



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณปรอทในชั้นดินตะกอนบริเวณกลางอ่าวไทย และชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร Temporal distribution of mercury in sediment core in the central Gulf of Thailand and the Coast of Prachuap Khiri Khan and Chumphon	
ชื่อนิสิต	นางสาวชนากานต์ สุพรรณทอง	เลขประจำตัว 5832807623
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล	
ปีการศึกษา	2561	

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณปรอทในชั้นดินตะกอนบริเวณกลางอ่าวไทย
และชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร

ชนากานต์ สุพรรณทอง
5832807623

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

Temporal distribution of mercury in sediment core in the central Gulf of Thailand and
the Coast of Prachuap Khiri Khan and Chumphon

Chanakarn Suphanthong

5832807623

A Senior Project in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science in Marine Science
Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ	การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณปรอทในชั้นดินตะกอนบริเวณ กลางอ่าวไทยและชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร
โดย	นางสาวชนากานต์ สุพรรณทอง
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุจारी บุรีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับ
โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต ในรายวิชา 2309499
โครงการวิทยาศาสตร์



.....หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วียากาญจน์)

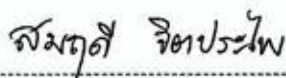
คณะกรรมการสอบโครงการ



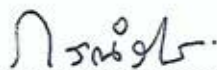
.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุจारी บุรีกุล)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมฤดี จิตประไพ)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรณ์รวี เอี่ยมสมบูรณ์)

Project Title	Temporal distribution of mercury in sediment core in the central Gulf of Thailand and the coast of Prachuap Khiri Khan and Chumphon
By	Miss Chanakarn Suphanthong
Field of Study	Marine Science
Project Advisor	Sujaree Bureekul, Ph. D.
Project Co-advisor	Asst. Prof. Penjai Sompongchaiyakul, Ph. D.

Accepted by the Department of Marine Science, Faculty of Science,
Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Bachelor's
Degree.



..... Head of Marine Science Department
(Assoc. Prof. Voranop Viyakarn, Ph. D.)

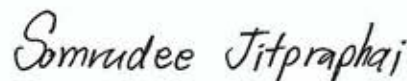
PROJECT COMMITTEE



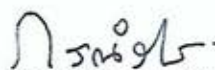
..... Project Advisor
(Sujaree Bureekul, Ph. D.)



..... Project Co-advisor
(Asst. Prof. Penjai Sompongchaiyakul, Ph. D.)



..... Member
(Asst. Prof. Somrudee Jitpraphai, Ph. D.)



..... Member
(Asst. Prof. Kornrawee Aiemsomboon, Ph. D.)

ชื่อโครงการ	การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณปรอทในชั้นดินตะกอนบริเวณ กลางอ่าวไทยและชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร
ชื่อนิสิต	นางสาวชนากานต์ สุพรรณทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สุจารี บุรีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
ปีการศึกษา	2561
ภาควิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

เก็บแท่งดินตะกอนจากอ่าวไทย 4 สถานี ประกอบด้วยตัวอย่างจากพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง 2 สถานี และจากกลางอ่าว 2 สถานี เพื่อวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมตามระดับความลึก เก็บตัวอย่างภายใต้โครงการ “The Collaborative Research Survey on Marine Fisheries Resources and Marine Environment in the Gulf of Thailand” โดย เรือสำรวจ SEAFDEC-2 ในช่วง 16 สิงหาคม ถึง 11 ตุลาคม 2561 นำดินตะกอนภายในแท่งจากแต่ละชั้นความลึกมาทำให้แห้งแบบเยือกแข็งและบดให้เป็นเนื้อเดียวย่อยสกัดด้วยสารละลายอควารีเจียที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ปรอทอินทรีย์ในสารละลายจะถูกออกซิไดซ์ และก่อนทำการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันแบบไอเย็น ปรอททุกรูปในสารละลายจะถูกเปลี่ยนเป็นไอปรอท จากนั้นไอปรอทจะถูกพาเข้าสู่เครื่อง Perkin Elmer FIMS-400 Flow – Injection Mercury ด้วยก๊าซอาร์กอน ผลการศึกษาพบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 7.8 ถึง 23.0 สถานี 29 มีคาร์บอเนตสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 3 แท่ง และค่าปริมาณปรอทรวมหลังปรับฐานด้วยคาร์บอเนตมีค่าอยู่ในช่วง 18.6 ถึง 37.9 ng/g dw จากการศึกษาวิเคราะห์ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของปรอท บ่งชี้ว่าตัวอย่างดินตะกอนจากอ่าวไทยยังไม่อยู่ในภาวะปนเปื้อนจากปรอท อย่างไรก็ตาม ในชั้นตะกอนแต่ละชั้นของแท่งตะกอนเดียวกัน ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในดินตะกอน กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และกับปริมาณขนาดอนุภาคดินเหนียว ดังนั้นอาจบ่งบอกว่าปรอทที่ปนเปื้อนเข้ามานั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์

คำสำคัญ: ปริมาณปรอทรวม, เทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันแบบไอเย็น, ดัชนีการสะสมเชิงธรณี

Project Title	Temporal distribution of mercury in sediment core in the central Gulf of Thailand and the coast of Prachuap Khiri Khan and Chumphon
Name	Miss Chanakarn Suphanthong
Advisor	Sujaree Bureekul, Ph.D.
Co-advisor	Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.
Academic Year	2018
Department	Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

Four sediment cores from the Gulf of Thailand, 2 cores near the coast and 2 cores in the middle of the gulf, have been analyzed for total mercury (T-Hg). The core samples were collected during 16 August to 11 October 2018 by M.V. SEAFDEC-2, under the project entitled “The Collaborative Research Survey on Marine Fisheries Resources and Marine Environment in the Gulf of Thailand”. Sediments from different depth of the cores were freeze-dried and homogenized. Then, digested by aqua regia at 95°C. Organic mercury in the solution was oxidized to inorganic mercury. Immediately prior to determine mercury concentration by cold vapor atomic absorption spectroscopy, all forms of mercury in the solution were changed to elemental mercury, Hg^0 . The vapor of Hg^0 was brought into Perkin Elmer FIMS-400 Flow-Injection Mercury Analyzer using argon as a carrier gas. The result revealed that calcium carbonate contents in sediments varied from 7.84% to 23.01%. Highest carbonate content comparing to the other three cores was the core from station 29. Total mercury (T-Hg) concentration ranged from 18.6 to 37.9 ng/g dry weight (carbonate free basis). According to geoaccumulation index (I_{geo}), T-Hg enrichment in the sediment samples from the Gulf of Thailand was in uncontaminated status. The correlation of T-Hg accumulation in the sediment and the percentage of clay size particles and the percentage of organic carbon accumulation therein were unclear in the same core. As such it should imply that T-Hg in the sediment might be contaminated from anthropogenic activities.

Keywords: total mercury, cold vapor atomic absorption spectroscopy, geoaccumulation index

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สุจารี บุรีกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการทำการทดลอง และตรวจสอบแก้ไขโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ Southeast Asia Fisheries Development Center (SEAFDEC) ที่เอื้อเพื่อการเก็บตัวอย่างในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณธนกร อุบลแย้ม ที่คอยช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่าง การทดลองและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงการช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึง ขอขอบคุณ คุณปรีชา เสนสิทธิ์ ที่คอยช่วยเหลือในอุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำการทดลองและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ น้อง ภายในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ที่คอยช่วยเหลือในการทำการทดลองและเป็นกำลังใจในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้
อย่างดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พรอท.....	3
2.1.1 รูปแบบพรอทที่พบในสิ่งแวดล้อม.....	3
2.1.2 การแพร่กระจายของพรอทในสิ่งแวดล้อม.....	4
2.1.3 การเข้าสู่ร่างกายและพิษของพรอท.....	5
2.2 ดินตะกอน.....	5
2.2.1 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพรอทในดินตะกอน.....	6
2.3 พื้นที่ศึกษา.....	6
2.4 ปริมาณของพรอทในดินตะกอนในประเทศไทยและต่างประเทศ.....	8
2.4.1 ปริมาณพรอทในดินตะกอนอ่าวไทย.....	8
2.4.2 ปริมาณพรอทในดินตะกอนในต่างประเทศ.....	9
2.4.3 เกณฑ์คุณภาพดินตะกอนในแต่ละประเทศ (Sediment Quality Guidelines).....	9
2.4.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I _{geo}).....	10
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	11
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	11
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	12
3.3 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณพรอท.....	13
3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	13
3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	13
3.4.2 วิเคราะห์ปริมาณพรอท.....	14

3.4.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายปรอท.....	14
3.4.4 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนต.....	15
3.5 วิธีการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	16
3.5.1 การปนเปื้อน หรือสูญเสีย.....	16
3.5.2 ความแม่นยำ.....	16
3.5.3 ความถูกต้อง.....	16
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	16
3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....	16
3.6.2 การวิเคราะห์ความรุนแรงของการปนเปื้อนของปรอท.....	16
บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล.....	17
4.1 แคลเซียมคาร์บอเนตในดินตะกอน.....	17
4.2 ปริมาณปรอทในดินตะกอนแต่ละชั้นความลึก.....	18
4.2.1 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยใช้สารอ้างอิง.....	18
4.2.2 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ซ้ำ.....	19
4.2.3 ผลวิเคราะห์ปรอทในดินตะกอน.....	19
4.3 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Igeo index).....	22
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของปรอท.....	22
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์กับความเข้มข้นของปรอท.....	22
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับความเข้มข้นของปรอท.....	23
บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	24
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	24
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	25
เอกสารอ้างอิง.....	26
ภาคผนวก.....	29

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรปรอทในธรรมชาติ.....	3
2.2 แผนที่แปลงสัมปทานปิโตรเลียมในประเทศไทย.....	7
3.1 พื้นที่บริเวณที่วิเคราะห์ข้อมูล.....	11
3.2 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดินตะกอนแบบ Box corer.....	12
3.3 การเก็บตัวอย่างชั้นดินตะกอนจากแท่งดินตะกอน (ก) การตัดแบ่งโดยใช้แผ่นพลาสติกปิด ตัดชั้นดินตะกอนที่ความหนาที่ต้องการ และ (ข) ชั้นตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างจาก แท่งดินตะกอน	12
3.4 เครื่อง Freeze drier ยี่ห้อ Heto รุ่น LyoPro6000 และ การ freeze-dry ตัวอย่าง.....	13
3.5 (ก) การเพิ่มสารละลาย BrCl (ข) การวัดปริมาณปรอท ด้วยเครื่อง Flow – Injection Mercury Analyzer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS 400.....	14
3.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry.....	15
4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแคลเซียมคาร์บอเนตในแท่งดินตะกอนสถานี 14, 22, 29 และ 35..	18
4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปรอทในแท่งดินตะกอนสถานี 14, 22, 29 และ 35.....	20
4.3 ความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอนตามความลึกในสถานี 14, 22, 29 และ 35.....	21
4.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีปริมาณปรอทในสถานีทั้งหมด.....	22
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ และ ปริมาณปรอทในดินตะกอนจากอ่าวไทย.....	23
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคดินเหนียวกับความเข้มข้นของปรอท.....	23

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณปรอทภายในดินตะกอนในพื้นที่ประเทศไทย.....	8
2.2 เกณฑ์ค่ามาตรฐานของปรอทในดินตะกอน (นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง).....	9
2.3 ระดับการบ่งชี้ความรุนแรงตามค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index: I_{geo}).....	10
2.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo} index) ภายในประเทศไทย.....	10
4.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเฉลี่ยในแต่ละชั้นของแท่งดินตะกอนแต่ละสถานี.....	17
4.2 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนมาตรฐาน MESS-3 และ PACS-2 เปรียบเทียบกับ ค่าที่รับรอง.....	18
4.3 ปริมาณปรอทเฉลี่ยในแท่งดินตะกอนหลังปรับฐานด้วยคาร์บอเนตภายในแต่ละสถานี.....	20
ผ.1 ตารางแสดงพิกัดสถานีที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน.....	30

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการศึกษา

ปรอทเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง ในบรรยากาศมีทั้งที่อยู่ในรูปไอโลหะ (Hg^0) แคตไอออน (Hg^{2+}) และรวมอยู่กับอนุภาคในบรรยากาศ (Hg^0) (Schroeder et al., 1991) เมื่อปรอทตกตะกอนแบบเปียก หรือ แบบแห้ง (wet and dry deposition) ลงสู่แหล่งน้ำ ปรอทสามารถละลายอยู่ในรูปสารประกอบ และ/หรือถูกดูดซับกับอนุภาคแขวนลอยและตกตะกอนได้ ในแหล่งน้ำที่มีออกซิเจน ปรอทละลายจะพบอยู่ในรูปสารประกอบ Mercury (II) hydroxide (ในน้ำจืด) และ สารประกอบ Mercury (II) chloride (ในน้ำทะเล) โดยปกติสารปรอทจะถูกกำจัดออกจากมวลน้ำโดยการดูดซับกับสารอินทรีย์ อนุภาคคอลลอยด์ iron (manganese) hydroxyl-oxide และแร่ดินเหนียว ซึ่งเกิดกระบวนการตะกอน (deposition) ในที่สุด อย่างไรก็ตามสารปรอทในรูป Mercury (II) hydroxide และ Mercury (II) chloride สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เป็นพิษ คือ รูป Methylmercury ด้วยกระบวนการ Biomethylation โดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria (Skei, 1978) ได้โดยมีปัจจัยทางธรณีชีวเคมีของสภาพแวดล้อม เช่น ออกซิเจน pH และ ไอออนซัลไฟด์ เป็นปัจจัยสนับสนุน (Magos, 1990)

แหล่งกำเนิดของปรอทที่ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อม มีทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ปรอทที่ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นอากาศ ดิน หรือแหล่งน้ำ ท้ายที่สุดแล้วจะไปสะสมอยู่กับดินตะกอน เนื่องจากปรอทมีคุณสมบัติในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ และ/หรือ ถูกดูดซับกับอนุภาคแขวนลอย (Elder, 1988) ปรอทที่ถูกดึงตกตะกอนร่วมและสะสมในดินตะกอนสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในหรือใกล้กับผิวหน้าของตะกอน โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินที่มีโอกาสที่จะสะสมปรอทเข้าสู่ร่างกาย ถึงแม้ระดับความเป็นพิษอาจจะยังไม่ส่งผลกระทบต่อเหยียบปล้น แต่ปรอทจะสะสมเพิ่มมากขึ้นตามลำดับชั้นการกิน จนในที่สุดไปสะสมในผู้บริโภคชั้นสุดท้าย คือ มนุษย์

ดินตะกอนบริเวณใกล้ชายฝั่งมีโอกาสพบการสะสมตัวของปรอทและโลหะต่าง ๆ ได้สูงเนื่องจากอิทธิพลจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (Anthropogenic activities) ซึ่งกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของปรอทลงสู่แหล่งน้ำและทะเล ได้แก่ โรงงานผลิต Acetaldehyde อุตสาหกรรมการสกัดทองคำและเงิน การเผาไหม้ซากดึกดำบรรพ์ น้ำมันเชื้อเพลิง การปล่อยของเสียจากชุมชน อาคารบ้านเรือนต่าง ๆ และการถลุงแร่ (สุวัจน์ ธีธรรส, 2557) นอกจากนี้ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา รัฐบาลได้ให้สัมปทานปิโตรเลียมในอ่าวไทย และมีจำนวนสัมปทานเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้ในอ่าวไทยมีแท่นสำรวจ ขุดเจาะ ผลิตแก๊สและน้ำมันปิโตรเลียมหลายร้อยแท่น (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2560) รวมไปถึงอาจมีกระแสรั่วไหลในพื้นที่ทะเลพัดพาให้ดินตะกอนบริเวณที่มีปริมาณปรอทสะสมเคลื่อนที่ห่างจากแหล่งกำเนิดอย่างช้า ๆ และกระจายตัวออกไป

ข้อมูลการศึกษาในปี 2557 โดยเบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557) เรื่องการปนเปื้อนเชิงพื้นที่ และค่าพื้นฐานของปรอทในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย จากตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าที่เก็บในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2554 ถึง มิถุนายน 2555 พบปริมาณปรอทในดินตะกอนอ่าวไทยหลังปรับฐานด้วยคาร์บอนเนต มีค่าอยู่ในช่วง 7.7 ถึง 110.8 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และพบว่าอ่าวไทยตอนบนบางสถานี และสถานีใกล้บริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพรมีปรอทในดินตะกอนสะสมสูงกว่า บริเวณอื่น เช่นเดียวกับสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณกลางอ่าวนอกชายฝั่งจังหวัดชุมพรและสงขลาที่พบปริมาณปรอทในดินตะกอนสูงกว่าในบริเวณใกล้เคียง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการศึกษาและมีข้อมูลปริมาณปรอทในดินตะกอนที่บริเวณผิวหน้า (surface sediment) เท่านั้น ยังขาดข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณปรอทตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปริมาณปรอทในดินตะกอนที่พื้นที่บริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร และพื้นที่บริเวณกลางอ่าวไทยที่พบการสะสมตัวของปรอทในตะกอนผิวหน้าสูง โดยจะทำการวิเคราะห์ปริมาณปรอทตามลำดับชั้นในแท่งดินตะกอน (sediment core) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงปริมาณปรอทที่สะสมในแต่ละชั้นดินตะกอน และประเมินหาอิทธิพลหรือกิจกรรมที่อาจที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมตัวของปรอทในดินตะกอนในบริเวณดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณปรอทในตัวอย่างแท่งดินตะกอน (sediment core) ตามระดับความลึก จากสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณกลางอ่าวไทยและบริเวณใกล้ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

วิเคราะห์ปริมาณปรอทตามลำดับชั้นในแท่งดินตะกอนที่เก็บ ภายใต้โครงการ The Collaborative Research Survey on Marine Fisheries Resources and Marine Environment in the Gulf of Thailand by M.V. SEAFDEC2 จากอ่าวไทยในสถานีที่ 14, 22, 29 และ 35 ซึ่งเป็นสถานีกลางอ่าว และบริเวณใกล้ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพรที่พบปริมาณปรอทในดินตะกอนที่ระดับผิวดินสูง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของปริมาณปรอทในชั้นดินตะกอนบริเวณกลางอ่าวไทย และบริเวณใกล้ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร จากในอดีตจนถึงปัจจุบัน

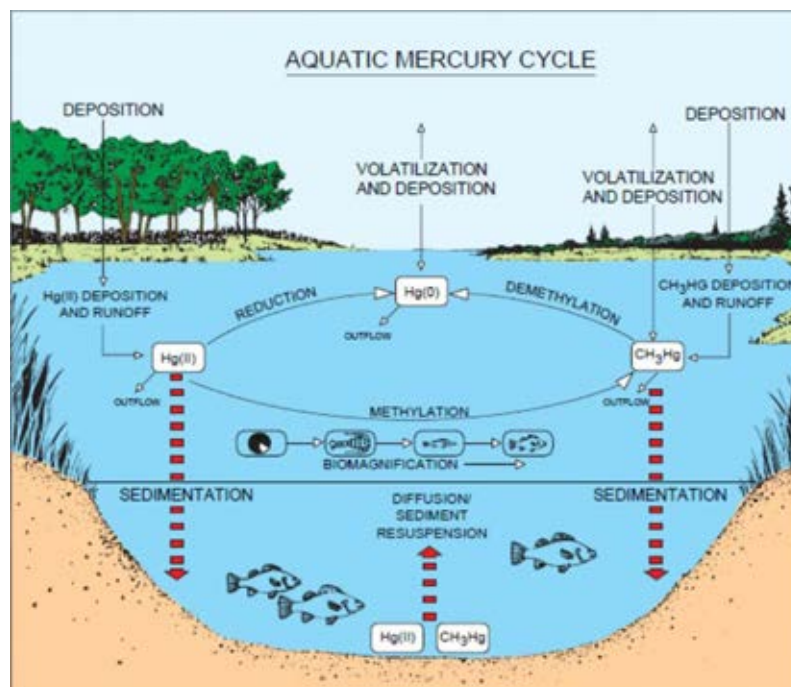
บทที่ 2 ทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 พรอท

พรอทเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสีขาวคล้ายเงินจึงมีชื่อเรียกว่า “Liquid Silver” หรือ “Quick Silver” เป็นธาตุลำดับที่ 80 ในตารางธาตุ มีมวลอะตอม 200.59 มีจุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลว -38.9 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นเท่ากับ 13.546 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 13.545 และค่าความดันไอเท่ากับ 0.16 Pa (0.0012 มิลลิเมตรปรอท) พรอทสะท้อนแสงได้ดี เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จากค่าความดันไอของไอพรอทที่ต่ำมาก พรอทจึงระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง (Emsley, 2011)

2.1.1 รูปแบบพรอทที่พบในสิ่งแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพรอทในสภาพแวดล้อมทางน้ำนั้นมีความซับซ้อนมาก รูปแบบต่าง ๆ ของพรอทสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง และที่สำคัญที่สุดคือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเป็นเมทิลเมอร์คิวรี (CH_3Hg^+ , MeHg) รูปแบบที่เป็นพิษมากที่สุด เมื่ออยู่ในมวลน้ำพรอทจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่าง ๆ โดยจะเกิดเป็นสารประกอบพรอทอินทรีย์และพรอทอนินทรีย์ ซึ่งสามารถนำไปสู่การตกตะกอนร่วมกับอนุภาค โดยในที่สุดสารพรอทจะตกค้างอยู่ภายในดินตะกอนหรือเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร หรือระเหยกลับเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ (Krabbenhoft and Rickert 1995) (ดังแสดงในรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 วัฏจักรพรอทในธรรมชาติ (Krabbenhoft and Rickert 1995)

2.1.2 การแพร่กระจายของปรอทในสิ่งแวดล้อม

ปรอทสามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ ปรอทที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะมีการสลายตัวของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจากการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของปรอท โดย National Academy of Science (NAS, อ้างถึงใน UNEP, 1984) ในปี ค.ศ. 1978 พบว่าปริมาณของสารปรอทที่ระเหยออกมาตามผิวโลกมีจำนวนประมาณ 18,500-27,00 ตัน/ปี นอกจากนี้ยังมีปะปนออกมากับก๊าซภูเขาไฟและระเหยจากมหาสมุทรอีกด้วย แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทางหนึ่ง มากไปกว่านั้นมนุษย์ยังนำปรอทมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาของ NAS (1978, อ้างถึงใน UNEP, 1984) พบว่าปริมาณของสารปรอทที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมของมนุษย์มีจำนวนถึง 5,000 - 10,000 ตัน/ปี โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (EPA : Environment Protection Agency) คาดการณ์ว่าปรอทที่ปนเปื้อนทั้งหมดในสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 95 ตกสะสมอยู่ที่ดิน ร้อยละ 3 อยู่ในมหาสมุทรและทะเล และร้อยละ 2 สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ

เนื่องจากปรอทเป็นสารที่มีความหนาแน่นมากและสารประกอบของปรอทส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นเมื่อของเสียที่มีปรอทปนเปื้อนอยู่ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ปรอทจึงตกสะสมร่วมกับตะกอนอื่น ๆ บริเวณใกล้ปากแม่น้ำหรือปากอ่าว โดยการปนเปื้อนของปรอทในดินมักจะอยู่ในรูปสารประกอบร่วมกับสารอื่นในดินกลายเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ (Schuster, 1991) นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำจะเกิดกระบวนการเมทิลเลชัน (methylation) เพื่อเปลี่ยนปรอทให้กลายเป็นสารประกอบ methylmercury

สำหรับประเทศไทยพบว่ามีการปนเปื้อนปริมาณมากบริเวณปากแม่น้ำ โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำเพชรบุรี ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ปรอทยังเป็นโลหะตัวหนึ่งที่พบได้ในแก๊สธรรมชาติ โดยพบอยู่ในรูปไอปรอทและปะปนมากับแก๊สธรรมชาติ ปรอทที่อยู่ในแก๊สธรรมชาติมีอยู่ 3 รูป คือ โลหะปรอท สารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์ของปรอท (เกษม พลายแก้ว, 2548) สำหรับในแก๊สธรรมชาติในอ่าวไทยพบว่ามีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ด้วย ปริมาณปรอทที่พบบริเวณแหล่งเอราวัณเท่ากับ $15.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แหล่งบรรพตเท่ากับ $13.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แหล่งสตูลเท่ากับ $10.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แหล่งปลาทองเท่ากับ $12.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (มารยาท วีรวิกรม, 2533 อ้างถึงใน เกษม พลายแก้ว, 2548)

2.1.3 การเข้าสู่ร่างกายและพิษของปรอท

ปรอทเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางจุก โดยการสูดดมไอปรอทเข้าสู่ปอด ทางปาก โดยการรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อน และทางผิวหนัง โดยการดูดซึมไอระเหยหรือฝุ่นละอองของปรอท

ความเป็นพิษของปรอทขึ้นอยู่กับเส้นทางที่พิษเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย และชนิดของปรอท (ปรอทอินทรีย์จะมีความเป็นพิษมากที่สุด) พิษจากปรอทมีทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง พิษเฉียบพลันมักเกิดจากอุบัติเหตุโดยการรับประทานปรอทเข้าสู่ร่างกาย สำหรับพิษเรื้อรัง ปรอทที่สะสมในร่างกายจะทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ระบบประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน และการมองเห็น สูญเสียไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) นอกจากนี้ยังมีผลทางด้านจิตใจ ความจำเสื่อม หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านพฤติกรรม เกิดภาวะที่เรียกว่า “ภาวะพาเรสทีเซีย (paraesthesia)” เป็นอาการรู้สึกแสบร้อน บริเวณมือ ขา แขน และเท้า โดยปรอทจะมีการสะสมตัวมากที่สุดบริเวณ ตับ และ ไต รวมถึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของไตของตัวอ่อนภายในครรภ์ เนื่องจากปรอทสามารถเคลื่อนที่ผ่านรกได้ (Wills, 1985)

ในระบบนิเวศต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางบก หรือ ทางทะเล สารปรอทสามารถเกิดการสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) โดยกระบวนการสะสมทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศได้รับสารปรอทเข้าสู่ร่างกายและมีการสะสมตัวอย่างรวดเร็วมากกว่าเกิดกระบวนการกำจัดออกจากร่างกาย อย่างไรก็ตามหากสิ่งมีชีวิตนั้นได้รับสารปรอทอย่างต่อเนื่องภาวะของร่างกายจะสามารถเข้าถึงระดับความเป็นพิษได้ โดยที่อัตราการเพิ่มหรือลดความเป็นพิษของสารปรอทภายในร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต (Krabbenhoft and Rickert 1995)

นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกระบวนการถ่ายทอดสารปรอทภายในสิ่งมีชีวิต (biomagnification) โดยเป็นผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณปรอทภายในแต่ละระดับของห่วงโซ่อาหาร ทำให้ระดับสูงสุดในห่วงโซ่อาหารมีการสะสมของปริมาณปรอทสูงสุด ที่เป็นผลมาจากการถ่ายทอดและการสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ยิ่งสิ่งมีชีวิตมีอายุที่ยืนยาวและอยู่ในระดับสูงภายในห่วงโซ่อาหารมากเท่าไร จะมีการสะสมของปริมาณปรอทมากขึ้นเท่านั้น (Krabbenhoft and Rickert 1995)

2.2 ดินตะกอน

ดินตะกอน หมายถึง สสารจากแผ่นดินที่ถูกน้ำกัดกร่อนจนแตกสลายเป็นอนุภาคเล็กๆ รวมตัวกับสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ตลอดจนอนุภาคต่างๆที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น แพลงก์ตอน สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ดินตะกอนที่ตกสะสมอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำมีความสำคัญทั้งในด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม เป็นทั้งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสัตว์หน้าดิน คุณลักษณะของดินตะกอนบ่งชี้ถึงความเสื่อมโทรม และการปนเปื้อนของมลสารทั้งประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้คุณภาพน้ำ เนื่องจากตะกอนเป็นแหล่งเก็บสะสมมลสารในลำดับท้ายสุด และคุณลักษณะของดินตะกอนท้องน้ำจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่ามลน้ำ อย่างไรก็ตามแม้ว่าดินตะกอนเป็นแหล่งเก็บสะสม แต่ขณะเดียวกันดินตะกอนก็อาจจะเป็นแหล่งกำเนิดของมลสารซึ่งอาจเป็นธาตุอาหารหรือโลหะหนักในแหล่งน้ำได้ (Kim, 2003)

การที่ดินตะกอนสะสมมลสารประเภทโลหะและอินทรีย์สาร ทำให้ดินตะกอนถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปนเปื้อนของมลสารในน้ำ (Benninger and Krishnaswami, 1981) การถ่ายทิ้งของเสียจากการกระทำของมนุษย์ ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดลงสู่สภาพแวดล้อมทางน้ำล้วนมีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางธรณีเคมีของตะกอนทั้งสิ้น

2.2.1 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวและเปลี่ยนแปลงรูปแบบของปรอทในดินตะกอน

รูปของปรอทในมวลน้ำพบได้ทั้งในสถานะแก๊ส ละลายอยู่ และอยู่กับอนุภาค กระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของปรอท ประกอบด้วยกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) รีดักชัน (reduction) และไบโอเมทิลเลชัน (biomethylations) โดยรูปของปรอทในดินตะกอนขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนสถานะและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (redox potential) ดินตะกอนนอนก้นที่มีปรอทสะสมอยู่ เป็นผลจากกระบวนการที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ ได้แก่ การดูดซับ (adsorption) กับอนุภาคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอนุภาคดินเหนียว (clay minerals), metal oxyhydroxides สารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOM) และอนุภาคอินทรีย์แขวนลอย (POM) เมื่อเวลา ผ่านไปอนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนลงสู่พื้นท้องทะเล ทำให้ปรอทภายในมวลน้ำไปสะสมอยู่ในดินตะกอนแทน (Libes, 2009)

กระบวนการเมทิลเลชันนั้นเกิดจากแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ลักษณะแบคทีเรีย ปริมาณสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ เป็นต้น โดยกระบวนการเมทิลเลชันมักจะพบที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ความลึกของน้ำน้อย มีความเป็นกรด มีปริมาณสารอินทรีย์มาก และค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ต่ำ ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้มีกิจกรรมของแบคทีเรียสูง (high bacteria activity) ทำให้มีการเปลี่ยนรูปของปรอทไปอยู่ในรูปสารปรอทอินทรีย์ทั้ง methylmercury (MeHg) และ dimethylmercury (DMHg) และปรอทอินทรีย์จะเกิดการสะสมทางชีวภาพ (bioaccumulation) ในห่วงโซ่อาหาร (Libes, 2009)

2.3 พื้นที่ศึกษา

อ่าวไทยมีลักษณะเป็นเอสตูรีแบบ drowned river valley โดยมีแม่น้ำสำคัญ 4 สาย ที่ไหลลงสู่อ่าว คือ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง นอกจากนี้อ่าวไทยยังมีแม่น้ำสายสั้น ๆ ที่ไหลลงสู่อ่าวอีกหลายสาย อ่าวไทยจึงเป็นแอ่งรองรับตะกอนจากแม่น้ำ พื้นที่ท้องทะเลอ่าวไทยเป็นโคลนปนทรายหรือโคลน ส่วนท้องทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันตกจะเป็นโคลนปนทราย โคลนปนทรายขึ้นเปิด ทรายปนโคลนและทราย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) โดยการเคลื่อนที่ของมวลน้ำแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ กระแสน้ำผิวหน้า (surface current) เกิดตามทิศทางของกระแสลม และกระแสน้ำลึก (deep water flow) มวลน้ำมีการเคลื่อนไหวตามความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเล ส่วนใหญ่กระแสน้ำลึกจะมีอัตราการไหลที่ค่อนข้างช้าและสวนทางกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำผิวหน้า โดยฝั่งทะเลอ่าวไทย ส่วนใหญ่จะไหลเลียบแนวชายฝั่งจากใต้ขึ้นเหนือ และมีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่ง ซึ่งในพื้นที่ปากแม่น้ำจะมีอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลงด้วย (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)

2.3.1 พื้นที่สัมปทานปิโตรเลียมในอ่าวไทย

ในประเทศไทยเริ่มให้สัมปทานปิโตรเลียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2560) ภาคเอกชนให้ความสนใจเรื่องสัมปทานแหล่งปิโตรเลียมมากขึ้น จนกระทั่งปี พ.ศ.2516 ได้พบก๊าซธรรมชาติเป็นจำนวนมากครั้งแรกในอ่าวไทย ชื่อว่า “แหล่งเอราวัณ” ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ จากนั้นจึงมีการให้สัมปทานปิโตรเลียมทั้งบนแผ่นดินและในอ่าวไทยเรื่อยมา ความต้องการใช้และการจัดหาพลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในรอบปี พ.ศ. 2560 มีสัมปทานที่มีการดำเนินงาน จำนวน 37 สัมปทาน 44 แปลงสำรวจ โดยแบ่งออกเป็นสัมปทานปิโตรเลียมในทะเลอ่าวไทยจำนวน 20 สัมปทาน 24 แปลงสำรวจ และสัมปทานปิโตรเลียมบนบกจำนวน 17 สัมปทาน 20 แปลงสำรวจ ทำให้มีการปนเปื้อนของปรอทจากพื้นที่การทำสัมปทานเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นตามเวลา โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณกลางอ่าวไทย ซึ่งมีแหล่งสัมปทานปิโตรเลียม (รูปที่ 2.2) และเป็นเส้นทางขนส่งปิโตรเลียมทางทะเล



รูปที่ 2.2 แผนที่แปลงสัมปทานปิโตรเลียมในประเทศไทย (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2560)

2.4 ปริมาณของปรอทในดินตะกอนในประเทศไทยและต่างประเทศ

2.4.1 ปริมาณปรอทในดินตะกอนอ่าวไทย

จากการวิจัยที่ผ่านมา (ตารางที่ 2.1) พบว่าดินตะกอนระดับผิวหน้าในบางพื้นที่มีปรอทสูง (มากกว่า 1,000 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) การศึกษาหลังจากนั้นในพื้นที่บริเวณเดียวกันนั้นพบว่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนลดลง

เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557) ศึกษาปรอทในดินตะกอนอ่าวไทย จากการเก็บตัวอย่างเมื่อปี 2553-2555 พบว่าปริมาณปรอททั้งหมดในดินตะกอนอ่าวไทยตอนบน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7 ± 23.0 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในดินตะกอนอ่าวไทยตอนล่างมีค่าปรอทน้อยกว่าในอ่าวไทยตอนบน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.3 ± 10.9 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังแสดงสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณปรอทภายในดินตะกอนในพื้นที่ประเทศไทย (ข้อมูลจาก เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ, 2557)

ช่วงเวลาการศึกษา (พ.ศ.)	พื้นที่ศึกษา	ปริมาณปรอทในดินตะกอน (นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	อ้างอิง
2522	อ่าวไทยตอนบน	49 – 268	(1)
2521	อ่าวไทยตอนบน	100 – 130	(2)
2522	อ่าวไทยตอนบน	0 – 240	
2523	อ่าวไทยตอนบน	0 – 1,200	
2524	อ่าวไทยตอนบน	10 – 1,400	
2525	อ่าวไทยตอนบน	10 – 250	
2526 – 2527	ชายฝั่งตะวันออกอ่าวไทยตอนบน	10 – 140	(3)
2538 – 2541	อ่าวไทย (รอบแท่นขุดเจาะและอ่าวไทยตอนบน)	6 – 1,210	(4)
2538 – 2541	มาบตาพุด	5 – 134	
2539 – 2541	แหลมฉบัง	<5 – 32	
มี.ค. – เม.ย. 2541	ชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน	47 – 2,135	
2550	อ่าวไทยตอนบน	39.9 ± 27.4	(5)
	อ่าวไทยตอนล่าง	24.4 ± 9.0	
2553-2555	อ่าวไทยตอนบน	28.7 ± 23.0	(6)
	อ่าวไทยตอนกลาง	45.1 ± 24.1	
	อ่าวไทยตอนล่าง	24.3 ± 10.9	

((1) Polprasert (1979); (2) อำไพ อิทธิเกษม (2524); (3) รัชนิกร บำรุงราชชิริณย์ (2530); (4) Chongprasith and Wilairatanadilok (1999); (5) สุขาดา บัวแก้ว (2550); (6) เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557) อ้างอิงใน เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ, 2557)

2.4.2 ปริมาณปรอทในดินตะกอนในต่างประเทศ

ระดับปรอทในดินตะกอนในแต่ละสถานที่นั้นมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกิจกรรมสภาพพื้นที่ สภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น ๆ เช่น บริเวณอ่าวมินามาตะ ประเทศญี่ปุ่น มีความเข้มข้นของปรอทอยู่ที่ 1,400-4,300 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Tomiyasu, 2006) ซึ่งในอดีตมีการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีปรอทปนเปื้อนลงสู่อ่าวโดยตรง หรือบริเวณทะเลจีนตะวันออก (The East China Sea) มีความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนอยู่ที่ 60-320 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Duan, 2015) อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรม และบ้านเรือนตามแนวแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลจีนตะวันออก

2.4.3 เกณฑ์คุณภาพดินตะกอนในแต่ละประเทศ (Sediment Quality Guidelines)

ระดับปรอทที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีค่ามากน้อยต่างกัน ดินตะกอนเป็นอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ประเมินว่ามีการปนเปื้อน แต่ทว่าปริมาณการสะสมนั้นขึ้นกับปัจจัยทางตะกอนวิทยาของดินตะกอนแต่ละพื้นที่ รวมถึงแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ การกำหนดค่ามาตรฐานเหมือนกับในน้ำจึงเป็นไปได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถดูแลรักษาคุณภาพดินตะกอน จึงมีการกำหนดเกณฑ์คุณภาพของดินตะกอน (Sediment Quality Guideline) ซึ่งแต่ละประเทศกำหนดแตกต่างกันไป ขึ้นกับค่าความเข้มข้นพื้นฐาน (background level) ของแต่ละพื้นที่ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ซึ่งส่วนใหญ่จะดูความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตเป็นเกณฑ์ โดยของไทยเกณฑ์คุณภาพของดินตะกอนจะเป็นค่าเดียวกับ US-EPA ตารางที่ 2.2 เกณฑ์ค่ามาตรฐานของปรอทในดินตะกอน (นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

โลหะ	ไทย		สหรัฐอเมริกา		ฮ่องกง		ออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์	
	ERL	ERM	ERL	ERM	ISQV-Low	ISQV-High	ISQV-Low	ISQV-High
Hg	150	710	150	710	280	1000	150	1000

ERL = Effect Range Low

ERM = Effect Range Median

ISQV = Interim Sediment Quality Values

2.4.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})

ระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนสามารถบ่งชี้โดยใช้ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index: I_{geo}) (Müller, 1969) โดยคำนวณจากสูตร

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right]$$

เมื่อ C_n คือ ความเข้มข้นของโลหะในดินตะกอน

B_n คือ ความเข้มข้นพื้นฐานของปรอทเฉลี่ยทั่วไปในดินตะกอน มีค่าเท่ากับ 0.4 ppm

การประเมินการปนเปื้อนในดินตะกอนโดยใช้ค่า I_{geo} แบ่งระดับความรุนแรงเป็น 7 ระดับ ดังตารางที่ 2.3 (Barbieri, 2016)

ตารางที่ 2.3 ระดับการบ่งชี้ความรุนแรงตามค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index: I_{geo})

I_{geo}	I_{geo} Class	ความรุนแรง
<0	0	ไม่ปนเปื้อน (Uncontaminated)
0–1	1	ไม่ปนเปื้อนถึงปนเปื้อนไม่รุนแรง (Uncontaminated to moderately contaminated)
1–2	2	ปนเปื้อนไม่รุนแรง (Moderately contaminated)
2–3	3	ปนเปื้อนไม่รุนแรงถึงปนเปื้อนรุนแรง (Moderately to heavily contaminated)
3–4	4	ปนเปื้อนรุนแรง (Heavily contaminated)
4–5	5	ปนเปื้อนรุนแรงถึงปนเปื้อนรุนแรงมาก (Heavily to extremely contaminated)
>5	6	ปนเปื้อนรุนแรงมาก (Extremely contaminated)

Thongra-ar (2008) และเบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557) ซึ่งรายงานค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีในดินตะกอนอ่าวไทย พบว่าระดับปรอทในดินตะกอนชายฝั่งภาคตะวันออกเฉียงใต้ตั้งแต่จังหวัดชลบุรีถึงตราดมีค่า I_{geo} ของปรอทสูงกว่าดินตะกอนจากอ่าวไทย บ่งชี้ว่าระดับการปนเปื้อนปรอทในพื้นที่ชายฝั่งภาคตะวันออกเฉียงใต้สูงกว่า โดยระดับความรุนแรงของปรอทในดินตะกอนอ่าวไทยยังอยู่ในระดับที่ยังไม่ปนเปื้อน ขณะที่บางตัวอย่างที่ได้จากพื้นที่ชายฝั่งภาคตะวันออกเฉียงใต้ยังอยู่ในระดับปนเปื้อนแต่ยังไม่รุนแรง (ตารางที่ 2.4)

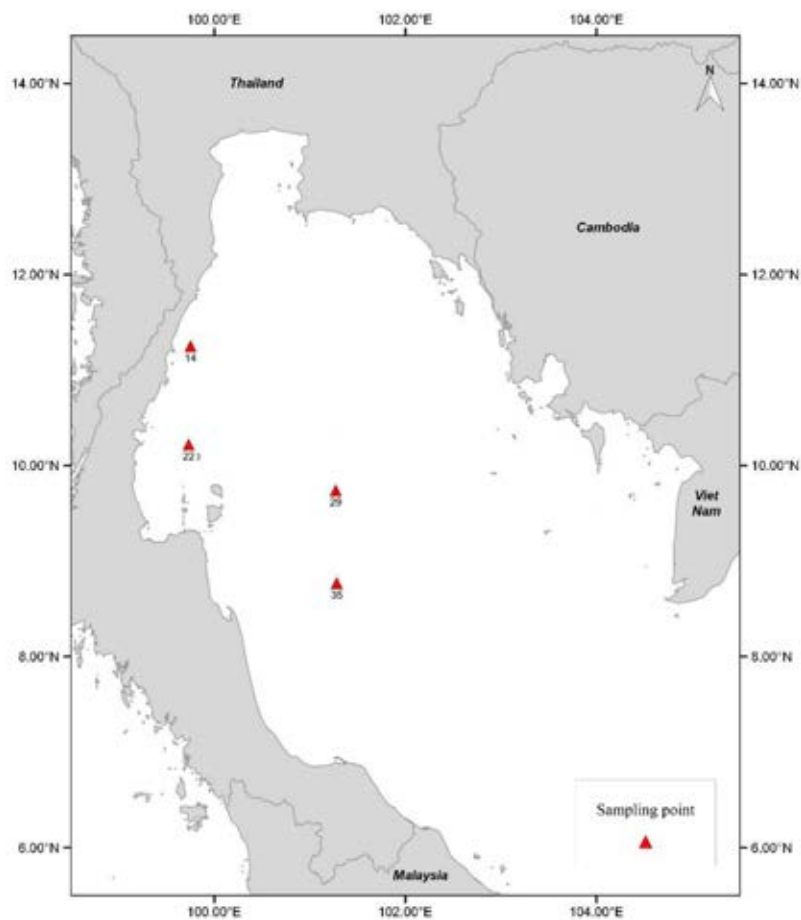
ตารางที่ 2.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo} index) ภายในประเทศไทย

ช่วงเวลาการศึกษา	พื้นที่ศึกษา	I_{geo}	อ้างอิง
2008	ชายฝั่งภาคตะวันออกเฉียงใต้ตั้งแต่จังหวัดชลบุรี ถึง ตราด	> -3.00 ถึง 0.09	Thongra-ar (2008)
2011	อ่าวไทย	-6.3 ถึง -2.4	เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557)

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างแท่งตะกอน (sediment core) ในการศึกษาครั้งนี้ อยู่ภายใต้โครงการ The Collaborative Research Survey on Marine Fisheries Resources and Marine Environment in the Gulf of Thailand โดยเรือสำรวจ SEAFDEC-2 ในระหว่างวันที่ 16 สิงหาคม ถึง 11 ตุลาคม 2561 โดยเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินทั้งสิ้น 35 สถานี ในการศึกษาเลือกสถานีที่ 29 และ 35 ซึ่งเป็นสถานีบริเวณกลางอ่าว และ สถานี 14 และ 22 ซึ่งเป็นสถานีบริเวณใกล้ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และชุมพร ที่พบปริมาณปรอทในดินตะกอนระดับผิวสูงกว่าพื้นที่อื่นในอ่าวไทย (เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ, 2557) รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่าง สำหรับพิกัดของสถานี แสดงในตาราง ผ.1 ภาคผนวก 1



รูปที่ 3.1 พื้นที่บริเวณที่วิเคราะห์ข้อมูล

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

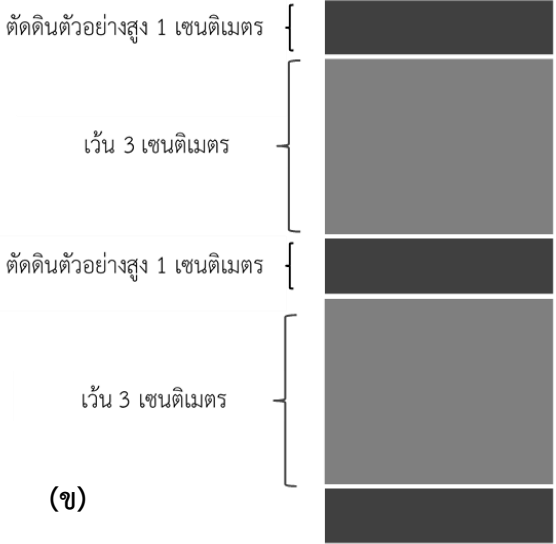
เก็บตัวอย่างดินตะกอนด้วย box corer ขนาด 30 X 30 x 60 ลบ.ซม. (รูปที่ 3.2) โดยการทิ้งตั้งจากความลึกเหนือพื้นตะกอนประมาณ 5 เมตร ถ้าดินตะกอนที่นำขึ้นมา มีปริมาณเต็มพื้นที่หน้าตัดของเครื่องมือ หน้าดินไม่มีการพลิกกลับหรือกวนจนฟุ้งกระจาย จึงเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอน โดยกดท่อพลาสติกพีวีซี (PVC) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 60 ซม. ลงใน box corer จนสุด จากนั้นนำแท่งดินตะกอนที่ได้ มาตัดแบ่งตัวอย่างเป็นชั้น ๆ ด้วยแผ่นพลาสติก (รูปที่ 3.3-ก) ในการเก็บตัวอย่างจะตัดเก็บชั้นดินตะกอนความหนา 1 ซม. เว้น 3 ซม. ตลอดความยาวแท่งดินตะกอนจนหมด (รูปที่ 3.3-ข) เก็บรักษาตัวอย่างดินตะกอนโดยบรรจุในถุงพลาสติกซิปล็อคสองชั้น แห่แข็งทันที เพื่อนำกลับมายังห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดินตะกอนแบบ Box corer



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างชั้นดินตะกอนจากแท่งดินตะกอน (ก) การตัดแบ่งโดยใช้แผ่นพลาสติกปาดตัดชั้นดินตะกอนที่ความหนาที่ต้องการ และ (ข) ชั้นตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างจากแท่งดินตะกอน

3.3 การทำความสะอาดอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

อุปกรณ์ เครื่องแก้ว และภาชนะทุกชิ้น ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปรอท ทำความสะอาดโดยล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดและน้ำประปาให้สะอาด ชะด้วยน้ำปราศจากไอออน ($>18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$) 3 ครั้ง แช่กรด 10% HNO_3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาชะด้วยน้ำปราศจากไอออน ($>18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$) จนหมดฤทธิ์กรด ตากแห้งในตู้ปลอดฝุ่น (Laminar flow cabinet) class 100 และเก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง

3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

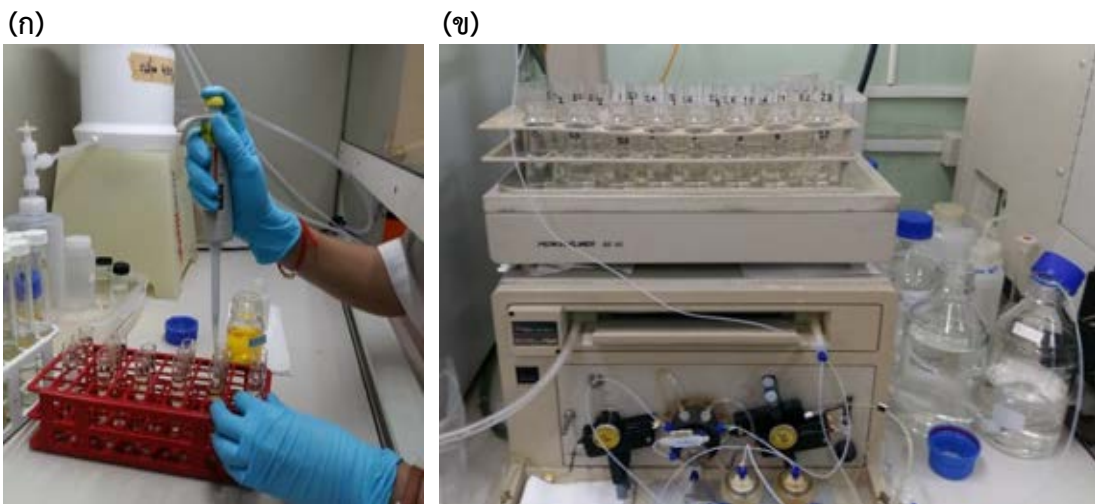
นำตัวอย่างดินตะกอนไปทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze-dry) โดยเครื่อง Freeze drier ยี่ห้อ Heto รุ่น LyoPro6000 (รูปที่ 3.4) ที่อุณหภูมิ $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อดินตะกอนแห้งแล้ว นำดินตะกอนไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. แบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปบดละเอียดด้วย agate mortar เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี และส่วนที่สองนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบขนาดอนุภาค



รูปที่ 3.4 เครื่อง Freeze drier ยี่ห้อ Heto รุ่น LyoPro6000 และ การ freeze-dry ตัวอย่าง

3.4.2 วิเคราะห์ปริมาณปรอท

วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามวิธีที่ดัดแปลงจาก US-EPA METHOD 1631 (US-EPA, 2001) Appendix to Method 1631 Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment and Soil โดยสกัดตัวอย่างด้วยสารละลายผสมของ HNO_3 และ HCl อัตราส่วน 1:4 (Aqua Regia, suprapure grande) ย่อยตัวอย่างโดยใช้ heating box ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 15 นาที เติม BrCl เพื่อออกซิไดซ์ปรอทอินทรีย์ในสารละลายให้เป็นปรอทอินทรีย์ (รูปที่ 3.5-ก) กำจัด BrCl ที่เหลือจากกระบวนการออกซิเดชันด้วย $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ก่อนนำไปตรวจวัดปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) รีดิซ์ปรอทอินทรีย์ทั้งหมดในสารละลายตัวอย่างด้วย NaBH_4 ให้ได้ไอปรอท (Hg^0) โดยมีก๊าซอาร์กอน (argon gas) เป็นตัวพาไอปรอทเข้าเครื่อง Flow-Injection Mercury Analyzer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS 400 (รูปที่ 3.5-ข) รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 3.7 และ ภาคผนวก 3 ค่าความเข้มข้นปรอทในสารละลาย คำนวณโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) ที่สร้างจากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอทที่ทราบความเข้มข้น รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ปรอทในตัวอย่างดินตะกอน



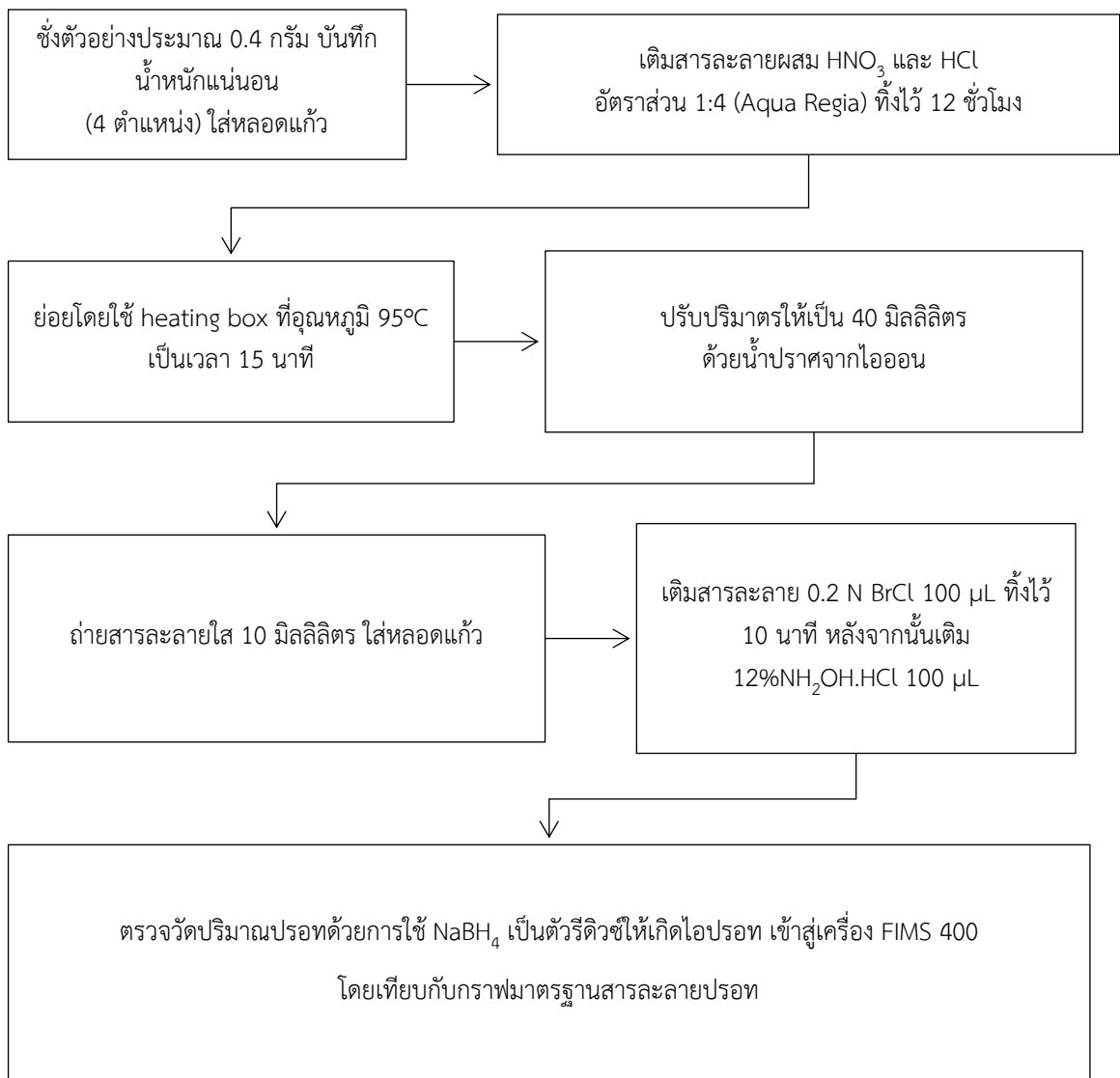
รูปที่ 3.5 (ก) การเติมสารละลาย BrCl (ข) การวัดปริมาณปรอท ด้วยเครื่อง Flow – Injection Mercury Analyzer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS 400

3.4.3 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายปรอท

สร้างกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) ด้วยการเตรียมจากสารละลายมาตรฐานปรอท ยี่ห้อ Merck ความเข้มข้น $1,000 \text{ mg/l}$ เป็นความเข้มข้น $1,000 \mu\text{g/l}$ แล้วจึงเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น $40 \mu\text{g/l}$ หลังจากนั้นจึงเตรียมสารละลายความเข้มข้นที่ $0.3, 0.5, 1, 3, 5, 8$ และ $10 \mu\text{g/l}$

3.4.4 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนเนต

วิเคราะห์โดยวิธี Acid - Base titration ตามวิธีใน Sompongchaiyakul (1989) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ในดินตะกอนจากนั้นไทเทรตกรดที่เหลือจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ วิธีวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวก 2



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry

3.5 วิธีการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.5.1 การปนเปื้อน

ในการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต และปริมาณปรอท ทำการวิเคราะห์ blank ด้วยวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อควบคุมการปนเปื้อน

3.5.2 ความเที่ยง (precision)

โดยการวิเคราะห์ซ้ำร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการวิเคราะห์ซ้ำ (% Reproducibility; %RPD) ต้องอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 10

3.5.3 ความแม่นยำ (accuracy)

ใช้วิธีการ standardization สารละลายกรด เพื่อประเมินความแม่นยำของการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต โดยวิเคราะห์ NaHCO_3 ซึ่งเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ ด้วยวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย ก่อนนำสารละลายกรดนั้นมาวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน

ในการวิเคราะห์ปรอท ควบคุมความแม่นยำโดยใช้ Certified Reference Material (CRM) PACS-2 และ MESS-3 ย่อยและตรวจวัดเช่นเดียวกับตัวอย่างดินตะกอน โดยค่า % Recovery ต้องอยู่ระหว่าง 80-120% ของค่าที่กำกับมากับ CRM

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยการใช้โปรแกรม Microsoft® Excel 2010 โดยการหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ค่ากลาง (median)

3.6.2 การวิเคราะห์ความรุนแรงของการปนเปื้อนของปรอท

คำนวณค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index: I_{geo}) จากสมการในหัวข้อ 2.4.4 บทที่ 2 และ ประเมินระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนในดินตะกอนโดยใช้ค่า I_{geo} (Barbieri, 2016) ตามตารางที่ 2.3 บทที่ 2

บทที่ 4 ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล

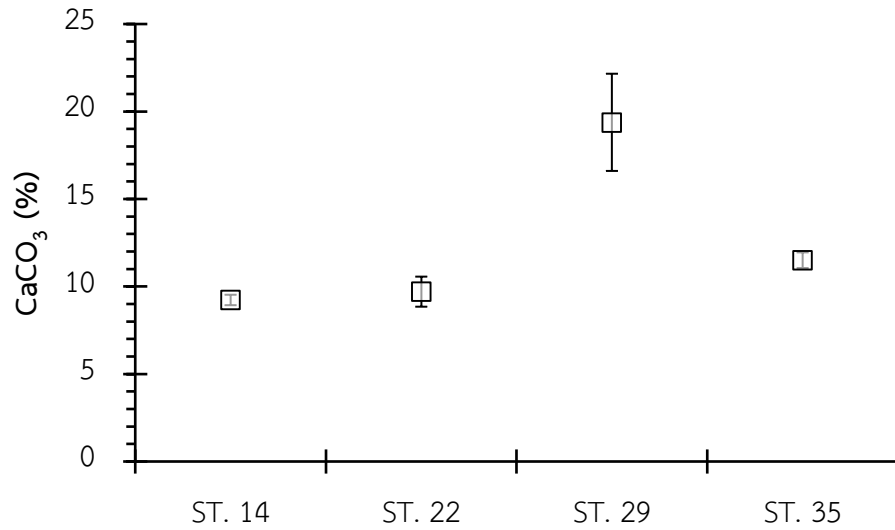
4.1 แคลเซียมคาร์บอเนตในดินตะกอน

ผลการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตในดินตะกอนแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตนี้จะใช้ในการปรับฐานความเข้มข้นของปรอทต่อน้ำหนักดินตะกอนจริง เนื่องจากปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นปัจจัยที่เจือจางความเข้มข้นของโลหะและมลพิษที่ปนเปื้อนดินตะกอน ผลการศึกษาพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตในดินตะกอนจากอ่าวไทยตอนกลาง 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 7.84 ถึง 25.2 โดยสถานีกลางอ่าวจะมีปริมาณสูงกว่าสถานีใกล้ฝั่ง โดยมีค่าเฉลี่ยในสถานี 14, 22, 29 และ 35 เท่ากับ ร้อยละ 9.23 ± 0.30 , 9.71 ± 0.86 , 19.4 ± 2.77 และ 11.5 ± 0.45 ตามลำดับ และมีค่ากลาง (median) อยู่ที่ร้อยละ 9.37, 9.98, 18.9 และ 11.4 ตามลำดับ

สถานี 29 มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแห่งตะกอนอีก 3 แห่ง ปริมาณสูงที่สุดของแห่งตะกอนจากสถานีนี้อยู่ในช่วงความลึก 18-26 เซนติเมตรจากผิวดิน ขณะที่สถานี 14, 22 และ 35 มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในแต่ละชั้นไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเห็นได้จากค่าความแปรปรวน (standard deviation; SD) ของข้อมูลในดินตะกอนแห่งเดียวกัน (รูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเฉลี่ยในแต่ละชั้นของแห่งดินตะกอนแต่ละสถานี

ความลึก (cm)	CaCO ₃ (%)			
	สถานี 14	สถานี 22	สถานี 29	สถานี 35
0 – 1	9.58 ± 4.01	10.7 ± 8.56	17.8 ± 1.37	11.8 ± 3.26
3 – 4	9.24 ± 0.63	10.7 ± 2.15	17.0 ± 2.59	11.5 ± 0.63
6 – 7	9.10 ± 0.89	10.4 ± 3.35	18.6 ± 5.19	11.9 ± 2.18
9 – 10	9.38 ± 2.28	10.5 ± 5.20	19.1 ± 3.85	11.4 ± 4.66
12 – 13	9.39 ± 0.10	10.0 ± 1.90	19.6 ± 2.04	11.0 ± 3.89
15 – 16	8.98 ± 2.63	9.98 ± 4.40	19.8 ± 2.35	11.4 ± 0.77
18 – 19	9.40 ± 0.18	10.2 ± 3.14	25.2 ± 3.28	10.9 ± 3.33
21 – 22	9.51 ± 1.77	9.99 ± 3.85	22.7 ± 0.01	11.4 ± 2.46
25 – 26	9.15 ± 0.82	9.61 ± 1.22	21.0 ± 3.88	11.0 ± 1.69
30 – 31	9.31 ± 4.26	9.47 ± 3.96	15.8 ± 2.58	11.5 ± 0.76
35 – 36	8.51 ± 0.28	8.88 ± 5.23	15.7 ± 0.75	11.4 ± 4.46
40 – 41		9.03 ± 2.86	17.4 ± 2.83	11.4 ± 8.04
45 – 46		7.84 ± 1.69	18.8 ± 0.46	11.7 ± 1.34
50 – 51		8.57 ± 0.70	23.0 ± 0.93	12.7 ± 2.00
Min – Max	8.51 – 9.58	7.84 – 10.7	15.7 – 25.2	10.9 – 12.7
Average ± SD	9.23 ± 0.30	9.71 ± 0.86	19.4 ± 2.77	11.5 ± 0.45
Median	9.31	9.98	18.9	11.4



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแคลเซียมคาร์บอเนตในแท่งดินตะกอนสถานี 14, 22, 29 และ 35

4.2 ปริมาณปรอทในดินตะกอนแต่ละชั้นความลึก

4.2.1 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ที่ใช้สารอ้างอิง

จากการวิเคราะห์สารอ้างอิง (certified reference material; CRM) ประเภทดินตะกอนจากทะเล (marine sediment) ซึ่งเตรียมและรับรองโดย National Research Council of Canada (NRCC) 2 ตัว ด้วยวิธีการเดียวกับดินตะกอนตัวอย่าง คือ MESS-3 และ PACS-2 โดย MESS-3 เป็นดินตะกอนจาก Beaufort Sea ที่มีความเข้มข้นของปรอทต่ำ ขณะที่ PACS-2 เป็นดินตะกอนที่มาจากท่าเรือ Esquimalt ซึ่งมีการปนเปื้อนของปรอทสูง

ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการมีความแม่นยำ (accuracy) สูง โดยค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ที่ร้อยละ 92.9 และ 92.9 ของค่าที่กำกับมา กับสารอ้างอิง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) และมีความเที่ยง (precision) สูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard error; RSE) อยู่ที่ร้อยละ 0.9 และ 2.2 สำหรับ MESS-3 และ PACS-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนมาตรฐาน MESS-3 และ PACS-2 เปรียบเทียบกับค่าที่รับรอง

CRM	Total Hg (ng/g)						Mean ± SE	Certified Value	% Recovery
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6			
MESS - 3	87	84	87	83	83	83	85 ± 0.7	91 ± 9	92.9
PACS - 2	2,780	2,760	2,670	2,650	3,050	3,000	2,818 ± 62.8	3,040 ± 200	92.7

4.2.2 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ซ้ำ

จากวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน 3 ซ้ำ ทุกตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของ RSE ของผลวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมในดินตะกอนมีค่า ร้อยละ 3.31 ± 1.53 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ (ไม่เกินร้อยละ 10) แสดงว่าผลการวิเคราะห์มีความเที่ยง (precision)

4.2.3 ผลวิเคราะห์ปรอทในดินตะกอน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมที่ปรับฐานด้วยปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วในแห่งดินตะกอนอ่าวไทย แสดงผลในหน่วยนาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ng/g dw) สรุปไว้ในตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนจากอ่าวไทย 4 แห่ง มีค่าอยู่ในช่วง 18.6 ถึง 37.9 ng/g dw โดยสถานีใกล้ฝั่ง 2 สถานีที่วิเคราะห์ในการศึกษา จะมีปรอทสูงกว่าในสถานีกลางอ่าว โดยมีค่าเฉลี่ยในสถานี 14, 22, 29 และ 35 เท่ากับ 30.8 ± 3.97 , 25.4 ± 4.29 , 29.0 ± 5.77 และ 21.1 ± 2.64 ng/g dw ตามลำดับ และมีค่ากลาง (median) อยู่ที่ 30.3, 24.2, 28.6 และ 24.5 ng/g dw ตามลำดับ

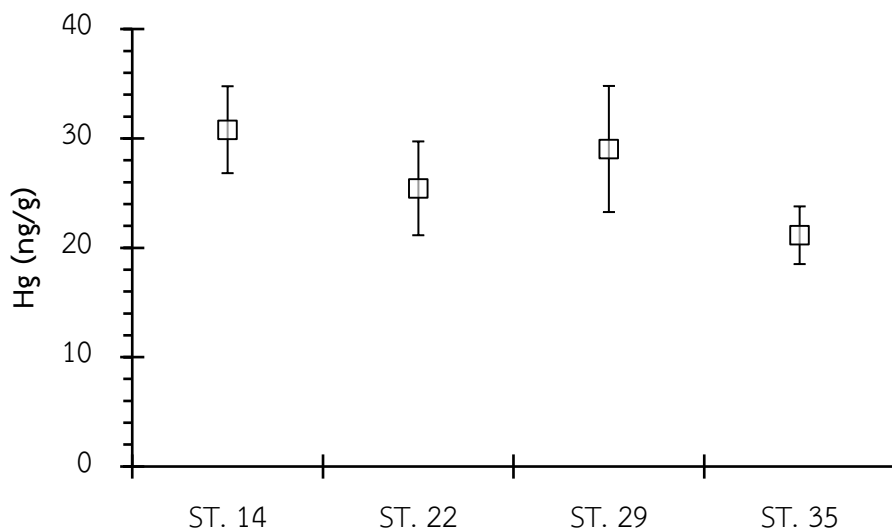
ส่วนในบริเวณความลึกที่ 0-1 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณผิวหน้าดินตะกอน (surface sediment) ในสถานีที่ 14 มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 35.5 ng/g dw มากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่น อาจเป็นผลมาจากสถานี 14 อยู่ใกล้ชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ คาดว่าได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไหลลงสู่ทะเล

ทั้งนี้ในสถานีที่ 29 ปริมาณปรอทมีค่าสูงสุดบริเวณความลึกที่ 12.5 เซนติเมตร ซึ่งมีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าเมื่อเทียบในความลึกเดียวกันและเป็นบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของปรอทสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษา มีค่าความเข้มข้นอยู่ที่ 37.9 ng/g dw อาจเป็นผลเนื่องมาจากในสถานีที่ 29 นั้นเป็นสถานีบริเวณกลางอ่าวไทย อยู่ใกล้บริเวณสัมปทานและการขนส่งปิโตรเลียม ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีการปนเปื้อนปรอท หากประเมินจากอัตราการตกตะกอนในอ่าวไทยอยู่ที่ 4-11 มิลลิเมตรต่อปี (Windom, 1984) ที่ระดับความลึก 12.5 เซนติเมตร น่าจะอยู่ในช่วง 25 ปีที่แล้ว ที่เริ่มทำสัมปทานปิโตรเลียมแต่ยังขาดมาตรการควบคุมที่ดีในการปล่อยน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (produced water) ลงทะเล

สถานี 14 มีปริมาณปรอทสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแห่งตะกอนอีก 3 แห่ง ปริมาณสูงที่สุดของแห่งตะกอนจากสถานีนี้อยู่ในช่วงความลึก 0-10 เซนติเมตรจากผิวดิน แม้ที่ทั้ง 4 สถานี จะมีปริมาณปรอทในแต่ละชั้นแตกต่างกัน ซึ่งเห็นได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) ของข้อมูลในดินตะกอนแห่งเดียวกัน และในทุกสถานีไม่มีความแตกต่างของปริมาณปรอทอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นในสถานี 35 มีความแตกต่างของปริมาณปรอทอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 สถานี (รูปที่ 4.2)

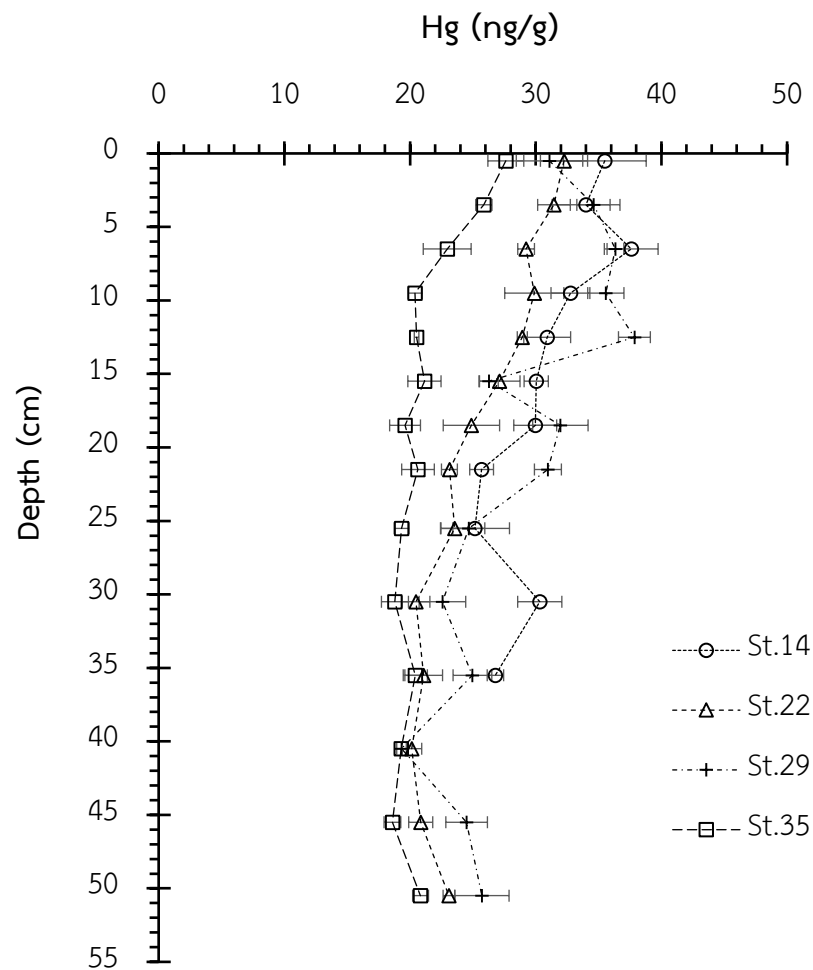
ตารางที่ 4.3 ปริมาณปรอทเฉลี่ยในแท่งดินตะกอนหลังปรับฐานด้วยคาร์บอนเตภายในแต่ละสถานี

ความลึก (cm)	Hg (ng/g carbonate free basis)			
	สถานี 14	สถานี 22	สถานี 29	สถานี 35
0 – 1	35.5 ± 1.90	32.2 ± 1.08	31.1 ± 1.53	27.6 ± 0.82
3 – 4	34.0 ± 1.56	31.5 ± 0.75	34.6 ± 0.76	25.9 ± 0.37
6 – 7	37.6 ± 1.23	29.2 ± 0.38	36.3 ± 0.39	23.0 ± 1.10
9 – 10	32.8 ± 0.89	29.9 ± 1.36	35.6 ± 0.83	20.4 ± 0.32
12 – 13	30.9 ± 1.08	28.9 ± 0.23	37.9 ± 0.73	20.5 ± 0.11
15 – 16	30.0 ± 0.56	27.1 ± 0.94	26.3 ± 0.43	21.1 ± 0.76
18 – 19	30.0 ± 0.98	24.9 ± 1.29	32.0 ± 1.27	19.6 ± 0.71
21 – 22	25.7 ± 0.55	23.1 ± 0.36	31.0 ± 0.62	20.6 ± 0.75
25 – 26	25.2 ± 1.58	23.6 ± 0.64	24.7 ± 0.73	19.3 ± 0.34
30 – 31	30.3 ± 1.01	20.5 ± 0.64	22.6 ± 1.07	18.8 ± 0.62
35 – 36	26.8 ± 0.38	21.1 ± 0.87	25.0 ± 0.89	20.4 ± 0.55
40 – 41		20.1 ± 0.46	19.3 ± 0.22	19.3 ± 0.31
45 – 46		20.9 ± 0.55	24.5 ± 0.95	18.6 ± 0.38
50 – 51		23.1 ± 0.27	25.7 ± 1.24	20.8 ± 0.36
Min – Max	25.2 – 37.6	20.1 – 32.2	19.3 – 37.9	18.6 – 27.6
Average ± SD	30.8 ± 3.97	25.4 ± 4.29	29.0 ± 5.77	21.1 ± 2.64
Median	30.3	24.2	28.6	20.5



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปรอทในแท่งดินตะกอนสถานี 14, 22, 29 และ 35

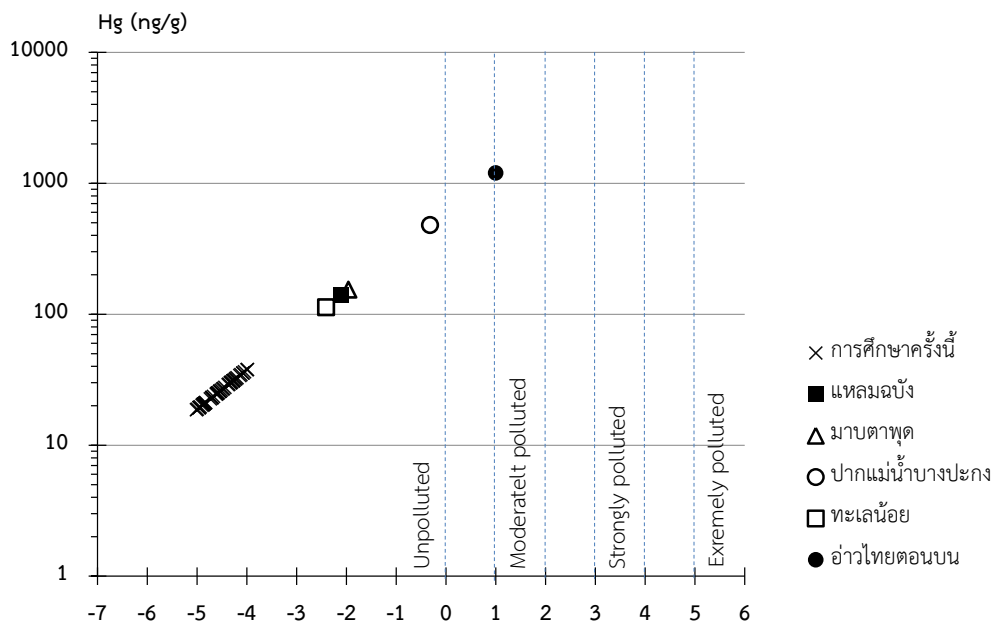
ปริมาณปรอท (carbonate free basis) ในแท่งดินตะกอนในทุกสถานี จะเห็นได้ว่า มีแนวโน้มลดลงตามความลึก และค่อนข้างคงที่เมื่อถึงความลึก 20–30 เซนติเมตร โดยจะมีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณผิวหน้าดิน (surface sediment) และปริมาณที่คาดว่าจะป็นค่าพื้นฐานปริมาณปรอทภายในอ่าวไทย ที่ระดับความลึกที่ 20.5 เซนติเมตร ลงไปในทุกสถานี มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 19 ถึง 26 ng/g dw สถานีที่ 14 ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณชายฝั่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากรูปที่ 4.3 มีค่าพื้นฐานของปรอทสูงที่สุด ซึ่งอาจทำให้มีการปนเปื้อนเข้ามาจากกิจกรรมของมนุษย์



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอนตามความลึกในสถานี 14, 22, 29 และ 35

4.3 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo} index)

ปริมาณของปรอทในตัวอย่างทั้งหมดมีค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีอยู่ระหว่าง -5.01 ถึง -4.00 (รูปที่ 4.4) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0 หมายความว่าที่ศึกษาครั้งนี้สถานการณ์ในพื้นที่ศึกษายังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่เรียกว่าปนเปื้อน (ตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.3) เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่ศึกษาอื่น เช่น มาบตาพุดหรือแหลมฉบัง ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรม และบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงหรืออ่าวไทยตอนบน มีค่าความเข้มข้นของปรอทสูงกว่า รวมถึงบริเวณทะเลน้อยที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งทำให้มีค่าปรอทสะสมอยู่สูง

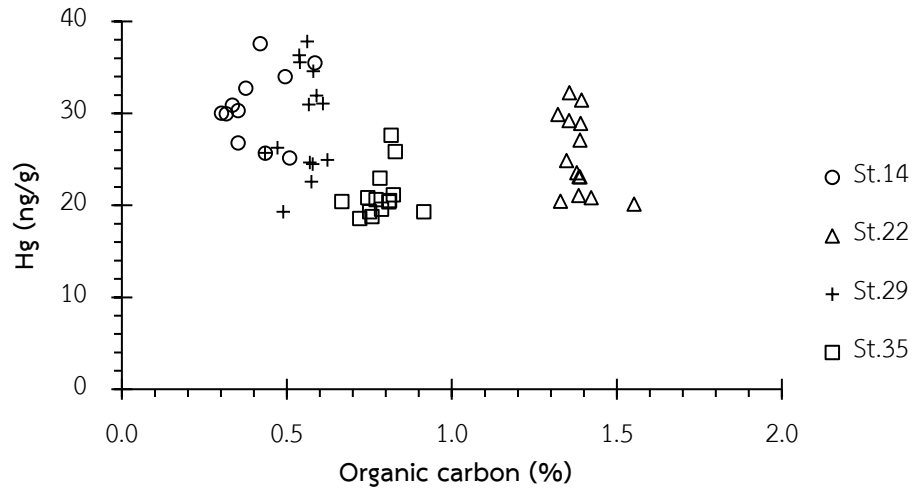


รูปที่ 4.4 ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีปริมาณปรอทในสถานีทั้งหมด

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมของปรอทในดินตะกอน

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์กับความเข้มข้นของปรอท

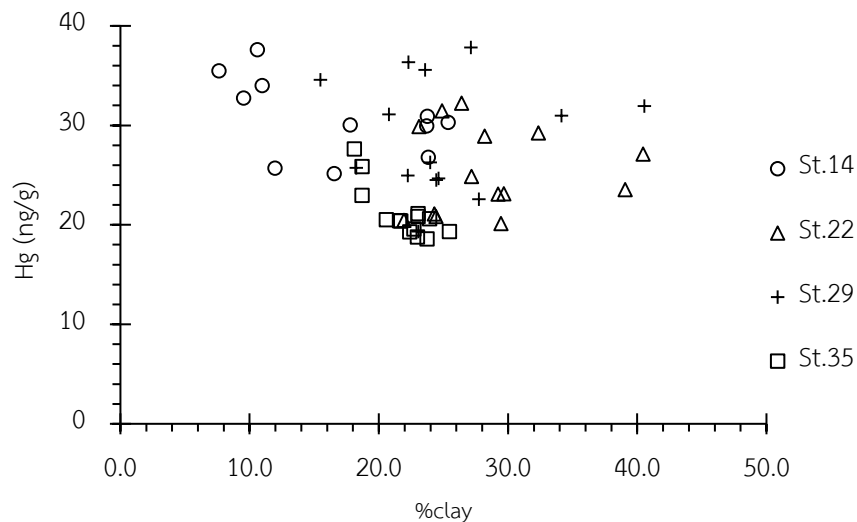
ในแต่ละสถานีนั้นมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แตกต่างกันและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณปรอทในทุกสถานี แสดงว่าปรอทในดินตะกอนน่าจะมาจากการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยกิจกรรมของมนุษย์ คาร์บอนอินทรีย์ภายในดินตะกอนแห่งเดียวมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณปรอทแตกต่างกัน (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ และ ปริมาณปรอทในดินตะกอนจากอ่าวไทย

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับความเข้มข้นของปรอท

ปรอทมีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคดินเหนียว (clay) แต่ไม่มากนัก จะเห็นได้ว่าปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมากขึ้นจะมีปริมาณปรอทมากขึ้น (รูปที่ 4.6) เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีพื้นที่ผิวมากจึงมีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยากับปรอทมากกว่าหากมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมาก



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคดินเหนียวกับความเข้มข้นของปรอท

บทที่ 5 สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7.84 ถึง 25.16 โดยพบปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากที่สุดในสถานีที่ 29 บริเวณกลางอ่าวไทย โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.7 ถึง 25.1 ปริมาณปรอทในดินตะกอนหลังปรับฐานด้วยคาร์บอเนตมีค่าอยู่ระหว่าง 18.6 ถึง 37.9 ng/g dw มีความเข้มข้นลดลงตามความลึก และมีปริมาณมากบริเวณผิวหน้าดิน โดยที่ค่าความเข้มข้นของปรอทนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพิ่มขึ้นจากค่าพื้นฐานซึ่งอยู่ที่ระดับความลึก 20-50 ซม. ค่าอยู่ในช่วง 19 ถึง 26 ng/g dw (carbonate free basis) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณปรอทที่ระดับผิวดิน (surface sediment) กับการศึกษาครั้งก่อนโดย เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ (2557) สถานี 14, 22, 29 และ 35 ซึ่งมีค่าปรอทอยู่ที่ 35.5, 32.2, 31.1 และ 27.6 ng/g dw พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่พบในพื้นที่ใกล้เคียงของปริมาณปรอทที่ผิวดินตะกอน มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยทั้งลดลงในสถานีที่ 14 และ 22 และเพิ่มขึ้นในสถานี 29 และ 35

ในสถานีที่ศึกษาความเข้มข้นของปรอทกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แทบไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งบอกได้ว่าปรอทที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมนั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับขนาดอนุภาคดินเหนียวพบว่ามีความสัมพันธ์น้อย เนื่องจากดินตะกอนนั้นเป็นดินตะกอนภายในแท่งตะกอนเดี่ยวจึงมีความแตกต่างทั้งความเข้มข้นของปรอท ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณขนาดอนุภาคดินเหนียวน้อย ทำให้เห็นความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน ทั้งนี้จากผลการศึกษาความเข้มข้นของปรอทในพื้นที่ศึกษา โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่ามาตรฐานของปรอทในดินตะกอนในประเทศไทยนั้นมีค่าน้อยกว่าค่า Effect Range Low และ ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี มีค่าน้อยกว่า 0 แปลว่า สถานการณ์ปรอทในพื้นที่ศึกษายังจัดอยู่ในเกณฑ์ไม่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์และยังอยู่ในภาวะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอ่าวไทยมีกิจกรรมปีโตรเลียมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของปรอท ซึ่งจะมีการปนเปื้อนของปรอทอย่างต่อเนื่องแต่การศึกษาแต่ละครั้งใช้อุปกรณ์และเวลามาก ดังนั้นการศึกษากการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของความเข้มข้นปรอทโดยใช้แท่งดินตะกอน จะสามารถบอกแนวโน้มการสะสมซึ่งจะนำมาซึ่งการบริหารจัดการจากตัวอย่างแท่งดินตะกอนทั้งหมด 35 แห่ง ที่เก็บตัวอย่างในโครงการนี้ หากทำการศึกษาพิจารณาน่าจะสามารถประมาณค่าพื้นฐานของปรอทที่มีอยู่ในอ่าวไทยได้ ดัชนีการสะสมเชิงธรณีเป็นเครื่องมือที่สามารถบอกระดับการปนเปื้อนของปรอทและประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนในพื้นที่ได้

เอกสารอ้างอิง

ออนไลน์

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. รายงานประจำปี 2560. [ออนไลน์]. 2561. แหล่งที่มา:

<http://dmf.go.th/resources/annualReport/ebook/annual2017/index.html>

[25 มกราคม 2561]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. ระบบฐานข้อมูลกลางและมาตรฐานข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

ข้อมูลสมุทรศาสตร์ฝั่งอ่าวไทย. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา:

https://km.dmcr.go.th/th/c_51/d_1132 [25 มกราคม 2561]

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. ความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์.ปรอท (Mercury). ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตราย และอนุสัญญา กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ.

เกษม พลายแก้ว. 2548. ปรอท: สารเคมีใกล้ตัวที่ควรรู้จัก. วารสาร มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

วิชาการ ฉบับที่ 16: 81 – 96.

เบญจวรรณ แสนสิทธิสกุลเลิศ. 2557. การปนเปื้อนเชิงพื้นที่และค่าพื้นฐานของปรอทในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัชนิกร บำรุงราชหิรัณย์, วรรณภา จำราช และ ชันธ์พงษ์ จริงจิตร. 2530. โลหะในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน. การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย กรุงเทพมหานคร.

สุวัจน์ ธีธรรส. 2557. มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง (Marine and Coastal) : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

สุชาติ บัวแก้ว. 2550. การปนเปื้อนปรอทในตะกอนผิวหน้าในอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำไพ อธิเกษม, รัชนิกร บำรุงราชหิรัณย์, วรรณภา แก้วภักดี และ ชันธ์พงษ์ จริงจิตร. 2524. ผลการวิเคราะห์โลหะปริมาณน้อยในน้ำทะเลและดินตะกอน. การสัมมนาครั้งที่ 2 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

- Barbier, M. 2016. The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (I_{geo}) to Evaluate the Soil Contamination. *Geology & Geophysics*.
- Benninger, L.K. and Krishnaswami, S. 1981. Sedimentary processes in the inner Newyork bight evidence from ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 158-174.
- Duan, L.Q. 2015. Spatial variation, fractionation and sedimentary records of mercury in the East China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 101, 434-441.
- Elder, J.F. 1988. *Metal Biogeochemistry in Surface-Water Systems. A Review of Principles and Concepts*. U.S. Geological Survey: United States Government printing office.
- Emsley, J. 2011. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford UK. Oxford University Press.
- Kim, L.H., Choi, E. and Stenstrom, M. K. 2003. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments. *Chemosphere*, Volume 50, 53-61.
- Krabbenhoft, D. P. and Rickert, D. A. 1995. *Mercury Contamination of Aquatic Ecosystems*. U.S. Department of the Interior–U.S. Geological Survey
- Libes, S.M. 2009. *Introduction to marine biogeochemistry. Second Edition*. California, USA. an imprint of Elsevier.
- Magos, L. 1990. Marine health hazards of anthropogenic and natural origin. In UNEP: Technical annexes to the report on the state of the marine environment. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 114/2.
- Schroeder, H. W., Yarwood, C., and Niki, H. 1991. Transformation Processes involving mercury species in the atmosphere. *Water, Air and Soil Pollution*, Volume 56: 653-665.
- Schuster, E. 1991. The behavior of mercury in the soil with special emphasis on complexation and adsorption processes - A review of the literature. *Water air & soil pollution*, Volume 56, 667-680.
- Skei, J. M., Larsson, P., Rosemberg, R., Jonsson, P., Olson, M., and Broman, D. 2000. Eutrophication and contaminants in aquatic ecosystems. *Ambio* 29: 184-194.

- Thongra-ar, W. and others. 2008. Heavy Metals Contamination in Sediments along the Eastern Coast of the Gulf of Thailand. *EnvironmentAsia* 1, 37-45.
- Tomiyasu, T., and others. 2006. Spatial variation of mercury in sediment of Minamata Bay, Japan. *Science of total environment*, 368, 283-290.
- US EPA. 2001. Appendix to method 163, Total Mercury in tissue, sludge, sediment and soil. A standard operating procedure. Frontier Geosciences, Inc.
- UNEP. 1984. List of environmentally dangerous chemical substances and process of global significance. UNEP report no.2, scientific monographs. Geneva. 71
- Wills., E. D. 1985. Toxic metals. *Biochemical Basis of Medicine*. Butterworth & Co. (Publisher) Ltd.
- Windom, H. L., and others. 1984. Trace metal composition of an and accumulation rates of sediments in the upper gulf of Thailand. *Estuarine, coastal and shelf science* 19. 133-142

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

ผ.1 ตารางแสดงพิกัดสถานีที่เก็บตัวอย่างแท่งตะกอน

สถานี	พิกัด	
	ละติจูด (Latitude)	ลองจิจูด (Longitude)
14	11° 15.184'	99° 45.421'
22	10° 12.358'	99° 40.422'
29	09° 46.565'	101° 05.270'
35	08° 43.098'	101° 05.360'

ภาคผนวก 2

การวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต

1. รีเอเจนต์ (Reagent)

1. สารละลาย 0.5 M HCl (ปริมาณ 5 ลิตร)
นำ conc. HCl (12 M) มา 208 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 4.8 ลิตร
2. สารละลาย 0.25 M NaOH (ปริมาณ 3 ลิตร)
ชั่ง NaOH 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 3 ลิตร
3. Phenolphthalein 0.1 % (w/v)
ละลาย Phenolphthalein 100 มิลลิกรัม ใน 80 มิลลิลิตร เอทานอล แล้วเติมน้ำลงไป 20 มิลลิลิตร (เก็บในขวดแก้ว)
4. Bromocresol green 0.08 % (w/v)
ละลาย 40 มิลลิกรัม Bromocresol green ใน 25 มิลลิลิตร เอทานอล แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 25 มิลลิลิตร (เก็บในขวดแก้ว)
5. สารมาตรฐาน Na_2CO_3
6. สารละลายมาตรฐาน 0.05 M KHP 500 มิลลิลิตร ($M_w = 204.22$)
ชั่ง KHP 5.1 กรัม (จุดน้ำหนัก) ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. ขั้นตอนการทำงานทดลอง

2.1. การหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (Standardization)

1. ปิเปตสารละลาย 0.05 M Potassium hydrogen phthalate (KHP) มา 25 มิลลิลิตร
2. หยด phenolphthalein 3-4 หยด
3. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.25 M NaOH ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน
4. ทำซ้ำ

2.2. การหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย HCl (Standardization)

1. ชั่ง Na_2CO_3 มา ประมาณ 0.6 – 0.7 กรัม บันทึกค่าน้ำหนัก
2. ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 25 – 30 mL
3. หยด bromocresol green 3-4 หยด สารละลายจะมีสีฟ้า

4. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.5 M HCl จนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียวจากนั้น นำไปต้ม 2-3 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและทำการไทเทรตอีกครั้งจนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีฟ้า
6. ทำซ้ำ

2.3. การตรวจสอบประสิทธิภาพการวิเคราะห์

1. ชั่ง Na_2CO_3 ประมาณ 0.2 กรัม
2. เติม 0.5 M HCl 20 มิลลิลิตร
3. นำไปไทเทรตด้วย 0.25 M NaOH
4. ถ้าตัวอย่างใช้ NaOH น้อยกว่า 1 มิลลิลิตร ให้ทำใหม่ เนื่องจากยังมี carbonate ลงเหลืออยู่ (HCl น้อยเกินไป)

2.4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ชั่งดินที่อบแห้งและบดแล้ว 1 กรัม
2. เติม 0.5 M HCl 10 มิลลิลิตร ด้วยบิวเรต
3. นำสารละลายไปอุ่นด้วย hotplate
4. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. เติม phenolphthalein 4 หยด หรือมากกว่านั้น
6. ไทเทรตด้วย 0.25 M NaOH จนถึงจุดยุติ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน

3. การคำนวณหาร้อยละแคลเซียมคาร์บอเนตในตัวอย่าง

$$C_{\text{HCl}} = \frac{2 \times W_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{ (g)}}{M_w \times \text{ปริมาตร HCl ที่ใช้ (mL)}}$$

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{W_{\text{KHP}} \text{ (g)} \times \text{ปริมาตร KHP ที่เปิด (mL)}}{M_w \times \text{ปริมาตร stock (L)} \times \text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)}}$$

$$\% \text{ (w/w) CaCO}_3 = \frac{[C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}} - C_{\text{NaOH}}V_{\text{NaOH}}] \times 10^{-3} \times 100.09 \times 100}{2 \times W_{\text{sample}} \text{ (g)}}$$

ภาคผนวก 3

การย่อยสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวม (Total mercury)

1. หลักการวิเคราะห์

วิธีสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวม ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก US-EPA METHOD 1631 (US - EPA, 2001) Appendix to Method 1631 Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment and Soil

2. รีเอเจนต์ (Reagent)

1. Suprapure HCl
2. Suprapure HNO₃
3. สารละลาย 0.2% (w/v) NaBH₄ ใน 0.05% (w/v) NaOH 1 ลิตร
ละลาย NaOH 500 มิลลิกรัม ในน้ำปราศจากไอออน (DI water) 1 ลิตร จากนั้นเติม NaBH₄ 2 กรัม เขย่า จะได้สารละลายใส ไม่มีสี
4. สารละลาย 12% NH₂OH·HCl
ละลาย NH₂OH·HCl 12 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน (DI water) 100 มิลลิลิตร
5. สารละลาย 0.2 N BrCl
ละลาย KBr 1.08 กรัม ใน conc. HCl (Suprapure) 100 mL เมื่อ KBr ละลายหมด แล้วจึงเติม KBrO₃ 1.52 กรัม ทีละน้อย สารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองอำพัน
6. สารละลาย 3% (v/v) HCl
เจือจาง conc. HCl 30 มิลลิลิตร ในน้ำปราศจากไอออน (DI water) 1 ลิตร
7. สารละลาย 2% (v/v) HNO₃
เจือจาง conc. HNO₃ 20 มิลลิลิตร ในน้ำปราศจากไอออน (DI water) 1 ลิตร

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปรอท

1. ชั่งสาร Mercury chloride (HgCl₂) 0.0135 กรัม ละลายใน 3% (v/v) HCl ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร ความเข้มข้นของสารละลาย Hg ที่ได้มีค่าเท่ากับ 100 µg/ml
2. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 1. มาทำการเจือจางเป็น 100 µg/l โดยดูดสารละลายจากข้อ 1. ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 3% (v/v) HCl โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

3. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2. มาทำการเจือจางให้เป็นสารละลาย Hg ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ได้แก่ 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 8.0 และ 10.0 $\mu\text{g/l}$

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำดินตะกอนที่อบแห้งและบดแล้วใส่ลงในหลอดแก้ว 0.4 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ใส่สารละลาย Aqua Regia (HNO_3 : HCl = 1:4 v/v) 3 มิลลิลิตร
3. ปิดปากหลอดด้วย PE wrap และจึงปิดฝา ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องมากกว่า 12 ชั่วโมง
4. นำหลอดตัวอย่างไปอุ่นด้วยเตาให้ความร้อนแบบ heating box ที่อุณหภูมิ 95°C นาน 15 นาที
5. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) จนครบ 40 มิลลิลิตร แล้วจึงเขย่า ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จนสารละลายด้านบนใส
6. รินสารละลายใส่หลอดแก้ว หรือหลอดพลาสติก 10 มิลลิลิตร แล้วเติม BrCl 100 ไมโครลิตร รอประมาณ 10 นาที
7. เติม 12% $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ลงไป 100 ไมโครลิตร รอ 10 นาที แล้วนำไปวัด
8. ใช้ก๊าซอาร์กอน (argon gas) เป็นตัวพาไอปรอทเข้าเครื่อง Flow – Injection Mercury Analyzer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น FIMS 400 (Mercury Analyzer) ตรวจวัดปริมาณไอปรอทเทียบกับสารละลายมาตรฐานปรอท