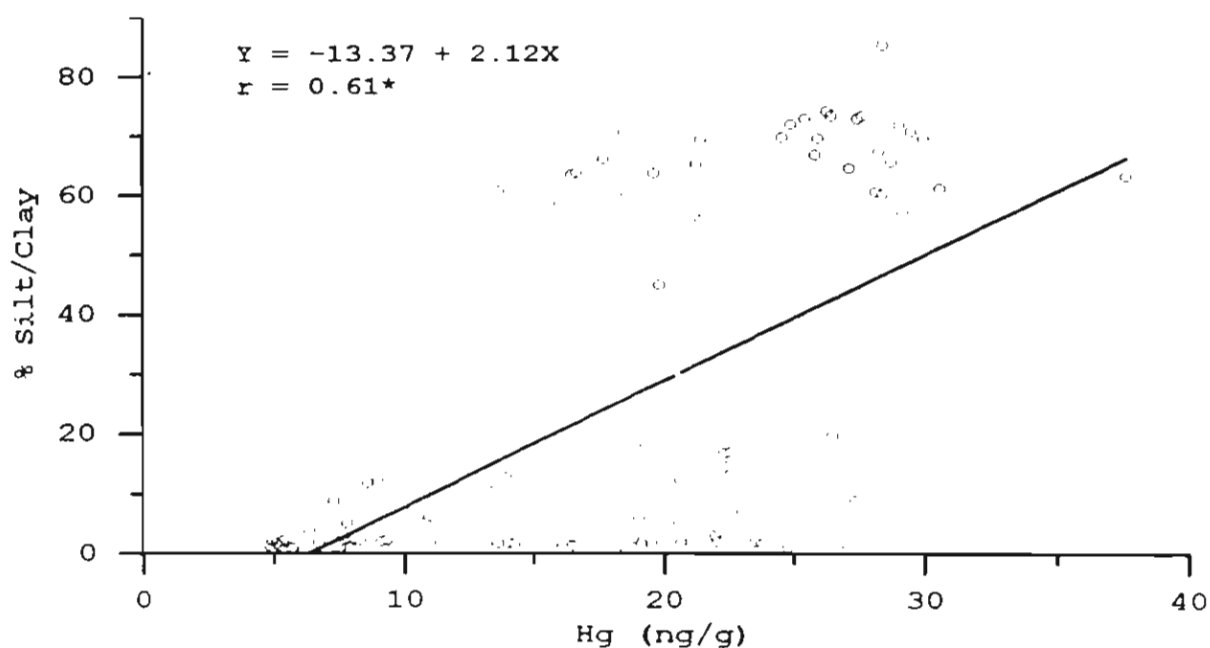
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธี Pearson Correlation ระหว่างปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซนต์ Silt/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์พบว่าทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันแบบ Positive relation อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 10 นั่นคือปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของ Silt/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน และปริมาณ Silt/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อกัน

ตาราง 9 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซนต์ Silt/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

	เปอร์เซนต์Silt/Clay	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์	ปริมาณสารปรอท
เปอร์เซนต์ Silt/Clay	1.000		
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์	0.866**	1.000	
ปริมาณสารปรอท	0.625**	0.724**	1.000

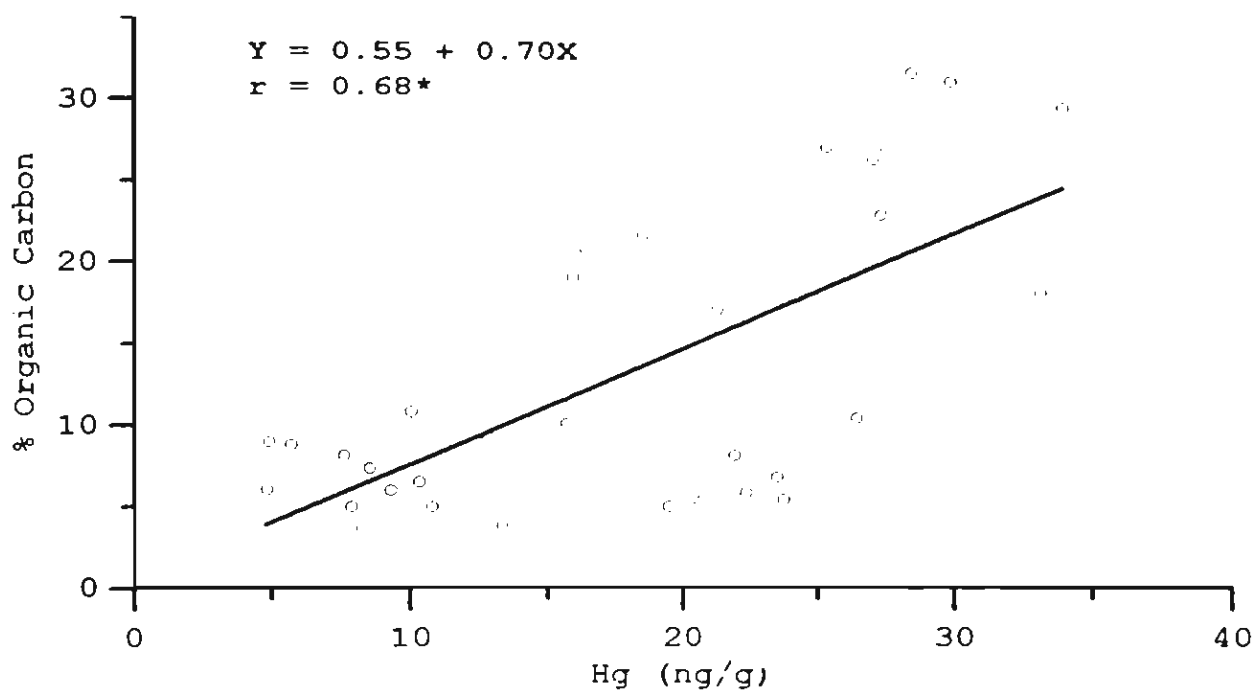
หมายเหตุ ** หมายถึง มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซ็นต์ Silt/Clay, ปริมาณสารปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และ เปอร์เซ็นต์ Silt/Clay กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ โดยใช้สมการเส้นตรงรีเกรสชัน (Linear regression) ซึ่งผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 20, 21 และ 22



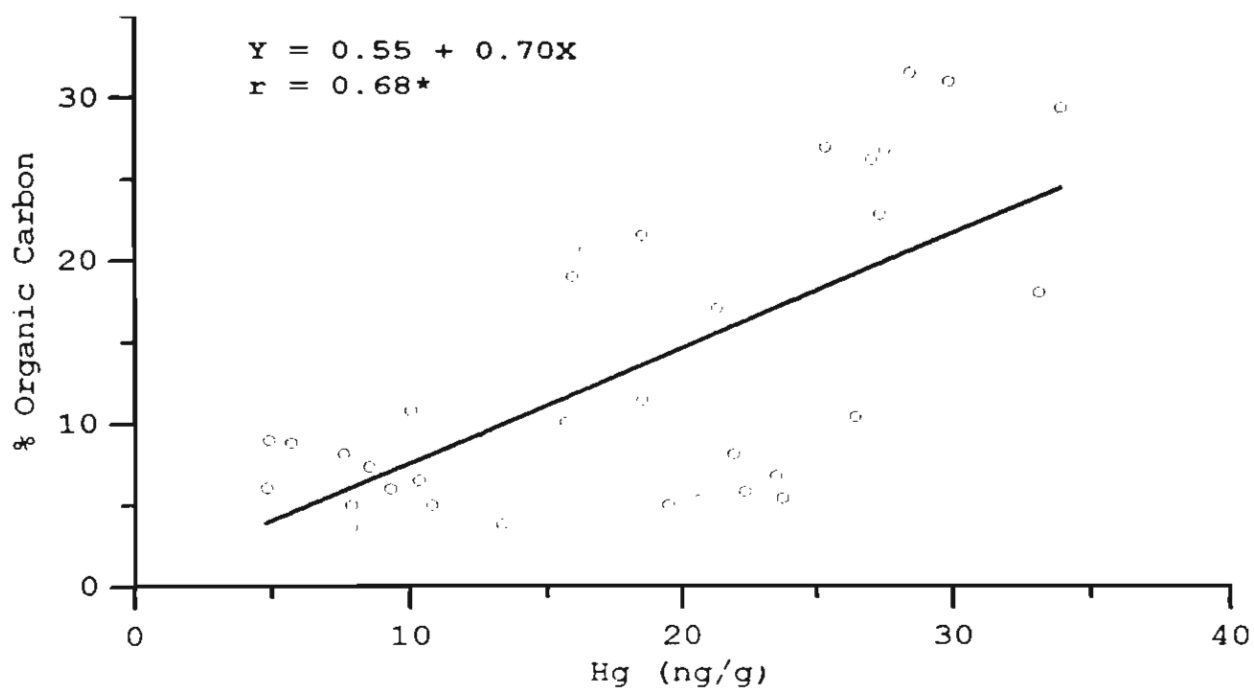
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซ็นต์ Silt/Clay

จากภาพประกอบที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซ็นต์ Silt/Clay ทั้ง 2 กลุ่ม สมการเส้นตรงที่ได้คือ $Y = -13.37 + 2.12X$ และค่า $r = 0.61$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงบวก



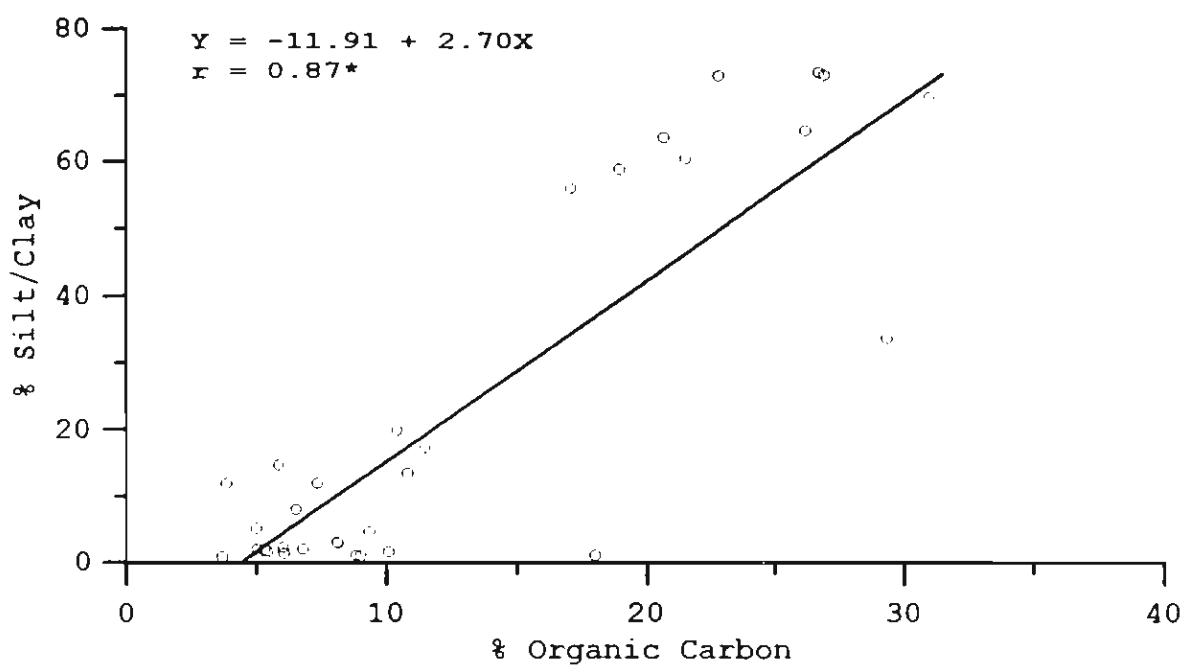
ภาพประกอบที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารปรอทและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกโดยมีค่า $r = 0.68$ และสมการเส้นตรงเป็น $Y = 0.55 + 0.70X$



ภาพประกอบที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารปรอทและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกโดยมีค่า $r = 0.68$ และสมการเส้นตรงเป็น $Y = 0.55 + 0.70X$



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ Silt/Clay กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

จากภาพประกอบที่ 22 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ Silt/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก โดยที่ค่า $r = 0.87$ และสมการเส้นตรงเป็น $Y = -11.91 + 2.70X$

1.1.5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาปริมาณสารปรอทในดินตะกอนตามความลึกโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทในแต่ละสถานีและฤดู พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทรวมตามความลึกของสถานีอ่างศิลา, ศรีราชา, แหลมฉบัง, พัทยา และ ฆาบาตาพุดในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 21.88 ± 7.17 ng/g, 28.18 ± 2.77 ng/g, 21.18 ± 5.59 ng/g, 21.49 ± 6.30 ng/g และ 17.60 ± 4.39 ng/g ตามลำดับ และในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 8.43 ± 2.97 ng/g, 25.53 ± 3.31 ng/g, 16.40 ± 2.34 ng/g, 7.51 ± 1.85 ng/g และ 7.03 ± 1.89 ng/g ตามลำดับ

1. ปริมาณสารปรอทตามความลึก จากการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณสารปรอทตามความลึกไม่มีความแตกต่างกันในทุกระดับความลึก

2. ปริมาณสารปรอทต่อสถานีและฤดูกาล พบว่าสถานีและฤดูกาลมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันในทางสถิติ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารปรอทในแต่ละสถานีไม่เหมือนกันในแต่ละฤดูกาล

2.1 ปริมาณสารปรอทแต่ละสถานี จากการทดสอบทางสถิติพบว่าในฤดูฝนค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทของสถานีศรีราชาแตกต่างจากสถานีแหลมฉบัง และ ทั้ง 2 สถานียังแตกต่างจากกลุ่มของสถานีฆาบาตาพุด พัทยาและ อ่างศิลา ส่วนในฤดูแล้งพบว่าสถานีศรีราชามีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทสูงที่สุดและแตกต่างจากสถานีฆาบาตาพุด แหลมฉบัง พัทยา และ อ่างศิลาในทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าที่สถานีศรีราชามีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทสูงที่สุดทั้ง 2 ฤดู และสถานีฆาบาตาพุดมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทต่ำที่สุดทั้ง 2 ฤดู

2.2 ปริมาณสารปรอทแต่ละฤดู เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารปรอทแต่ละสถานีใน 2 ฤดู โดยวิธี DMRT พบว่าทุกสถานีมีปริมาณสารปรอทในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน อย่างไรก็ตามมี 2 สถานีที่ปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 ฤดูคือสถานีศรีราชาและแหลมฉบัง

3. ปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับเปอร์เซ็นต์ Sil/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ เมื่อสถานีใดมีเปอร์เซ็นต์ Sil/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงก็จะมีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนสูงเช่นกัน เนื่องจากสถานีศรีราชามีเปอร์เซ็นต์ Sil/Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าสถานีอื่นจึงทำให้สถานีศรีราชามีปริมาณสารปรอทในดินตะกอนสูงกว่าสถานีอื่นเช่นกัน และสมการเส้นตรงระหว่างปริมาณสารปรอทกับเปอร์เซ็นต์ Sil/Clay เป็น $Y = -13.37 + 2.12X$ ส่วนสมการเส้นตรงระหว่างปริมาณสารปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เป็น $Y = 0.55 + 0.70X$ และสมการเส้นตรงระหว่าง