



การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต
บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

**A Study of Sediment Dating and Heavy Metal Accumulation in Sediments at
Phuket Bay, Saphan Hin, Phuket Province**

ไผ่มุก ใจเหล็ก

Kaimook Jaileak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Technology and Environmental Management**

Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต
บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

**A Study of Sediment Dating and Heavy Metal Accumulation in Sediments at
Phuket Bay, Saphan Hin, Phuket Province**

ไผ่มุก ใจเหล็ก

Kaimook Jaileak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Technology and Environmental Management**

Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อำเภอ
ภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก
สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.คณัย ทิพย์มณี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)

.....กรรมการ
(ดร.ชนิตา อารีรบ)

..... กรรมการ
(ดร.ศีลาวุธ คำรังศิริ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรอง ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าว ภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน	นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

จังหวัดภูเก็ตมีการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตซึ่งเป็นที่นิยมมาก จึงส่งผลให้ระบบนิเวศเกิดความเสียหายและทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักลงในแหล่งน้ำและตะกอนดิน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ดีบุก ตะกั่ว และสังกะสี) จากสองแห่งตะกอนดิน ณ บริเวณอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต โดยทำการย่อยตัวอย่างด้วยวิธี *aqua regia* และนำไปตรวจวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ผลจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของดีบุก ตะกั่ว และสังกะสี อยู่ในช่วง 49.9 ถึง 167 mg/kg, 9.6 ถึง 58.7 mg/kg และ 45.4 ถึง 144 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งการประเมินระดับมลพิษในตะกอนดินโดยใช้ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) พบว่า ตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ศึกษาทั้งสองจุดอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนไปจนถึงมีการปนเปื้อนปานกลาง (-1.4 ถึง 0.2 และ -1.0 ถึง 0.3 ตะกั่วและสังกะสี ตามลำดับ) นอกจากนี้จากการศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักโดยใช้ปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) พบว่า การสะสมตัวของโลหะหนักที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูงจากกิจกรรมมนุษย์ (2.2 ถึง 11.2 และ 1.7 ถึง 7.3 ตะกั่วและสังกะสี ตามลำดับ) อีกทั้งจากการศึกษาประวัติการปนเปื้อนมลพิษโลหะหนัก โดยใช้การวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในแห่งตะกอนดิน พบว่า ตะกอนดินมีอายุอยู่ในช่วง 4.30 ถึง 134.64 ปี (ค.ศ. 1883 ถึง 2013) และมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ $0.175 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ โดยการสะสมโลหะหนักในแห่งตะกอนดิน มีความสอดคล้องกับช่วงการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่ดีบุกและการพัฒนาเศรษฐกิจของภูเก็ตในอดีตที่ผ่านมา

คำสำคัญ: การสะสมตัว ปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน ดัชนีการสะสมเชิงธรณี โลหะหนัก ตะกอนดิน ตะกั่ว-210 อัตราการตกตะกอน

Thesis Title	A Study of Sediment Dating and Heavy Metal Accumulation in Sediments at Phuket Bay, Saphan Hin, Phuket Province
Author	Miss Kaimook Jaileak
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic Year	2017

ABSTRACT

Phuket has a tin mining which is very popular in the past. Tin mining activities have caused the impact on the ecosystem and metal contamination in the water and sediment. Therefore, this study was aimed to analyze the concentrations of heavy metals (Sn, Pb, and Zn) in the two sediment cores at Phuket bay, Phuket, Thailand. The analysis of heavy metal content was carried out by using *aqua regia* digestion and measured by using inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). The results showed the concentrations of Sn, Pb, and Zn were ranged from 49.9 to 167 mg/kg, 9.6 to 58.7 mg/kg, and 45.4 to 144 mg/kg, respectively. The degree of pollution level in sediments assessed by Geo-accumulation index (I_{geo}) indicated that the sediment samples in this study were either not contaminated or moderately contaminated with Pb and Zn (-1.4 to 0.2 and -1.0 to 0.3 for Pb and Zn, respectively). The accumulation of heavy metals was evaluated using Enrichment Factor (EF) and the results showed that sediment samples are minimal to significant enrichment from anthropogenic activity (2.2 to 11.2 and 1.7 to 7.3 for Pb and Zn, respectively). In addition, history of heavy metal pollution in Phuket Bay was studied using the ^{210}Pb geochronology in sediment core. The results showed the ages of sediment are ranged from 4.30 to 134.64 years (1883 to 2013) with the average sedimentation rate of $0.175 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ and it is consistent with the development of the tin mining industry and the economic development of Phuket in the past.

Keywords: Accumulation, Enrichment Factor, Geo-accumulation, Heavy metal, Sediment, ^{210}Pb , Sedimentation rate

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์ ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.คนัย ทิพย์มณี, ดร.ธนิดา อารีรบ และ ดร.ศีลาวุธ ดำรงศักดิ์ ที่สละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธงชัย สุธีรศักดิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง ตลอดจนเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบคุณ สถาบันนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และคุณบุญสม พรเทพเกษมสันต์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากกัมมันตภาพรังสี ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนได้ผลสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมอบโอกาสทางการศึกษาและทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณจิตรลดา เอสุจินต์ เจ้าหน้าที่งานบัณฑิตศึกษา ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับกำลังใจจากครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน ส่งเสริม และช่วยเหลือในทุกด้านจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ไข่มุก ใจเหล็ก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
2.1 ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดภูเก็ต	5
2.2 ข้อมูลสมุทรศาสตร์ของจังหวัดภูเก็ต	6
2.3 ทรัพยากรแร่ของจังหวัดภูเก็ต	8
2.4 ประวัติความเป็นมาของแร่ดีบุกจังหวัดภูเก็ต	9
2.5 แหล่งแร่ดีบุกจังหวัดภูเก็ต	11
2.6 ประวัติพื้นที่รองรับน้ำคลองบางใหญ่	11
2.7 ประวัติพื้นที่อำเภอภูเก็ต (สะพานหิน)	13
2.8 โลหะหนัก (Heavy metals)	13
2.8.1 ดีบุก (Sn)	14
2.8.2 ตะกั่ว (Pb)	14
2.8.3 สังกะสี (Zn)	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 การตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน	17
2.10 การวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน โดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสี ตะกั่ว-210 (^{210}Pb)	19
2.11 การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก	21
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	25
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	25
3.2 การดำเนินงานวิจัย	27
3.3 วิธีการวิเคราะห์	28
3.3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	28
3.3.2 การวิเคราะห์แท่งตะกอนดิน	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	36
4.1 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินตัวอย่าง	36
4.2 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/kg)	40
4.2.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน (Method validation)	46
4.3 ค่าดัชนีตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน	47
4.3.1 ดัชนีสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo})	47
4.3.2 การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF)	49
4.4 การวิเคราะห์ตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb)	52
4.4.1 ค่ากัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 ในชั้นตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต	52
4.4.2 การวิเคราะห์อายุของตะกอนดินและการวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน	54
4.4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ของลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่อ่าวภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกับปัจจัยต่าง ๆ	57
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	77

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินจากแหล่งที่มาต่าง ๆ	17
3.1 เกณฑ์ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดินจากดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})	34
3.2 เกณฑ์ระดับของอิทธิพลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จากปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF)	35
4.1 ความเข้มข้นของตะกั่ว สังกะสี และดีบุก (mg/kg) ในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดิน จุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน	41
4.2 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นตะกั่ว สังกะสี และดีบุกในตะกอนดินจากแหล่งต่าง ๆ	45
4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน (Method validation)	46
4.4 ค่าอัตราการตกตะกอนและอายุของตะกอนดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ	54
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) แท่งตะกอนจุด A	61
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) แท่งตะกอนจุด B	62

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต	7
2.2 แผนที่เส้นทางคลองบางใหญ่	12
3.1 ตัวอย่างแท่งเก็บตะกอนดินแบบ Russian corer	26
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
3.3 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ณ อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต	29
4.1 (a) ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด	37
4.1 (b) ค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด	37
4.1 (c) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด	38
4.2 (a) ดัชนีการสะสมเชิงธรณีของตะกั่วในชั้นตอนดินของแท่งตะกอนดิน จุด A และจุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต	48
4.2 (b) ดัชนีการสะสมเชิงธรณีของสังกะสีในชั้นตอนดินของแท่งตะกอนดิน จุด A และจุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต	49
4.3 (a) การสะสมตัวของตะกั่วในชั้นตอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และจุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต	51
4.3 (b) การสะสมตัวของสังกะสีในชั้นตอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และจุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต	52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากัมมันตภาพรังสีตะกั่ว-210 (dpm/g) กับ ความลึกของชั้นตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต	53
4.5 ค่าอัตราการตกตะกอน ($\text{g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$) เปรียบเทียบกับช่วงเวลาในระดับความลึกต่าง ๆ	56
4.6 ค่าความเข้มข้นของดีบุก ตะกั่ว และสังกะสี (mg/kg), ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}), และค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) เปรียบเทียบกับช่วงเวลาในระดับความลึกต่าง ๆ	60

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

^{210}Pb	Isotope lead-210
CIC	Concentration Constant flux/constant sedimentation rate model
CRS	Constant Rate of Supply หรือ Constant flux model
EF	Enrichment Factor
ICP	Inductively Coupled Plasma
ICP-OES	Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer
I_{geo}	Geo - accumulation index
ORP	Oxidation Reduction Potential
Pb	Lead
Sn	Tin
SQGs	Sediment Quality Guidelines
TEC	Threshold Effects
Zn	Zinc

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

โลหะหนักเป็นกลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 g/cm^3 และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 4 ซึ่งจัดเป็นโลหะที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตถ้าเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร มีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้าหรือไม่สามารถสลายตัวได้ เนื่องจากมีความเสถียร (สุทธิณี มีสุข, 2555) โดยหากมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในธรรมชาติในปริมาณที่สูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งนี้ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบหรือพันธะทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด ดังนั้นจึงควรมีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อให้โลหะหนักต่าง ๆ ไม่มีการสะสมตัวอยู่ในธรรมชาติมากเกินไป (จุไรรัตน์ มหาเทียน, 2555)

จังหวัดภูเก็ต เป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ของประเทศไทยที่มีการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ดีบุกซึ่งเป็นที่นิยมทำกันมากในอดีต อุตสาหกรรมเหมืองแร่เป็นแหล่งอาชีพที่สร้างรายได้และเป็นองค์ประกอบพื้นฐานทางด้านเศรษฐกิจ แต่อย่างไรก็ตามการเปิดหน้าดินก่อให้เกิดการชะล้างและพังทลายของหน้าดินส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศเป็นอย่างมาก (นันทวรรณ คงขวัญ, 2558) โดยการทำกิจกรรมเหมืองแร่ดีบุก มีการปล่อยโลหะและสารพิษต่าง ๆ ออกมากับน้ำที่ใช้ในการล้างแร่และหางแร่ ซึ่งเป็นการปล่อยออกมาสู่ธรรมชาติโดยที่ไม่ได้มีการบำบัดก่อนเป็นอาจเป็นที่มาของการปนเปื้อนโลหะในแหล่งน้ำและก่อให้เกิดการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินโดยเฉพาะในคลองบางใหญ่ซึ่งเป็นคลองสายหลักของจังหวัดภูเก็ต ที่ใช้ในการคมนาคม การขนส่งในอดีตและเป็นคลองที่รองรับน้ำทิ้งที่ปล่อยมาจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ ในอำเภอกะทู้ และอำเภอเมืองภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ธงชัย สุทธิศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, 2551) จุดสิ้นสุดของคลองบางใหญ่ คือ อ่าวภูเก็ต ที่เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากการทำเหมืองแร่ดีบุก น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและกิจกรรมของมนุษย์ตลอดแนวคลองบางใหญ่ โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากกิจกรรมข้างต้น อาจเกิดการปะปนของแร่โลหะหรือสารมลพิษอื่น ๆ ลงในแหล่งน้ำและดิน ตะกอน เกิดการสะสมแร่ธาตุดังกล่าวในพืชและสัตว์จนสามารถถ่ายทอดมายังคนโดยตรงหรือส่งต่อมาสู่ห่วงโซ่อาหาร

การวิเคราะห์อัตราตกทับถมของตะกอนโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสี ตะกั่ว-210 (^{210}Pb) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการประเมินการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอัตราการทับถมของตะกอนในช่วงระยะประมาณ 100-150 ปี โดย ^{210}Pb มีค่าครึ่งชีวิต 22.3 เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศจากการสลายตัวของเรดอน-222 (^{222}Rn) และถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศในรูปของฝุ่นกัมมันตรังสี (fallout) เมื่อตกลงสู่ทะเลและมหาสมุทร ^{210}Pb จะจับกับพื้นผิวของอนุภาคแขวนลอย และผสมรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับตะกอนตกลงสู่พื้นทะเล โดยรูปแบบการการแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสี ^{210}Pb ในชั้นดินตะกอนสามารถนำมาคำนวณอัตราการทับถมของดินตะกอนหรือการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมในด้านอื่น ๆ ได้ (จนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, และคณะ, 2556) จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้ผู้ศึกษามีความสนใจที่จะทำการศึกษาระดมตัวธาตุโลหะหนักในตะกอนดิน, ศึกษาอายุของตะกอนดินและอัตราการตกตะกอนเพื่อสามารถทราบถึงประวัติของการปนเปื้อนในบริเวณสะพานหินพื้นที่อ่าวภูเก็ต ซึ่งเป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากคลองบางใหญ่ และยังสามารถนำไปเชื่อมโยงถึงเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นในอดีตที่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนในพื้นที่นั้น ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งโลหะหนักที่สนใจในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ ดีบุก (Tin, Sn), ตะกั่ว (Lead, Pb), และสังกะสี (Zinc, Zn) โดยโลหะหนักเหล่านี้เป็นธาตุที่พบมากจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) และหากมีการสะสมในธรรมชาติมากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณสะพานหิน อ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาอายุของตะกอนดิน (sediment dating) และอัตราการตกตะกอน (sedimentation rate) 2) เพื่อศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดิน (heavy metal accumulation) เพื่อทราบถึงประวัติการปนเปื้อนโลหะหนักในบริเวณพื้นที่ปลายแหลมสะพานหิน และทราบถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณดังกล่าว ซึ่งโลหะหนักที่ทำการศึกษาคือ ธาตุดีบุก (Sn), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn) โดยใช้ปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment Factor, EF) และ ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) ในการประเมินระดับการปนเปื้อนและระดับการสะสมตัวของธาตุดีบุก (Sn), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn) ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ในพื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประเมินอายุของตะกอนดิน และอัตราการตกตะกอน ในพื้นที่อำเภอภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์การสะสมตัวของตะกั่ว (Pb), ดีบุก (Sn), และสังกะสี (Zn) ในชั้นตะกอนดินในพื้นที่อำเภอภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

1.2.3 เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนของตะกั่ว (Pb), ดีบุก (Sn), และสังกะสี (Zn) ในพื้นที่อำเภอภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเรื่องอัตราการตกตะกอนและการสะสมตัวของโลหะหนัก ในชั้นตะกอนดิน ณ พื้นที่อำเภอภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

- ธาตุโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์มี 3 ธาตุ คือ ดีบุก (Sn), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn)
- ทำการศึกษาชั้นตะกอนดินลึกลงจากผิวดิน 100 cm โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบบแท่ง Russian corer โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมด 2 แท่ง ตะกอนดิน คือ จุด A และจุด B
- ทำการย่อยตัวอย่างตะกอนดินเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะทั้งหมด (total metal concentration) โดยใช้วิธี *aqua regia* (HCl : HNO₃ อัตราส่วน 3 : 1 เป็นปริมาณ 15 ml) ตามวิธีมาตรฐาน US-EPA 3052 (1996) หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP)
- คุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของตะกอนดินที่ทำการวิเคราะห์ คือ ค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าศักย์ภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP), และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

- ประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยใช้ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) และค่าปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF)
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS โดยทำการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ศึกษาโดยใช้ Pearson Correlation Analysis
- ศึกษาอายุของตะกอนดินและอัตราการตกตะกอน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ไอโซโทปปรอท ^{210}Pb โดยใช้เครื่อง Alpha spectrometry

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลของงานวิจัยทำให้ทราบถึงอายุของตะกอนดินและอัตราการตกตะกอนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถนำไปเชื่อมโยงกับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีตในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ประวัติการปนเปื้อนโลหะหนักบริเวณสะพานหิน ในพื้นที่อำเภอภูเก็ต จังหวัดภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และทราบถึงระดับความเป็นพิษของดีบุก (Sn), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn) ในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การจัดการและการวางมาตรการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ตเป็นจังหวัดที่อยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของภาคใต้ในทะเลอันดามันมหาสมุทรอินเดีย มีพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ 7 องศา 45 ลิปดาถึง 8 องศา 15 ลิปดาเหนือและลองจิจูดที่ 98 องศา 15 ลิปดา ถึง 98 องศา 40 ลิปดาตะวันออก มีลักษณะเป็นเกาะซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดภูเก็ตเป็นหมู่เกาะที่วางตัวในแนวยาวจากทิศเหนือไปทิศใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาประมาณร้อยละ 70 และพื้นที่ร้อยละ 30 เป็นที่ราบอยู่ตอนกลางและตะวันออกของเกาะ ชายฝั่งด้านตะวันออกเป็นป่าชายเลนและดินเลน ส่วนชายฝั่งด้านตะวันตกเป็นภูเขาและหาดทราย โดยจังหวัดภูเก็ตสามารถแบ่งธรณีวิทยาได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ธรณีวิทยาหินอัคนี ธรณีวิทยาของหินตะกอน และธรณีวิทยาของตะกอนร่วน โดยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่ประกอบไปด้วยหินอัคนีชนิดหินแกรนิตเป็นหลัก (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) แสดงดังรูปที่ 2.1

2.2 ข้อมูลสมุทรศาสตร์ของจังหวัดภูเก็ต

1. ความลึกของพื้นผิวทะเล

บริเวณภูเก็ตฝั่งตะวันตก พื้นทะเลจะมีความลาดชันสูง ความลึกน้ำทะเลเฉลี่ย 1,000 m ในขณะที่บริเวณภูเก็ตฝั่งตะวันออก พื้นทะเลมีความลาดเทน้อยส่วนของไหล่ทวีปมีความลึกไม่เกิน 300 m

2. กระแสน้ำ

การไหลเวียนของกระแสน้ำในทิศทางต่าง ๆ สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

- บริเวณภูเก็ตฝั่งตะวันตก กระแสน้ำที่มีทิศทางไม่แน่นอน (turbulence) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อาจมีสาเหตุมาจากลักษณะชายฝั่งหรือสภาพภูมิประเทศ ซึ่งทะเลเปิด กระแสน้ำมักจะมึรูปแบบเป็น turbulence มากกว่าทะเลปิด

- ด้านใต้และด้านตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต กระแสน้ำที่มีทิศทางแน่นอน ซึ่งจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยช่วงน้ำขึ้นกระแสน้ำจะไหลจากด้านใต้ของเกาะภูเก็ตไปยังด้านตะวันออกของเกาะบริเวณอ่าวพังงาและไหลในทิศทางตรงกันข้ามในช่วงน้ำลง

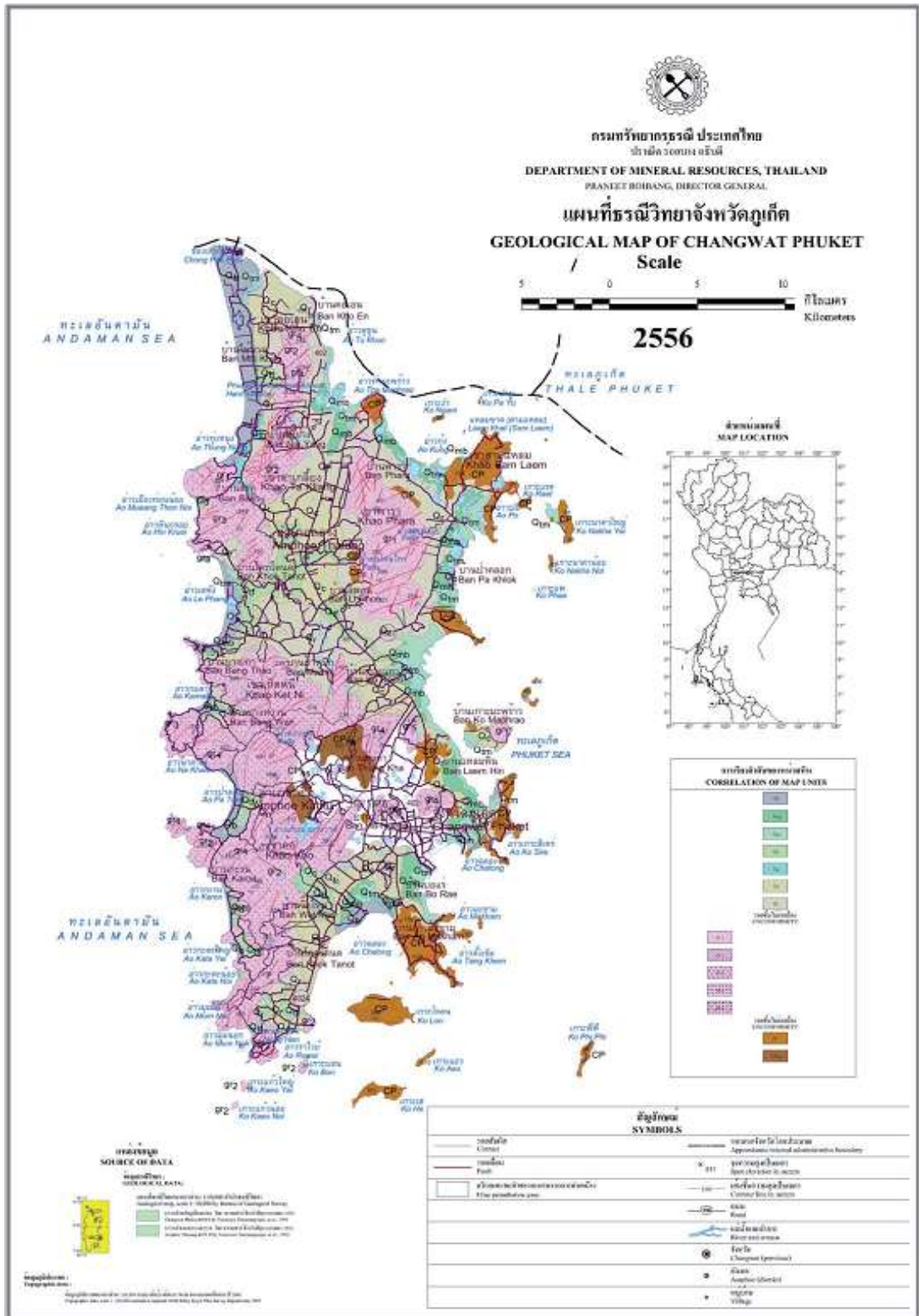
อีกทั้งกระแสน้ำเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความขุ่นของน้ำ ที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต การตกตะกอนและการพัดพาตะกอน เป็นต้น โดยกระแสน้ำมีทิศทางแน่นอนยังส่งผลให้บริเวณด้านใต้และด้านตะวันออกของเกาะภูเก็ต มีการตกตะกอนและการพัดพาตะกอนค่อนข้างดีกว่าด้านตะวันตก ซึ่งมีกระแสน้ำที่ไม่แน่นอนจะทำให้การตกตะกอนล่าช้าและช่วยในการพัดพาตะกอนน้อย

3. การขึ้นลงของน้ำทะเล

จังหวัดภูเก็ต มีน้ำขึ้นลงวันละ 2 ครั้ง (semidiurnal tide) โดยมีระดับการขึ้นลงของน้ำ ณ สถานีตรวจวัดของกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือที่เกาะตะเกาญ้อย จังหวัดภูเก็ต

4. คลื่นและลมมรสุม

บริเวณชายฝั่งตะวันออกของเกาะภูเก็ตจะพบคลื่นผิวน้ำ ในระยะเวลาสั้น คือ ในรอบ 1 ปี จะมีระยะเวลาถึง 6 เดือน ซึ่งเป็นคลื่นที่มีอิทธิพลต่อการกัดเซาะพังทลายของชายฝั่งได้ ในขณะที่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต พบว่า คลื่นมีอิทธิพลต่อบริเวณนี้น้อยมาก ซึ่งจะทำให้บริเวณนี้ โดยเฉพาะบริเวณอ่าวภูเก็ตจะมีอัตราการตกตะกอนค่อนข้างสูง และสังเกตได้จากตะกอนเลนบริเวณสะพานหินที่ขยายออกไปจากชายฝั่งจนทำให้พื้นที่ของทะเลบริเวณนี้มีลักษณะตื้นเขิน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)



รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต

แหล่งที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2556

2.3 ทรัพยากรแร่ของจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ต เป็นจังหวัดที่มีแหล่งทรัพยากรแร่ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ หินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง และแร่ดีบุก (รูปที่ 2.2) โดยปัจจุบันจังหวัดภูเก็ตไม่มีการผลิตแร่แล้ว (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

1. กลุ่มแร่เพื่อการพัฒนาสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน และโครงการขนาดใหญ่ของรัฐ หินแกรนิต เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ในจังหวัดภูเก็ตมีทั้งหมด 8 แหล่ง ครอบคลุมเนื้อที่ 39.41 km² โดยมีรายละเอียดดังนี้

- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเขารังนอก เขารังใน ตั้งอยู่ในตัวอำเภอเมืองภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเขาประทิว ตั้งอยู่ทางตะวันออกของอำเภอถลาง
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเกาะมะพร้าว ตั้งอยู่ทางตะวันออกของจังหวัดภูเก็ตบริเวณเกาะมะพร้าว ตำบลเกาะมะพร้าว อำเภอเมืองภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเกาะมัน ตั้งอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของแหลมพรหมเทพ อยู่ที่ตำบลเกาะมัน อำเภอเมืองภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเกาะราชาน้อยเหนือ ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของเกาะภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเกาะราชาน้อยใต้ ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของเกาะภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเกาะราชาใหญ่ ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของเกาะภูเก็ต
- แหล่งหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างควนพรหมเทพ ตั้งอยู่ที่ตำบลราไวย์ อำเภอเมืองภูเก็ต

2. กลุ่มแร่เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2532 จังหวัดภูเก็ต ได้มีประทานบัตรทำเหมืองแร่ดีบุกบนบกจำนวน 152 แปลง เนื้อที่รวมประมาณ 18,429 ไร่ มีประทานบัตรทำเหมืองแร่ดีบุกในทะเล จำนวน 5 แปลง เนื้อที่รวมประมาณ 101,534 ไร่ ปัจจุบันไม่มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงมาก อีกทั้งมีการส่งเสริมให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว ในอดีตมีเหมืองแร่ที่สำคัญ ได้แก่

- เหมืองตันติโกวิท ปริมาณแร่ดีบุกได้ 25 ตัน
- เหมืองบ้านหงวน ปริมาณแร่ดีบุกได้ 320 ตัน
- เหมืองแปดร้อย ปริมาณแร่ดีบุกได้ 800 ตัน
- เหมืองพรทวี ปริมาณแร่ดีบุกได้ 3,360 ตัน
- เหมืองสินพัฒนา บ้านเกาะแก้ว ซึ่งตั้งอยู่ในแหล่งแร่ดีบุกบางคู-เกาะแก้ว-ท่าเรือ สายเพกมาไทต์ ปริมาณแร่ดีบุกได้ 24 ตัน
- เหมืองสหกิจ บ้านสะพานซึ่งตั้งอยู่ในแหล่งแร่ดีบุกสะพาน-สามกอง ปริมาณแร่ดีบุกได้ 5,000 ตัน

2.4 ประวัติความเป็นมาของแร่ดีบุกจังหวัดภูเก็ต

การทำเหมืองแร่ดีบุกในภูเก็ต เริ่มต้นขึ้นเมื่อชาวโปรตุเกสได้เข้ามายังประเทศไทยราว พ.ศ. 2061 ในสมัยสมเด็จพระรามาธิบดีที่ 2 ซึ่งนอกจากจะมีจุดมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่ศาสนาคริสต์แล้ว ยังมีผลประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ การค้าขาย และสินค้าที่สำคัญ คือ ดีบุก ต่อมาชาวฮอลันดาได้เข้ามาผูกขาดซื้อแร่ดีบุกที่นครศรีธรรมราช (ซึ่งรวมภูเก็ตด้วย เพราะสมัยนั้นภูเก็ตเป็นเมืองขึ้นอยู่กับนครศรีธรรมราช) ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2228-2230 ชาวฝรั่งเศสมาขอผูกขาดการซื้อแร่ดีบุกที่เมืองภูเก็ตและเมืองใกล้เคียง โดยในรัชกาลที่ 5 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงโปรดเกล้าฯ เปลี่ยนแบบแผนการปกครองหัวเมืองใหม่ ทางภาคใต้ตอนบนฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ดีบุก มีภูเก็ต พังงา กระบี่ ตรัง ตะกั่วป่า และ ระนอง รวมเข้าด้วยกันในปี พ.ศ. 2418 เป็นมณฑลภูเก็ต เพื่อการจัดเก็บภาษีอากร และภาษีเหมืองแร่ส่งเข้าคลังส่วนกลางเป็นระบบขึ้น จากนั้นมาแร่ดีบุกราคาตกต่ำ เศรษฐกิจตกต่ำ ต่อมาเมื่อ ปี พ.ศ. 2448 กัปตัน เอ็ดเวิร์ด ที ไมลส์ ชาวออสเตรเลีย ได้เดินทางเข้ามาที่ภูเก็ต ได้มีโอกาสไปดูการทำเหมืองแร่ดีบุกที่อ่าวทุ่งคา การทำเหมืองในขณะนั้นเป็นการทำเหมืองแร่บริเวณชายหาดริมทะเลใช้แรงงานคนขุดคน

หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 ได้มีการแก้ไขพระราชบัญญัติ เหมืองแร่ใหม่เปิดเสรีให้ต่างชาติเข้า นายทุนชาวออสเตรเลีย คือ กัปตันเฮ็ดเวิร์ด ที ไมลส์ ได้นำเรือขุดแร่ที่มีระบบการขุดหาแร่ด้วยเทคโนโลยี ซึ่งขุดได้ทั้งบนบกและในทะเล เข้ามาขุดหาแร่ดีบุกทางอ่าวภูเก็ตหรืออ่าวทุ่งคา อยู่ฝั่งตะวันออกของเกาะ เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2449 ดังนั้นกัปตันไมลส์จึงติดต่อขอสัมปทานทำเหมืองแร่ในทะเล ในนามบริษัท ทุ่งคาฮาเบอร์ เทร็ดดิ้ง จำกัด และได้รับสัมปทาน และเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ. 2450 กัปตันไมลส์ได้สั่งให้ บริษัท William Simons จำกัด ในสกอตแลนด์ ต่อเรือขุดแบบลูกกะเพื่อ (Budget dredge) ขับเคลื่อนด้วยเรือจักรไอน้ำ โดยนำชิ้นส่วนมาประกอบที่ชายฝั่งมลายูและลากมาที่อ่าวภูเก็ต เป็นเรือขุดลำแรกของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเป็นการใช้เรือขุดทำเหมืองแร่ในทะเลแห่งแรกในโลก และเป็นการเปิดเหมืองแบบใหม่ได้สำเร็จภายในระยะเวลาเพียง 3 ปี (ราชัน กาญจนะวณิชย์, 2540)

ต่อมาได้เกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงทำให้ความต้องการแร่ดีบุกน้อยลงและมีราคาตกต่ำ แต่เมื่อผ่านช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ความต้องการแร่ดีบุกในตลาดมีเพิ่มขึ้น แร่ดีบุกกลับฟื้นคืนชีพอีกครั้งหนึ่ง ราคาพุ่งสูงมาก (ปาณิศรา ชูผล, 2551) ต่อมาในปี พ.ศ. 2506 รัฐบาลได้อนุมัติให้บริษัท ไทย แลนด์ สเมลติง แอนด์รีไฟนิง จำกัด (ไทยชาร์โก้) ตั้งโรงถลุงแร่ดีบุกในภูเก็ต เป็นโรงถลุงที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยรับซื้อแร่และทำการถลุงแร่ดีบุกที่ผลิตได้ ก็ต้องส่งออกผ่านทางสิงคโปร์ ในขณะที่แร่ดีบุกกำลังเป็นที่ต้องการ รัฐบาลไทยก็ได้ตั้งองค์การเหมืองแร่ในทะเล (อ.ม.ท.) ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2518 เป็นรัฐวิสาหกิจทำการผลิตแร่ดีบุกแข่งกับภาคเอกชน ทำการผลิตในทะเลฝั่งอันดามันด้วย เรือขุดแร่เพียง 1 ลำ (องค์การเหมืองแร่ในทะเล, 2540) หลังจากนั้นไม่นานเริ่มมีการหยุดการทำเหมืองแร่เนื่องจากการเข้ามาของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว และสังคมได้มีความตระหนักถึงเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพราะการทำเหมืองแร่ทำให้เกิดการทำลายทรัพยากร ด้วยเหตุดังกล่าวนี้จึงทำให้การทำเหมืองแร่ที่ภูเก็ตหมดลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2530 แร่ดีบุกเริ่มสิ้นตลาด ราคาตกต่ำเรื่อยมา ส่งผลให้เหมืองแร่ทั้งบนบกและเรือในทะเลเขตสัมปทานของ อ.ม.ท. ได้หยุดกิจการลงในปี พ.ศ. 2536 และรัฐบาลมีมติให้ยกเลิกกิจการเหมืองแร่ในปี 2539 ส่วนบริษัททุ่งคา-อ่าวขาม หรือ บริษัททุ่งคาฮาเบอร์ฯ อันเป็นบริษัท เรือขุดแร่ดีบุกยักษ์ใหญ่ และมีอายุ การทำเหมืองในภูเก็ตมากกว่า 60 ปี ก็ได้ทำการหยุดกิจการลงในเวลาไล่เลี่ยกัน (ถนอม พูนวงศ์, 2556)

คุณสมบัติของแร่ดีบุก (Sn) คือ เป็นโลหะที่หลอมเหลวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถถูกออกซิไดซ์ในอากาศได้ดี แร่ดีบุกส่วนใหญ่สกัดได้จากแร่แคสซิเตอร์ไรต์ (cassiterite) สามารถพบได้ในโลหะผสมหลายชนิด โดยมีการใช้ประโยชน์ของโลหะดีบุก เช่น

ทำโลหะผสมเคลือบโลหะเพื่อบรรจุอาหาร, เพื่อป้องกันการกัดกร่อน, ใช้ในการทำโลหะคอมพิวเตอร์ เป็นต้น (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

2.5 แหล่งแร่ดีบุกจังหวัดภูเก็ต

แหล่งแร่ดีบุกในจังหวัดภูเก็ตปัจจุบัน มีอยู่ 3 แหล่งมีเนื้อที่รวม 159.59 km² มีดังนี้

1. แหล่งแร่ดีบุกทะเลภูเก็ต อยู่บริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดภูเก็ต มีเนื้อที่ 135.92 km² แหล่งแร่ดีบุกแบบลานแร่ในทะเล (Alluvial deposit) ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายและกรวด มีดินเหนียวแทรกปะปนบ้าง ผิวดินชั้นบนเป็นดินเลนปนเศษเปลือกหอย โดยพบแร่ตั้งแต่ผิวดินจนถึงชั้นดาน

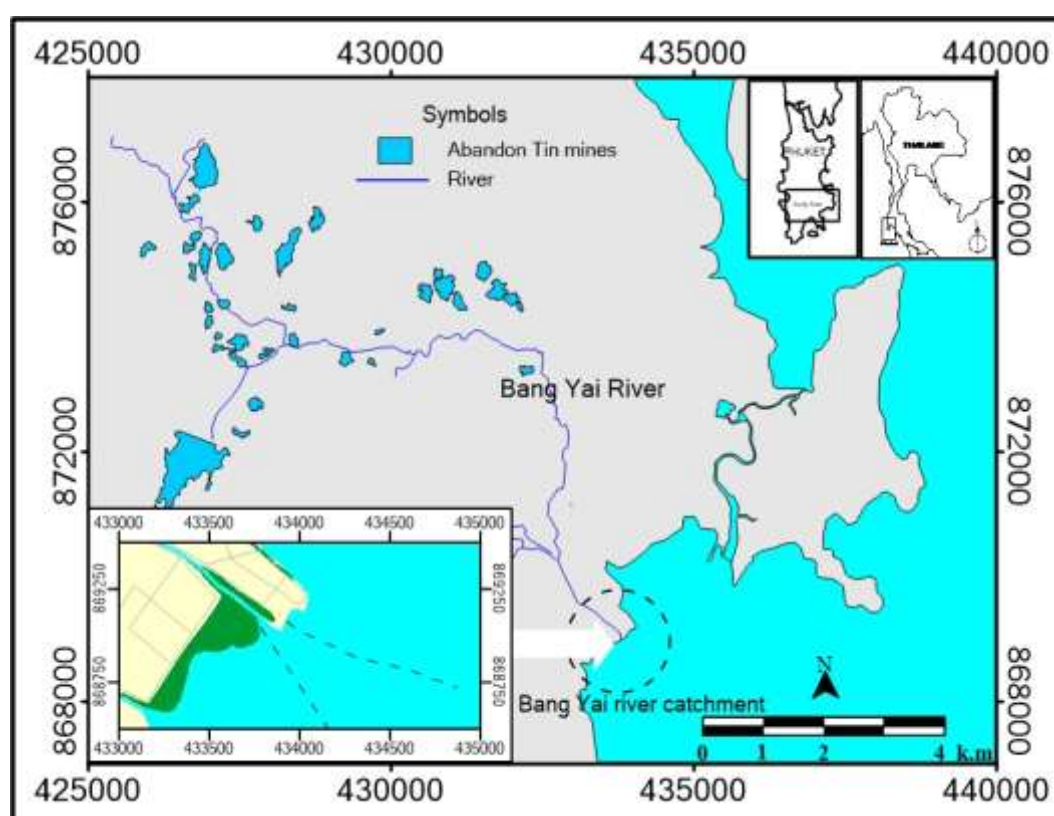
2. แหล่งแร่ดีบุกอ่าวบางเทา (อ่าวเลพัง) ตั้งอยู่บริเวณบ้านเชิงทะเล บ้านบางเทา บ้านลาชัน ตำบลเชิงทะเล อำเภอถลาง มีเนื้อที่ 14.03 km² พบว่า แหล่งแร่ดีบุกนี้มีการเกิดแบบลานแร่ซึ่งหลุดผุพังอยู่กับที่ (Residual type) ในอดีตมีการขุดแร่ในทะเลที่ อ่าวบางเทา ทำให้พื้นที่องทะเลและชายหาดเกิดความลาดชันและชายหาดทรุดตัวลง จนเกิดเป็นอ่าวเลพัง

3. แหล่งแร่ดีบุกเกาะฮี ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของเกาะภูเก็ต อยู่ในเขตตำบลเกาะฮี อำเภอเมืองภูเก็ต เป็นแหล่งแร่ในทะเล มีเนื้อที่ 9.64 km² (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

2.6 ประวัติพื้นที่รองรับน้ำคลองบางใหญ่

จังหวัดภูเก็ตไม่มีแม่น้ำสายสำคัญจะพบแต่คลองขนาดเล็กสายสั้น ๆ เช่น คลองท่าจีน คลองบางชีเหล้า คลองบางโรง คลองกมลา คลองบางใหญ่ คลองท่ามะพร้าว คลองพม่าหลง คลองโคกโดนด คลองกะลา คลองท่าเรือ เป็นต้น ซึ่งลำคลองเหล่านี้เคยมีสภาพเป็นคลองที่มีความลึกและกว้าง โดยการทำเหมืองแร่ส่งผลให้มีตะกอนดินไหลลงมาทับถมจนลำคลองตื้นเขิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

คลองบางใหญ่มีความยาวประมาณ 8,000 m ตั้งอยู่บริเวณตอนล่างของจังหวัดภูเก็ต ในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้จรดเขตอำเภอเมืองภูเก็ตสิ้นสุดที่ทะเลบริเวณอ่าวภูเก็ต ต้นน้ำของคลองบางใหญ่มาจากน้ำตกกะทู้และลำห้วยเล็ก ๆ รวมกับน้ำบางส่วนที่ระบายออกจากเขื่อนบางวาดผ่านทางคลองบางวาดในอำเภอกะทู้ นอกจากนี้มีน้ำที่มาจากบ้านเรือน ชุมชนเมือง สถานประกอบการขนาดเล็กและใหญ่ตลอดริมสองฝั่งของคลองบางใหญ่ผ่านไปสิ้นสุดที่พื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่ก่อนลงสู่อ่าวภูเก็ต ในส่วนของพื้นที่รองรับน้ำที่คลองบางใหญ่มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีหาดทรายผสมกับที่ราบลุ่มชายฝั่งสลับกับป่าชายเลน หรือป่าโกงกางที่มีน้ำท่วมขังออกไปจรดอ่าวภูเก็ตในทิศตะวันออกเฉียงใต้ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนที่เส้นทางคลองบางใหญ่

2.7 ประวัติพื้นที่อ่าวภูเก็ต (สะพานหิน)

สะพานหิน ตั้งอยู่ในบริเวณอ่าวทุ่งคา อำเภอเมืองภูเก็ต จังหวัดภูเก็ตที่เกิดจากแผ่นดินที่เกิดจากการถล่มทะเลทางตะวันออกเฉียงของจังหวัดภูเก็ต ในอดีตเคยเป็นท่าเรือสำคัญในเขตอันดามันที่เรือขนส่งสินค้าและเรือโดยสารใช้เป็นจุดเทียบท่า และดำเนินธุรกิจต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกิจการเหมืองแร่ดีบุก อีกทั้งยังเป็นท่าเทียบเรือที่ตัวแทนชาวภูเก็ตซึ่งเดินทางกลับจากประเทศจีนนำควันทูบ (เหี่ยวเอียน) มาเพื่อประกอบพิธีกินผัก จนกลายเป็นประเพณีสำคัญของชาวภูเก็ตในปัจจุบัน นอกจากนี้ ยังเป็นบริเวณที่เรือขุดแร่ลำแรกของโลกทำการขุดแร่ดีบุกจากอ่าวทุ่งคาโดยผู้นำเรือขุดแร่ดังกล่าวเข้ามาขุดแร่ คือ กัปตันเฮ็ดเวิร์ด ไรม์ส ไมลส์ ชาวออสเตรเลีย เมื่อ พ.ศ. 2452 ซึ่งภายหลังส่งผลให้มีการสร้างเรือขุดแร่ขึ้นใช้งานอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จนกระทั่ง พ.ศ. 2511 ได้มีอนุสรณ์ระลึกการขุดแร่ด้วยเรือขุดแร่ลำแรกของโลกตั้งอยู่ที่บริเวณริมหาดปลายแหลมของสะพานหิน (ถนอม พูนวงศ์, 2556)

2.8 โลหะหนัก (Heavy Metals)

โลหะหนักเป็นกลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 g/cm^3 และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 4 ซึ่งจัดเป็นโลหะที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันเป็นธาตุกลุ่มที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตถ้าเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร มีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้าหรือไม่สามารถสลายตัวได้ อีกทั้งยังสะสมตัวอยู่ในธรรมชาติได้เป็นเวลานาน มีความเสถียร และสามารถสะสมอยู่ในอากาศ ดินและแหล่งน้ำรวมถึงสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต โดยธาตุที่จัดเป็นโลหะหนักมีทั้งหมดมี 22 ธาตุ ได้แก่ ทองแดง เงิน ทองคำ ทองคำขาว สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก โครเมียม ทังสแตน พลวง แคลเซียม โปรท บิสมัท พลวง ไททาเนียม แทนทาลัม โคบอลต์ ยูเรเนียม นิกเกิล แมงกานีส โมลิบดีนัม และเบอริล

ตะกอนดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดินตายได้ ซึ่งจะส่งผลต่อห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต หากเมื่อสัตว์ขนาดเล็กตายจะทำให้สัตว์ขนาดใหญ่ขาดแคลนอาหาร ในทางตรงกันข้ามหากสัตว์ขนาดเล็กมีชีวิตรอดอยู่ได้ แต่มีการสะสมสารพิษไว้ในเนื้อเยื่อ เมื่อสัตว์ขนาดใหญ่กว่าบริโภคสัตว์ดังกล่าวทำให้อาจได้รับสารพิษในระดับที่เป็น

อันตรายได้ ส่วนมนุษย์สามารถได้รับสารปนเปื้อนในระดับที่เป็นอันตรายจากการบริโภคสัตว์ในห่วงโซ่อาหาร เช่น ปลา หอย กุ้ง ปู นอกจากนี้ หากสัมผัสตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนโลหะโดยตรงก็สามารถรับสารพิษได้เช่นกัน (วรรณ ไขว้พันธุ์ และ อติทยา เยาว์พฤกษ์ชัย, 2555) โลหะหนักที่พบในตะกอนดินที่สำคัญ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ปรีท ทองแดง สารหนู ซิลิเนียม ฯลฯ โดยโลหะหนักที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

2.8.1 ดีบุก (Sn)

ดีบุก (Sn) เป็นโลหะในหมู่ 4 ในตารางธาตุ ดีบุกในรูปบริสุทธิ์จะมีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาวเงิน มีความอ่อนตัวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถผสมและเกาะติดกับโลหะอื่นได้ดี จึงนิยมนำดีบุกมาเคลือบผิวหรือผสมกับโลหะอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง มีความทนทานต่อการกัดกร่อน และป้องกันการเกิดสนิม เป็นต้น

การใช้ประโยชน์ของโลหะดีบุก (Sn) เช่น

- ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระจก
- นำมาเป็นส่วนประกอบของเซรามิก
- ใช้เป็นสารคงสภาพของน้ำหอมที่ใช้ผสมในสบู่
- ใช้เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน ช่วยต้านเชื้อแบคทีเรีย และป้องกันฟันผุ

โทษของการได้รับดีบุก (Sn) เช่น

- อาการเฉียบพลัน ได้แก่ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง แน่นหน้าอก และท้องอืด
- การได้รับดีบุกในติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการปวดท้อง มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก และน้ำหนักลด บางรายมีอาการเจ็บคอ และมีไข้ ปวดตามข้อ และกล้ามเนื้อ และอาจทำให้เป็นโรคโลหิตจาง (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

2.8.2 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว (Pb) จัดเป็นโลหะหมู่ 5 ในตารางธาตุ โดยตะกั่วบริสุทธิ์จะมีสีเทาจัดเป็นโลหะค่อนข้างอ่อน จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานโครงสร้างโลหะ ตะกั่วสามารถตีเป็นแผ่นบางและแปรรูปได้ง่าย และโลหะตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยานัก มีความทนทานต่อการผุกร่อน เมื่ออยู่ในรูปของสารประกอบจะมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 ตะกั่วสามารถละลายใน

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ใช้น้อย เนื่องจากเกิดเป็นตะกอนของ $PbSO_4$ และ $PbCl_2$ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) อีกทั้งตะกั่วที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ สามารถรีดิวซ์ให้กลายเป็นโลหะตะกั่วได้ง่าย (Glassware Chemical, 2009)

การใช้ประโยชน์ของโลหะตะกั่ว (Pb) เช่น

- การผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสายเคเบิลสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและใต้น้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้น และช่วยให้ไม่เกิดการขัดข้องในระบบไฟฟ้าและการสื่อสาร
- ใช้เจือกับดีบุกเป็นโลหะบัดกรีเพื่อเชื่อมชิ้นงานโลหะให้ติดกันและเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและต้านทานการกัดกร่อน (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

โทษของการได้รับตะกั่ว (Pb) เช่น

- อาการในระบบทางเดินอาหาร เริ่มต้นจะมีลักษณะของการเบื่ออาหาร อาเจียน ท้องผูก จนถึงอาจมีอุจจาระร่วง และอาจมีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง
- อาการทางระบบประสาท จะทำให้มีอาการปวดเมื่อยตามร่างกาย กล้ามเนื้อข้อมืออ่อนแรง
- อาการทางสมอง มักพบอาการทางสมองเกิดขึ้นในเด็ก ได้แก่ อาการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรม อารมณ์ เชื่องซึม และหากมีการสะสมของตะกั่วมากอาจทำให้เกิดอาการชัก และหมดสติได้
- อาการในระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เมื่อตะกั่วเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อกระดูก และกล้ามเนื้อต่าง ๆ จะทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยตามข้อและกระดูก (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

2.8.3 สังกะสี (Zn)

สังกะสี (Zn) จัดเป็นธาตุโลหะในหมู่ที่ 12 ของตารางธาตุ สังกะสีเป็นโลหะที่มีความสำคัญเป็นลำดับ 4 รองจากเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดง เนื่องจากสังกะสีมีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 และขาดคุณสมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน จึงไม่จัดโลหะสังกะสีอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน แต่เรียกว่าเป็นธาตุหลังทรานซิชัน (Glassware Chemical, 2009)

การใช้ประโยชน์ของโลหะสังกะสี (Zn) เช่น

- ใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและการผุกร่อน
- ใช้ทำทองเหลืองโดยผสมกับโลหะทองแดง และอาจมีโลหะอื่น ๆ ผสม เพื่อคุณสมบัติเป็นการเฉพาะต่อการใช้งาน เช่น ตะกั่ว อะลูมิเนียม ดีบุก พลวง แมงกานีส เป็นต้น
- ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เซรามิก ยา สีสะท้อนแสง
- สังกะสีฝุ่น (Zinc dust) ใช้ในการผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมผ้า ใช้ผสมกับอะลูมิเนียมผงเพื่อแก้น้ำกระด้าง (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

โทษของการได้รับสังกะสี (Zn) เช่น

- ภูมิคุ้มกันร่างกายเสื่อม
- ขัดขวางไม่ให้ร่างกายใช้ธาตุทองแดงได้เต็มที่ เป็นผลให้ระดับทองแดงในเลือดต่ำ ทำให้เกิดอาการซีด เม็ดเลือดขาวต่ำ
- หากได้รับสังกะสีเกินกว่า 2 g ขึ้นไป จะเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหารแบบเฉียบพลัน ทำให้ปวดท้องและอาเจียนได้ ในกรณีที่บริโภคมากกว่าวันละ 100 mg เป็นเวลานานจะทำให้ระดับไขมัน HDL (High-density lipoprotein) ซึ่งเป็นไขมันดีลดลง (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินจากแหล่งที่มาต่าง ๆ

มาตรฐาน	ความเข้มข้นของ โลหะหนัก (mg/kg)			อ้างอิง / ปี
	Zn	Pb	Sn	
1. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health	200	140	50	Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999
2. Sediment Quality Guidelines: SQGs Threshold Effects Concentration level (TEC)	121	35.8	-	กรมควบคุมมลพิษ, 2555
3. คุณภาพตะกอนดินชายฝั่ง (เพื่อป้องกันสัตว์ทะเล)	102	52	-	กรมควบคุมมลพิษ, 2558

*ระดับ Threshold Effects Concentration (TEC) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินที่คาดว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินเมื่อมีความเข้มข้นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

2.9 การตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน

- ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ค่า pH ของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารหรือสารมลพิษในดิน เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เป็นกรด ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในดินจะมีการแข่งขันกับโลหะหนักในดิน ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออน (ธาตุอาหารหรือโลหะหนัก) ต่ำลงและเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก ในทางกลับกันในดินตะกอนที่มีสภาพเป็น

กลางถึงเบสปานกลางจะทำให้โลหะดังกล่าวตกตะกอนกับสารจำพวกคาร์บอเนตหรือหมู่ไฮดรอกซิล ส่งผลให้โลหะหนักสามารถออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก (วรชาติ วิสวพัฒน์, 2555)

- ค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP)

ค่าจากการวัดปริมาณความเข้มข้นของอิเล็กตรอนในน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเพิ่มออกซิเจน (Oxidation) กับกระบวนการลดออกซิเจน (Reduction) โดยใช้หน่วยวัดเป็นมิลลิโวลต์ (mV) ซึ่งค่าสุทธิที่ได้อาจออกมาเป็นผลบวก (+) ก็ได้ หรือเป็นผลลบ (-) ก็ได้ โดยค่า ORP เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักไว้ในตะกอนดินซึ่งถ้าค่า ORP เป็น (+) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โลหะหนักถูกดูดซับไว้ในตะกอนดิน โลหะหนักจะกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย แต่ถ้าหากค่า ORP เป็น (-) จะเกิดปฏิกิริยรีดักชัน ทำให้โลหะหนักกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก (วรชาติ วิสวพัฒน์, 2555)

- ค่าการนำไฟฟ้า (Electro conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้า เป็นคุณลักษณะที่สำคัญชนิดหนึ่งที่จะบ่งบอกความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินจะสามารถใช้บอกปริมาณความมากน้อยของไอออนที่ปรากฏอยู่ได้ เนื่องจากตะกอนดินเป็นสารที่มีประจุลบตรึงอยู่ในตัว จึงสามารถดึงดูดจับไอออนบวกในสารละลายดินไว้ที่ผิวของตะกอนดินได้ ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้า ดังนั้นดินที่มีค่านำไฟฟ้าของสารละลายสูงจึงสามารถบ่งชี้ว่ามีไอออนปรากฏรวมกันในดินนั้นมาก แต่ค่านำไฟฟ้าไม่ได้ระบุว่าเป็นไอออนในรูปใด อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ, อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด, ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิดซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย (สุนทรียัง ชัชวาลย์, 2553)

2.10 การวิเคราะห์หัตถการตกตะกอนโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสี ตะกั่ว-210 (^{210}Pb)

ไอโซโทปรังสี Pb-210 เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมของ U-238 มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติทั้งบนพื้นทวีปและในชั้นบรรยากาศ การแพร่กระจายของ Pb-210 บนพื้นทวีปอาศัยกระบวนการไหลผ่านของน้ำและการพัดพาของกระแสลมจากพื้นทวีปลงสู่ดินตะกอนใต้ทะเล ส่วนในชั้นบรรยากาศการแพร่กระจายของ Pb-210 จะผ่านกระบวนการแพร่ของธาตุกัมมันตรังสี Rn-222 ในสถานะก๊าซบริเวณผิวโลกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและมีการสลายตัวลดลง จนกระทั่งกลายเป็น Pb-210 ก่อนจะตกลงสู่ผิวโลกโดยตรงหรือโดยการชะล้างของฝน รูปแบบการการแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสี Pb-210 ในชั้นดินตะกอนยังสามารถนำมาคำนวณหัตถการทับถมของดินตะกอนหรือการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมในด้านอื่น ๆ ได้

ปัจจุบันรูปแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์หัตถการทับถมของตะกอนที่นิยมใช้มีอยู่ 2 รูปแบบได้แก่ 1) Constant Initial Concentration หรือ Constant flux/constant sedimentation rate model (CIC) และ 2) Constant Rate of Supply หรือ Constant flux model (CRS) ซึ่งแบบจำลองแบบ CIC มีข้อสมมติว่าปริมาณแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 (^{222}Rn) ในชั้นบรรยากาศต้องมีค่าคงที่ หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณ ^{210}Pb ที่ตกจากชั้นบรรยากาศสู่พื้นน้ำ หรือ excess ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) มีค่าคงที่ และตลอดช่วงเวลาของการตกทับถม ตะกอนต้องไม่ถูกรบกวนใด ๆ ทั้งสิ้นทั้งจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต นอกจากนั้นปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าสู่แหล่งน้ำนั้นต้องมีปริมาณคงที่ จากข้อสมมติดังกล่าวข้างต้นความสัมพันธ์ระหว่าง $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ กับเวลา T เป็นไปดังนี้ (Souza, *et al.*, 2012)

$$A_x = A_0 e^{-\lambda T}$$

เมื่อ A_x คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ที่ความลึก x ซม. จากตะกอนชั้น

บนสุด

A_0 คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ของตะกอนชั้นบนสุด

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) ของ ^{210}Pb มีค่าเท่ากับ

0.0311 ต่อปี

สำหรับแบบจำลองใช้ข้อสมมติฐานว่า Flux หรือกัมมันตภาพรังสีต่อหน่วยพื้นที่ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในชั้นบรรยากาศมีค่าคงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในแต่ละชั้นตะกอนจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราตกทับถมของตะกอนเท่านั้น แบบจำลองนี้จึงใช้ได้ดีในตะกอนที่ถูกรบกวนด้วยสภาพอากาศหรือกิจกรรมของมนุษย์และสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$A(x) = \int \rho(x) dx$$

และ $A(x) = A_{(0)} e^{-\lambda T}$ เมื่อ $T = m_x/w$ ทั้ง 2 แบบจำลองต้องการสมมติฐานที่ว่า อัตราของการตก (Deposition rate) ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ จากชั้นบรรยากาศสู่พื้นน้ำต้องมีอัตราคงที่ และดังนั้นความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Flux density) ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ที่เข้าจับกับอนุภาคดินก็ควรคงที่ด้วย (ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, และคณะ, 2556)

- สมการที่ใช้ในการคำนวณอายุตะกอน คือ (Faure, 1986)

$$^{210}\text{Pb}_A = ^{210}\text{Pb}_A^0 e^{-\lambda T} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$^{210}\text{Pb}_A$ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ต่อน้ำหนักของตัวอย่างที่ความลึก h

$^{210}\text{Pb}_A^0$ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ที่ผิว ($h=0$)

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ ^{210}Pb มีค่าเท่ากับ 3.11×10^{-2} ต่อปี

T คือ ค่าอายุของตัวอย่างตะกอนดิน (ปี)

- สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการตกตะกอน

$$w = \frac{(\ln(A_0 - A_x) / m_x)}{\lambda (\text{Plot ระหว่าง } \ln A_{\text{pb-210}} \text{ กับ } m_x)} \quad \text{สมการที่ 2}$$

A_x คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ที่ความลึก x cm จากตะกอนชั้นบนสุด

A_0 คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ของตะกอนชั้นบนสุด

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ ^{210}Pb มีค่าเท่ากับ 0.0311 ต่อปี

m_x คือ มวลสะสม (Cumulative dry mass) (g/cm^2) จากตะกอนชั้นบนสุด ถึงความลึก x cm

W คือ อัตราตกทับถมของตะกอน ($\text{g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)

2.11 การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก

- ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo - accumulation index, I_{geo}) เป็นค่าการสะสมทางธรณี เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะในตะกอนดิน โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักที่ต้องการศึกษากับโลหะหนักในสภาพธรรมชาติของพื้นที่นั้น ๆ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{สูตร } I_{\text{geo}} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_{\text{metal}} (\text{sample})}{1.5 C_{\text{metal}} (\text{background})} \right) \quad \text{สมการที่ 3}$$

$C_{\text{metal}} (\text{sample})$ คือ ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน

$C_{\text{metal}} (\text{background})$ คือ ปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ศึกษา

- ปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) คำนวณจากอัตราส่วนปริมาณโลหะหนักที่ศึกษากับปริมาณโลหะหนักในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อบ่งบอกอิทธิพลของกิจกรรมมนุษย์ต่อการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน ดังนี้

$$\text{สูตร } EF = \frac{[\text{M}/\text{Al}] \text{ sample}}{[\text{M}/\text{Al}] \text{ background}} \quad \text{สมการที่ 4}$$

$[\text{M}/\text{Al}] \text{ sample}$ คือ อัตราส่วนของโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอะลูมิเนียมในแท่งตะกอนดิน

$[\text{M}/\text{Al}] \text{ background}$ คือ อัตราส่วนของโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอะลูมิเนียมในพื้นที่ศึกษา

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัจฉรา จิรกุลชัชวรงค์ (2554) ศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดินทะเล เพื่อชี้วัดมาตรการและนโยบายทางสิ่งแวดล้อมในการควบคุมดูแลอ่าวแหลมฉบังพื้นที่การเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณอ่าวแหลมฉบังตอนเหนือ (วัดแหลมฉบัง), บริเวณอ่าวแหลมฉบังตอนกลาง (วิทยาลัยการพัฒนารวมชน, ท่าเรือนาเกลือ), บริเวณอ่าวแหลมฉบังตอนล่าง (บางละมุง) มาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดย Atomic Absorption Spectrophotometer และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตะกั่วระหว่างชั้นดินทุกๆ 3 cm (ช่วงเวลาต่าง ๆ) ผลการศึกษาพบว่า บริเวณอ่าวแหลมฉบังตอนเหนือ (บริเวณหน้าวัดแหลมฉบัง) เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละชั้นดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 แต่ในบริเวณอื่น ๆ จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

พรศรี มิ่งขวัญ, และคณะ (2555) ศึกษาการประเมินคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในหลังสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 โดยได้เก็บตะกอนดินที่ระดับผิวน้ำเพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 และเก็บตะกอนดินที่ระดับความลึกจากตะกอนดินผิวน้ำ 5-9 cm เพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn)ปรอท (Hg) สารหนู (As) ในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับความลึก มีค่าอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย อีกทั้งยังพบว่าค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) แสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ค่อนข้างสูง และ I_{geo} แสดงให้เห็นว่าตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในไม่มีการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี ปรอทและสารหนู แต่มีการปนเปื้อนตะกั่วอยู่ในระดับปานกลาง

ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, และคณะ (2556) ได้ศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบนโดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในแท่งตะกอน พบว่า อัตราการทับถมของตะกอนสูงสุดมีค่า $0.490 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ พบที่กึ่งกลางของอ่าวก่อนไปทางฝั่งตะวันตก การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอัตราการทับถมของตะกอนพบว่าฝั่งตะวันตกมีแนวโน้มสูงกว่าทางฝั่งตะวันออก การกระจายตัวเชิงเวลาพบว่าอัตราการตะกอนทางฝั่งตะวันตกของอ่าวมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนอัตราการทับถมของตะกอนทางฝั่งตะวันออกมีแนวโน้มคงที่ ค่าเฉลี่ยของอัตราการทับถมของตะกอนและ Inventories $^{210}\text{Pb}_{ex}$ ของตะกอนในอ่าวไทยตอนบนมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้เคยศึกษาไว้

Ligero, *et al.* (2002) ศึกษาวิวัฒนาการของความเข้มข้นตะกั่ว, สังกะสี, แคดเมียม, พรอท ในตะกอนดินบริเวณอ่าว Ca' diz (ตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสเปน) ในช่วงศตวรรษที่ผ่าน ซึ่งพบว่าได้รับอิทธิพลจากอุตสาหกรรมโดยศึกษาจากแท่งตะกอนดินที่มาจากใต้ท้องทะเล ซึ่งวัดกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb และ ^{137}Cs เพื่อคำนวณหาอัตราการตกตะกอนในแต่ละชั้นเพิ่มขึ้นถึงระดับความลึกที่สอดคล้องกับอายุ 115 ปีที่ผ่านมา อัตราการตกตะกอนอยู่ที่ประมาณ 0.2 cm/y ค่ากิจกรรมของ ^{137}Cs สะท้อนให้เห็นถึงความเข้มข้นของกัมมันตรังสีในบรรยากาศและน้ำในช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่ยี่สิบและรูปแบบดังกล่าวถูกใช้เพื่อยืนยันผลการเปลี่ยนแปลง โดยใช้ ^{210}Pb

García and Prego (2003) ศึกษาตัวอย่างแท่งตะกอนดิน 2 แท่ง ที่ Ferrol Ria ประเทศสเปน เพื่อประเมินความเข้มข้นของโลหะหนักพวกโคบอลต์ (Co), โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), นิกเกิล (Ni), ดีบุก (Sn), และสังกะสี (Zn) และแนวโน้มของการปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่าการกระจายตัวของโลหะในแท่งตะกอนดินแสดงให้เห็นการเพิ่มปริมาณที่ชัดเจนในชั้นผิวที่อยู่ในยุคอุตสาหกรรม ซึ่ง ค่า Normalized enrichment factors (NEF) สำหรับทองแดงและสังกะสีอยู่ที่ 3 ถึง 5 แสดงถึงระดับการปนเปื้อนอย่างรุนแรง

Lepland, *et al.* (2010) ศึกษารูปแบบของโลหะหนักทองแดง, แคดเมียม, และพรอท ใน 10 แท่งตะกอนดิน จากท่าเรือ Oslo ประเทศนอร์เวย์ ผลการศึกษาพบว่าการปนเปื้อนมลพิษโลหะหนักมีมากในช่วงระหว่างปี 1940-1970 การคำนวณอายุตะกอนบ่งชี้ว่าความเข้มข้นของพรอทมีค่อนข้างสูงระหว่างปี 1940-1950 ส่วนโลหะแคดเมียมมีค่าสูงในช่วง 1955-1960 และทองแดงมีความเข้มข้นสูงสุดในแท่งตะกอนดินอยู่ในช่วงปี 1970 โดยค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักทองแดง แคดเมียม และพรอท สามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์ธรณีกาลในแท่งตะกอนดินจากท่าเรือ Oslo โดยข้อมูลของแท่งตะกอนดินสามารถบ่งชี้ไปถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในท้องทะเลที่บริเวณท่าเรือ Oslo ซึ่งคาดการณ์ได้ว่าถูกรบกวนจากการกักเขาะและการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในตะกอนดินที่สะสมในบริเวณท่าเรือในช่วงระหว่าง 10 ปีที่ผ่านมา

Hosono, *et al.* (2010) ได้ศึกษาแท่งตะกอนดินทะเลจำนวน 3 แท่ง จากอ่าว Osaka และทำการวิเคราะห์ธรณีกาลวิทยาโดยใช้ ^{210}Pb และความเข้มข้นของโลหะหนัก (สังกะสี, ทองแดง, และตะกั่ว) เพื่อที่จะศึกษาประวัติศาสตร์มลพิษโลหะหนักจากปี 1900-2006 ผลการศึกษาพบว่าการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินที่เกิดจากมนุษย์มีการสะสมมากในปี 1970 ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่เศรษฐกิจในประเทศญี่ปุ่นมีการเจริญเติบโตอย่างมาก อีกทั้งพบว่า มลพิษของโลหะหนักที่เกิดจากการผสมและปนเปื้อนในตะกอนดินชั้นที่ลึกลงไปด้านล่าง เป็นเหตุผลที่ก่อให้เกิดการเสื่อมโทรมของตะกอนดินใต้ท้องทะเลในปัจจุบัน

Zaaboub, *et al.* (2015) ศึกษาคุณภาพตะกอนดินในทะเลสาบ Bizerte ประเทศ Tunisia โดยมุ่งเน้นไปที่ลักษณะธรณีเคมีของธาตุโลหะหนักพวกนิกเกิล (Ni), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), ดีบุก (Sn), โครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในตะกอนดิน โดยใช้ Enrichment factor เป็นตัวชี้วัด ผลการศึกษาพบว่าการสะสมตะกั่วและสังกะสีถึง 99 และ 460 mg/kg ตามลำดับ นอกจากนี้กรดซัลไฟด์มีค่าอยู่ในระดับสูงทั้งในตะกอนออกและตะกอนตกของพื้นที่ทะเลสาบจึงมีผลต่อปริมาณโลหะ ทำให้ค่า Enrichment factor ของตะกั่วและสังกะสีเป็น 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่จะเพิ่มปริมาณระดับความเป็นพิษของทะเลสาบที่ได้รับอิทธิพลจากการสะสมของธาตุสังกะสีในพื้นที่ตะกอนพื้นผิวที่แตกต่างกัน

Othmani, *et al.* (2015) ศึกษาและตรวจสอบผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ของเมือง Touiref ประเทศ Tunisia โดยการตรวจหาปริมาณธาตุที่มีอยู่มากและธาตุที่มีอยู่น้อยในตะกอนดินด้วยวิธีการทางเคมี ซึ่งการศึกษานี้ทำการประเมินขอบเขตของการปนเปื้อนโลหะด้วยดัชนีการสะสมทางธรณีวิทยา (I_{geo}) และการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) ในธรรมชาติจากแห่งตะกอนดินและผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ในบริเวณลุ่มน้ำ SidiBou Said (C1) และ To Jandouba (C2) พบว่าในบริเวณ C1 ธาตุโลหะที่พบมากที่สุดคือ สังกะสี รองลงมาคือ ตะกั่ว และแคดเมียมพบน้อยที่สุด ส่วนค่า EF ของโลหะที่พบสูงสุด คือ แคดเมียม มีค่าเท่ากับ 65 รองลงมาคือ ตะกั่ว มีค่าเท่ากับ 524 และสุดท้ายคือ สังกะสี มีค่าเท่ากับ 550 เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดสงครามโลกครั้งที่สองทำให้ความต้องการในการใช้แร่ธาตุเพื่อผลิตอาวุธสงครามเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนโลหะที่มาจากกิจกรรมเหมืองแร่ในพื้นที่ดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่า I_{geo} พบว่า พื้นที่ C1 มีการปนเปื้อนรุนแรง อย่างไรก็ตามหลังจากมีการปรับปรุงวิธีการในการทำเหมืองแร่ใหม่แนวโน้มนำการสะสมตัวของโลหะในแห่งตะกอน C1 ก็มีค่าที่ลดลงเมื่อนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับผลจากแห่งตะกอน C2 ที่มาจากแม่น้ำคนละเส้นกับแหล่งน้ำที่เหมืองแร่ พบว่ายังมีการเพิ่มขึ้นของธาตุทั้งสาม

Akkajit, *et al.* (2018) ได้ทำการศึกษาระดับมลพิษของโลหะในตะกอนดินบริเวณพื้นที่รองรับน้ำจากคลองบางใหญ่ สะพานหิน พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (TEC) อีกทั้งเมื่อนำไปวิเคราะห์ค่า I_{geo} พบว่า ตะกอนดินที่ศึกษาอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนและเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า EF พบว่าได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ระดับปานกลางต่อการสะสมของตะกั่วและได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ในระดับน้อยต่อการสะสมตัวของสังกะสีในพื้นที่ดังกล่าว

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเรื่องอายุของตะกอนดิน อัตราการตกตะกอนและการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณปลายแหลมสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต โดยธาตุโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์มี 3 ชนิด คือ ดีบุก (Sn), ตะกั่ว (Pb), และสังกะสี (Zn) โดยจะทำการศึกษาชั้นตะกอนดินลึกจากผิวดิน 100 cm โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมด 2 แห่ง ตะกอนดิน คือ จุด A และจุด B (ดังรูปที่ 3.2) โดยมีวัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- สารเคมี
 - 1) กรดไนตริก (nitric acid, HNO_3) ความเข้มข้น 1 M
 - 2) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 1.75 M
 - 3) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) 30%
 - 4) น้ำยามาตรฐาน (pH Buffer Solution)
- วัสดุอุปกรณ์
 - 1) ตลับเมตร
 - 2) เครื่องชั่งสารเคมี ยี่ห้อ METTLER รุ่น TOLEDO
 - 3) ตู้แช่เย็น (4°C)
 - 4) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNB 100-500
 - 5) ถังเก็บตัวอย่าง (ซีปล็อก)
 - 6) เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบบแบ่ง Russian corer ความยาว 100 cm เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 cm ดังรูปที่ 3.1

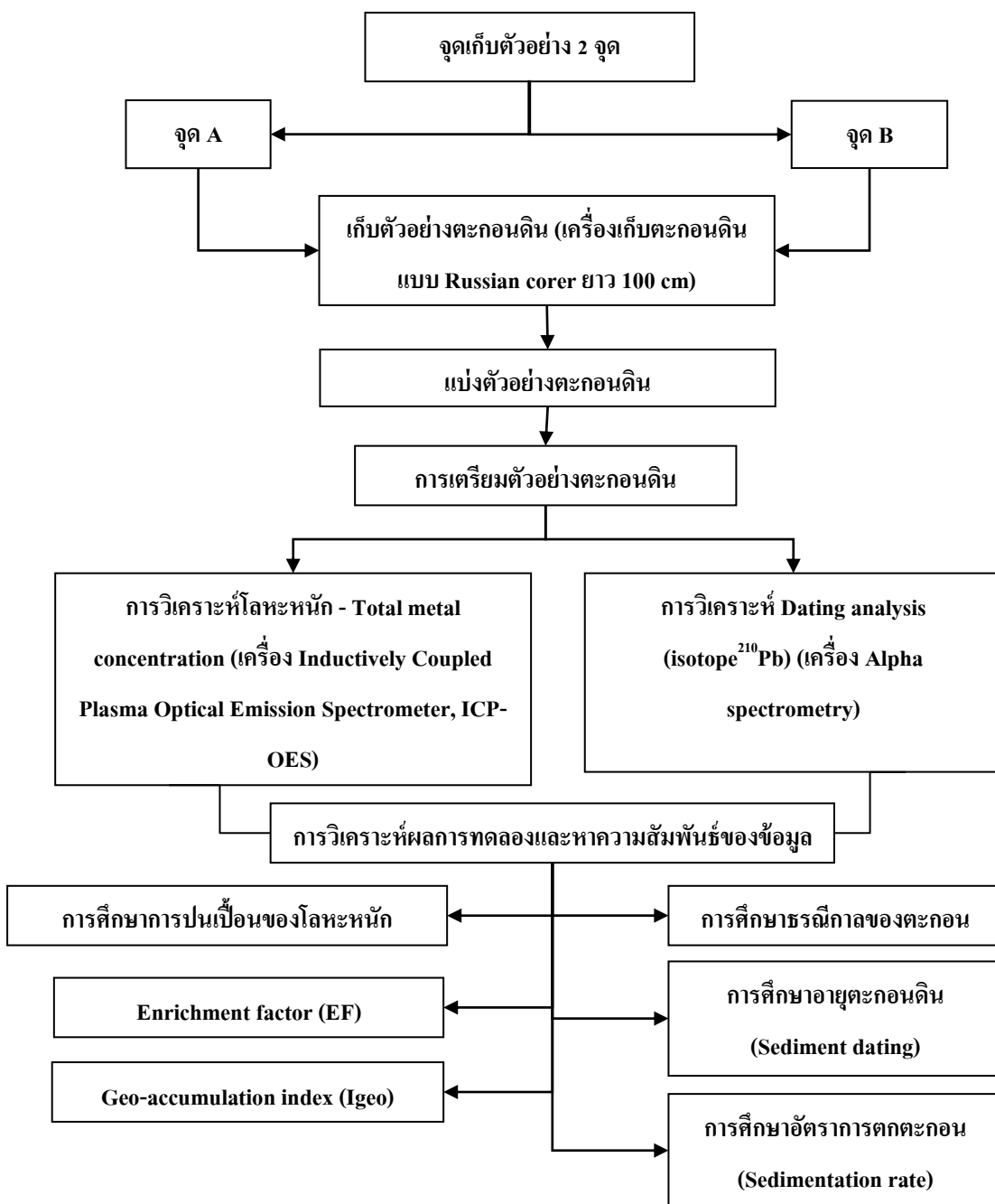


รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแท่งเก็บตะกอนดินแบบ Russian corer

- 7) Hot plate stirrer ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS7
- 8) เครื่องวัดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex Venture GPS
- 9) ตะแกรงร่อนดิน No.100 และ 230 (ขนาดตะกอนดินเล็กกว่า 150 และ 63 μm)
- 10) กระดาษกรอง Whatman No.4
- 11) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 25 ml
- 12) กล้องถ่ายภาพ ยี่ห้อ Nikon แบบ DSLR รุ่น D 3000
- เครื่องมือตรวจวัดและวิเคราะห์
 - 1) เครื่อง pH Meter ยี่ห้อ Eutech รุ่น Cyber scan Diamond Series pH 450
 - 2) โพรบวัดค่า ORP ยี่ห้อ OAKTON
 - 3) เครื่อง Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer Optima รุ่น 4300 DV /Perkin Elmer Optima 800
 - 4) EC meter รุ่น EC-3 HM DIGITAL
 - 5) เครื่อง Alpha spectrometry รุ่น Berthold LB 770

3.2 การดำเนินงานวิจัย

ระเบียบวิธีการวิจัยในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1

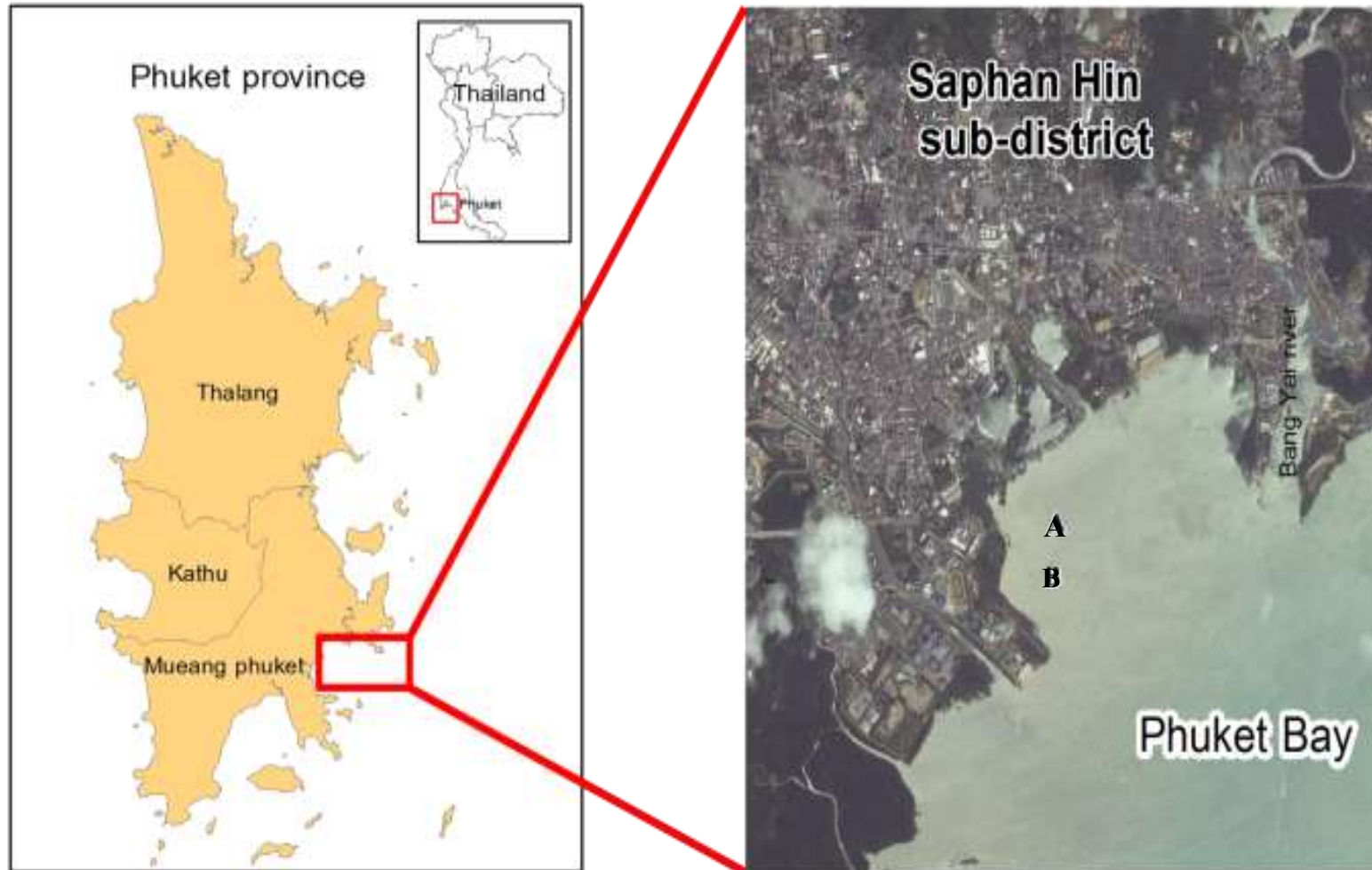


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณปลายแหลมสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต ในวันที่ 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ที่ระดับความสูงของน้ำทะเล 0.97 m เหนือระดับน้ำลงต่ำที่สุด (กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ, 2560) ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมด 2 แห่งตะกอนดิน คือ จุด A (พิกัด $7^{\circ}52'07.1''\text{N}$ $98^{\circ}24'05.4''\text{E}$) และจุด B (พิกัด $7^{\circ}52'03.9''\text{N}$ $98^{\circ}24'04.5''\text{E}$) โดยใช้เครื่องวัดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex Venture GPS ในการเก็บพิกัดของจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งจุด A และ จุด B มีระยะห่างกัน 110 m พื้นที่เก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบบแท่ง Russian corer ขนาดยาว 100 cm เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 cm (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.3 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ณ อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินแบบแท่งโดยทำการเจาะลึกลงไปใผิวดิน จากนั้นนำตะกอนดินออกจากแท่งเก็บตัวอย่าง ตัดแบ่งตัวอย่างตะกอนดินชั้นละ 5 cm ซึ่งสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 20 ชั้นในแต่ละแท่งตะกอนดิน (100 cm / ชั้นละ 5 cm) รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการเก็บจากทั้งสองจุดเท่ากับ 40 ตัวอย่าง ต่อมาทำการเก็บและบันทึกข้อมูลของชั้นตะกอนดินด้วยกระดาษ log sheet และถ่ายภาพตะกอนดินด้วยกล้องถ่ายภาพ ยี่ห้อ Nikon แบบ DSLR รุ่น D 3000 เพื่อบันทึกลักษณะของชั้นตะกอนดิน จากนั้นนำตัวอย่างตะกอนดินใส่ถุงพลาสติกซีลปิดปากถุงให้สนิทและนำตัวอย่างมาบรรจุลงในถังน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อเก็บรักษาตัวอย่างและนำไปแช่ในตู้เย็น ที่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

3.3.2 การวิเคราะห์แท่งตะกอนดิน

(1) คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดิน

- การวัดความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างตะกอนดิน (pH) อ้างอิงวิธีจาก APHA Method 4500-H: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992) ซึ่งจะทำการวัดด้วยเครื่อง pH Meter ยี่ห้อ Eutech รุ่น Cyber scan Diamond Series pH 450 วัดค่าจากส่วนน้ำที่ใสอยู่ชั้นบน โดยใช้อัตราส่วนตะกอนดินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:10

- การวัดค่าศักย์ภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) อ้างอิงวิธีจาก APHA Method 2580: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992) ซึ่งจะทำการวัดด้วยเครื่อง pH Meter ยี่ห้อ Eutech รุ่น Cyber scan Diamond Series pH 450 โดยการเปลี่ยนเป็นหัวโพรบวัดค่า ORP ยี่ห้อ OAKTON วัดค่าจากส่วนน้ำที่ใสอยู่ชั้นบน โดยใช้อัตราส่วนตะกอนดินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:10

- การวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) อ้างอิงวิธีจาก APHA Method 2510: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992) ซึ่งทำการวัดด้วยเครื่อง EC meter รุ่น EC-3 HM DIGITAL วัดค่าจากส่วนน้ำที่ใสอยู่ชั้นบน โดยใช้อัตราส่วนตะกอนดินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:10

(2) ความเข้มข้นของโลหะหนัก

- การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

ทำการชั่งน้ำหนักเปียกของตะกอนดินและจดบันทึกน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารเคมี ยี่ห้อ METTLER รุ่น TOLEDO โดยใช้ทศนิยม 4 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำตะกอนดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างใส่กระดาษฟอยล์นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาประมาณ 48 hr หรือจนกว่าดินแห้ง เมื่อดินแห้งสนิทจึงนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อตรวจหาค่าความชื้น

หลังจากนั้นนำตะกอนดินที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร (Mortar) ต่อมาทำการคัดแยกขนาดของตะกอนตัวอย่างด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 100 เพื่อแยกขนาดโดยเลือกเฉพาะตะกอนดินที่มีขนาดเล็กกว่า 150 μm และต่อมาคัดแยกขนาดของตะกอนตัวอย่างด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 230 เพื่อทำการเลือกเฉพาะตะกอนดินที่มีขนาดเล็กกว่า 63 μm จากนั้นเก็บใส่ถุงเก็บตัวอย่างปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำตัวอย่างดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

- การย่อยตัวอย่างตะกอนดิน

ความเข้มข้นโลหะทั้งหมด (total metal concentration) โดยซั่งตะกอนดินประมาณ 0.5 g ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 250 ml เติมกรด *aqua regia* ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) เป็นปริมาณ 15 ml บน hot plate ตามวิธีมาตรฐาน US-EPA 3052 (1996) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120 ถึง 180 $^{\circ}\text{C}$ หากตัวอย่างตะกอนดินเริ่มแห้งเติมกรดไนตริก (HNO_3) ย่อยเป็นเวลา 8-9 hr หรือจนกว่าตะกอนดินจะมีลักษณะคล้ายฝุ่นแป้ง จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4 พร้อมเจือจางด้วยน้ำกลั่น ใน Volumetric Flask ปริมาตร 25 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 ml

วิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินคือ ตะกั่ว (Pb), ดีบุก (Sn), และสังกะสี (Zn) โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer Optima รุ่น 4300 DV/Perkin Elmer Optima 8000

(3) อายุของตะกอนดินและอัตราการตกตะกอน

วิเคราะห์อัตราการตกตะกอนโดยใช้ isotope ของ ^{210}Pb โดยทำการย่อยตัวอย่างตะกอนดินโดยเติมสารติดตามพอโลเนียม-209 (^{209}Po) ที่ทราบความแรงรังสีแน่นอนด้วยกรดไนตริก กรดเปอร์คลอริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ตามลำดับ ตะกอนที่เหลือนำไปละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 M แล้วนำไปเกาะติดบนแผ่นเงินบริสุทธิ์ หลังจากนั้นนำไปวัดรังสีอัลฟาด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด Alpha spectrometry รุ่น Berthold LB 770 (ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, และคณะ, 2556) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างตะกอนดินถูกส่งนำไปวิเคราะห์อายุของตะกอนดินและอัตราการตกตะกอนจากกัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ณ สถาบันนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- สมการที่ใช้ในการคำนวณอายุตะกอน คือ (Faure, 1986)

$${}^{210}\text{Pb}_A = {}^{210}\text{Pb}_A^0 e^{-\lambda T} \quad \text{สมการที่ 1}$$

${}^{210}\text{Pb}_A$ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ${}^{210}\text{Pb}$ ต่อน้ำหนักของตัวอย่างที่ความลึก h

${}^{210}\text{Pb}_A^0$ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ${}^{210}\text{Pb}$ ที่ผิว (h=0)

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ ${}^{210}\text{Pb}$ มีค่าเท่ากับ 3.11×10^{-2} ต่อปี

T คือ ค่าอายุของตัวอย่างตะกอนดิน (ปี)

- สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการตกตะกอน

$$W = \frac{(\ln(A_0 - A_x) / m_x)}{\lambda (\text{Plot ระหว่าง } \ln A_{\text{Pb-210}} \text{ กับ } m_x)} \quad \text{สมการที่ 2}$$

A_x คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ${}^{210}\text{Pb}$ ที่ความลึก x cm จากตะกอนชั้นบนสุด

A_0 คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ${}^{210}\text{Pb}$ ของตะกอนชั้นบนสุด

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของ ${}^{210}\text{Pb}$ มีค่าเท่ากับ 0.0311 ต่อปี

m_x คือ มวลสะสม (Cumulative dry mass) (g/cm^2) จากตะกอนชั้นบนสุดถึงความลึก x cm

W คือ อัตราตกทับถมของตะกอน ($\text{g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$)

(4) การวิเคราะห์ผลและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Statistical Analysis)

- การศึกษาความสัมพันธ์กันของโลหะหนักแต่ละชนิด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 16.00 วิเคราะห์ด้วย Pearson Correlation Analysis

- การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยใช้ดัชนีการปนเปื้อน ได้แก่ ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) และค่าปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

1. ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) สามารถประเมินระดับการปนเปื้อนที่เกิดจากโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{สูตร } I_{geo} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_{\text{metal}}(\text{sample})}{1.5 C_{\text{metal}}(\text{background})} \right) \quad \text{สมการที่ 3}$$

$C_{\text{metal}}(\text{sample})$ คือ ปริมาณ โลหะหนักในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน

$C_{\text{metal}}(\text{background})$ คือ ปริมาณ โลหะหนักในพื้นที่ศึกษา

จากค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) !เกณฑ์ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดินสามารถแบ่งเป็นระดับดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดินจากดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})

ระดับค่า I_{geo}	คุณภาพของตะกอนดิน
$I_{geo} < 0$	ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted)
0.01 – 0.99	ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted)
1.00 – 1.99	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (moderately polluted)
2.00 – 2.99	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง (moderately to strongly polluted)
3.00 – 3.99	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูง (strongly polluted)
4.00 – 4.99	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก (strongly to very strongly polluted)
$I_{geo} > 5.00$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก (very strongly polluted)

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2555

2. ค่าปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) เป็นการประเมินระดับการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยคำนวณจากอัตราส่วนปริมาณโลหะหนักที่ศึกษากับปริมาณโลหะหนักในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อบ่งบอกอิทธิพลของกิจกรรมมนุษย์ต่อการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{สูตร } EF = \frac{[M/Al] \text{ sample}}{[M/Al] \text{ background}} \quad \text{สมการที่ 4}$$

[M/Al] sample คือ อัตราส่วนของโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอะลูมิเนียมในแท่งตะกอนดิน

[M/Al] background คือ อัตราส่วนของโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอะลูมิเนียมในพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้ใช้ค่าอ้างอิงของธาตุอะลูมิเนียม, ตะกั่ว, ดีบุกและสังกะสี (มีค่าเท่ากับ 115,360 mg/kg, 20 mg/kg, 40 mg/kg, และ 80 mg/kg ตามลำดับ) เป็นธาตุอ้างอิงในธรรมชาติ (background) จากแร่ประกอบหินพื้นฐานของพื้นที่จังหวัดภูเก็ต พังงา และตะกั่วป่า (Garson, *et al.*, 1975) การนำธาตุอะลูมิเนียมมาใช้เป็นธาตุอ้างอิงในธรรมชาติ (background) เนื่องจากพบมากในธรรมชาติ และมีความเสถียร

การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยใช้ปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) สามารถแบ่งเป็นระดับต่างๆดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ระดับของอิทธิพลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จากปัจจัยการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF)

ระดับค่า EF	คุณภาพของตะกอนดิน
EF < 2.00	ระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลน้อย (deficiency to minimal enrichment)
2.00 – 5.00	ระดับที่ได้รับอิทธิพลปานกลาง (moderate enrichment)
5.01 – 20.00	ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง (significant enrichment)
20.01 – 40.00	ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูงมาก (very high enrichment)
EF > 40.00	ระดับที่ได้รับอิทธิพลอย่างรุนแรง (extremely high enrichment)

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2555

(5) การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน (Method validation)

- การหาค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% Recovery) เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการย่อยโลหะหนัก โดยเลือกใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ซึ่งเป็นดินตะกอนทะเลจากประเทศแคนาดา (National Research Council Canada, 2014) มาเปรียบเทียบกับเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ Recovery} = \frac{100 - (\text{ผลที่วัดได้} - \text{ผลใน certificate})}{\text{ผลใน certificate} \times 100} \quad \text{สมการที่ 5}$$

บทที่ 4

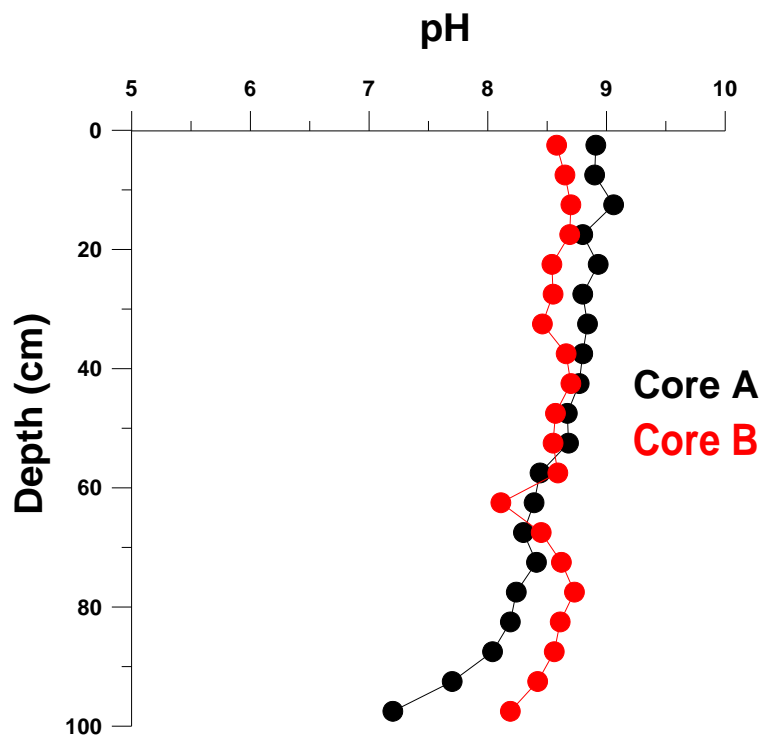
ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

การศึกษาอายุตะกอนดิน อัตราการตกตะกอน และการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต โดยทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินตัวอย่าง; 2) ความเข้มข้นของโลหะหนัก; 3) ค่าดัชนีตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน และ 4) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

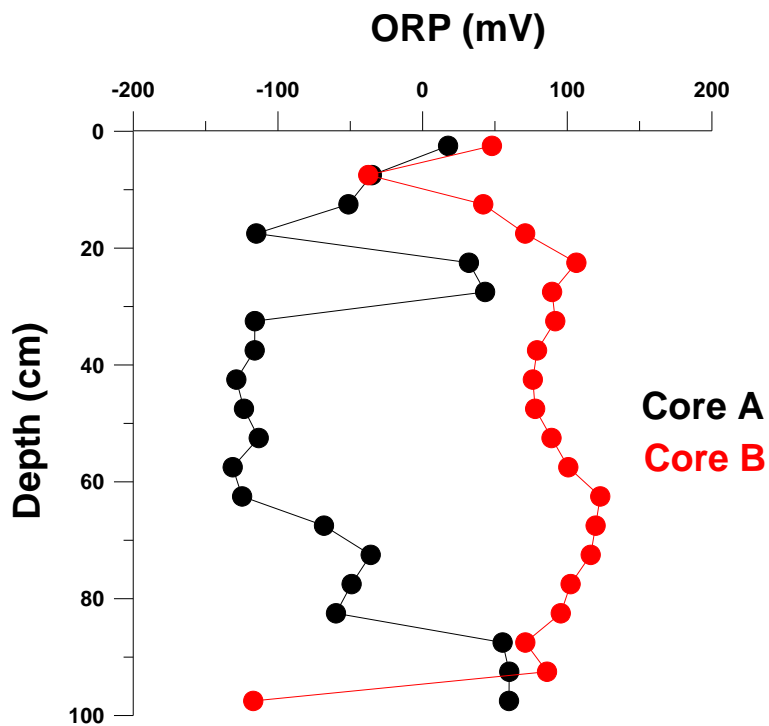
งานวิจัยนี้มีการเก็บตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมด 2 แห่งตะกอนดิน คือ จุด A และ จุด B ซึ่งในแต่ละแห่งตะกอนดินแบ่งชั้นได้ทั้งหมด 20 ชั้นตะกอนดิน โดยแบ่งระยะห่างความกว้างในแต่ละชั้นเท่ากับ 5 cm

4.1 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินตัวอย่าง

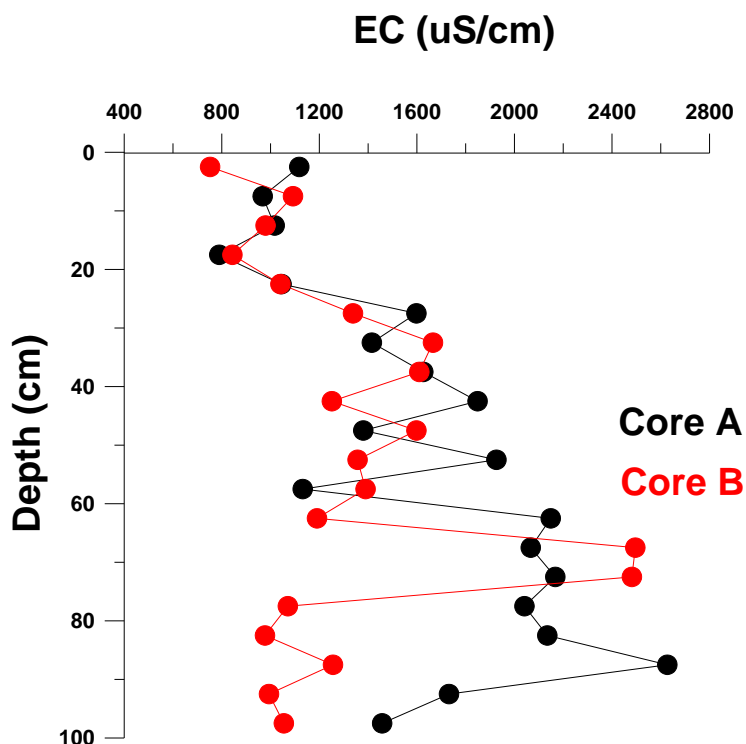
คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินทั้ง 2 แห่ง (แห่งตะกอนดินจุด A และจุด B) ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP), และค่าการนำไฟฟ้า (EC) แสดงดังรูปที่ 4.1 (a), (b), และ (c) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 (a) ค่าความเป็นกรด - เบส (pH) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด



รูปที่ 4.1 (b) ค่าศักย์ภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด



รูปที่ 4.1 (c) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดินทั้งสองจุด

จากรูปที่ 4.1 (a) ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ในแท่งตะกอนดินจุด A มีค่า pH มากที่สุดเท่ากับ 9.06 ในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 18 ที่ระดับความลึก 12.5 cm และน้อยที่สุดเท่ากับ 7.20 ในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 1 ที่ระดับความลึก 97.5 cm ในแท่งตะกอนดินจุด B มีค่า pH มากที่สุดเท่ากับ 8.73 ในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 5 ที่ระดับความลึก 77.5 cm มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 8.11 ในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 8 และ ที่ความลึก 62.5 cm

อีกทั้งเมื่อพิจารณาความแตกต่างกันในแต่ละชั้นของตะกอนดินในส่วนของค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ในแท่งดินตะกอนทั้งสอง (รูปที่ 4.1 (b)) พบว่าแท่งตะกอนดินจุด A มีค่า ORP มากที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 2 ที่ระดับความลึก 92.5 cm และน้อยที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 9 ที่ระดับความลึก 57.5 cm มีค่าเท่ากับ 59.9 mV และ -131.3 mV ตามลำดับ แท่งตะกอนดินจุด B มีค่า ORP มากที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอน 8 ที่ระดับความลึก 62.5 cm และน้อยที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอน 1 ที่ระดับความลึก 97.5 cm มีค่าเท่ากับ 122.8 mV และ -117.1 mV ตามลำดับ

ส่วนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในแท่งดินตะกอนทั้งสอง (รูปที่ 4.1 (c)) พบว่า แท่งตะกอนดินจุด A มีค่า EC มากที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 3 ที่ระดับความลึก 87.5 cm และน้อยที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 17 ที่ระดับความลึก 17.5 cm มีค่าเท่ากับ 2626.8 $\mu\text{S/cm}$ และ 789.7 $\mu\text{S/cm}$ ตามลำดับ แท่งตะกอนดินจุด B มีค่า EC มากที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอน 7 ที่ระดับความลึก 67.5 cm และน้อยที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอน 20 ที่ระดับความลึก 2.5 cm มีค่าเท่ากับ 2,495.6 $\mu\text{S/cm}$ และ 752.2 $\mu\text{S/cm}$ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ในแท่งตะกอนดินทั้งสองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 7.20 ถึง 9.06 จัดว่าตะกอนดินมีสภาพเป็นกลาง (Neutral) ถึง เบสจัดมาก (Very Strongly Alkaline) (ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2548) ซึ่งการที่ตะกอนดินมีสภาพเป็นกลางถึงเบสจัดมาก ส่งผลให้โลหะหนักที่อยู่ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การศึกษากระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก เนื่องจากโลหะหนักตกตะกอนกับสารจำพวกคาร์บอเนตหรือหมู่ไฮดรอกซิล ส่งผลให้โลหะหนักเคลื่อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก (วรกาย อุตสาหกรรม, 2541) ประกอบกับในส่วนของค่าการเกิดกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดินมีค่าอยู่ในช่วง -131.3 ถึง 59.9 mV ซึ่งแสดงถึงการเกิดสภาวะออกซิเดชันและสภาวะรีดักชันขึ้นในตะกอนดิน (การให้และรับอิเล็กตรอน) โดยตะกอนดินที่มีการระบายอากาศดีก็มักจะเกิดกระบวนการออกซิเดชัน ส่วนตะกอนดินที่มีการระบายอากาศไม่ดีก็มีโอกาสเกิดกระบวนการรีดักชัน โดยโลหะหนักบางชนิด เช่น สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) มีสภาพเคลื่อนที่ปานกลางในสภาพออกซิเดชัน แต่ในสภาพรีดักชันธาตุกลุ่มนี้จะมีสภาพการละลายต่ำหรืออยู่ในสภาวะที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เนื่องจากมักมีการรวมตัวกับธาตุซัลเฟอร์ (S) เกิดเป็นแร่ที่มีความเสถียรมากกว่าในสภาพออกซิเดชัน (วรชาติ วิสวพิพัฒน์, 2555) ดังนั้นธาตุโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างแท่งตะกอนดินทั้งสองจุดจึงมีโอกาสที่จะเคลื่อนย้ายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้เมื่อตะกอนดินเกิดสภาวะออกซิเดชันจึงอาจจะทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและเกิดการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตได้ แต่หากตะกอนดินอยู่ในสภาวะรีดักชันจะทำให้ธาตุโลหะหนักไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมจะทำให้ไม่เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและไม่เกิดการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต

อีกทั้งในส่วนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) จากผลการศึกษาพบว่า ค่า EC ของตะกอนดินทั้งสองมีค่าอยู่ในช่วง 752.2 ถึง 2,626.8 $\mu\text{S/cm}$ ซึ่งค่า EC ของดินจะถูกควบคุมโดยระดับของเกลือที่ละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และ โซเดียม ซึ่งดินที่มีระดับโลหะหนักสูงอาจจะมีค่า pH ต่ำ (pH 3 ถึง 5) หมายถึงว่ามีค่า EC ในดินเท่ากับศูนย์ จึงทำให้โลหะหนักอาจถูกเคลื่อนย้ายออกและไม่มีเกลือละลายอยู่ ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง EC ในดินและหากเมื่อค่า EC ใน

ตะกอนดินสูงจะทำให้พื้นที่นั้น ๆ ปราศจากโลหะต่าง ๆ เช่น เหล็ก สังกะสี (Kathuli, *et al.*, 2013) อีกทั้งค่าพบว่าค่า EC บริเวณปากแม่น้ำที่อยู่ติดริมทะเลจะมีค่าการนำไฟฟ้าของดินมากอยู่ในช่วง 3,500 ถึง 4,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ส่วนบริเวณที่ถัดเข้ามาชายฝั่งจากปากแม่น้ำจะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงเรื่อย ๆ (วาริน แซ่ตั้ง, และคณะ, 2557) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่ามีการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 752.2 ถึง 2,626.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่ถัดเข้ามาจากปากแม่น้ำจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้สูงเหมือนกับพื้นที่ปากแม่น้ำที่อยู่ติดริมทะเล อีกทั้งหากค่า EC มีค่ามากกว่า 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ แสดงว่าตะกอนดินประกอบด้วยดินเหนียวที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าสูง (Ward, *et al.*, 1999) ดังนั้นธาตุโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างแท่งตะกอนดินที่ศึกษาทั้งสองจุดจึงมีโอกาที่จะถูกเคลื่อนย้ายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก เนื่องจากตะกอนดินมีค่า Electrical Conductivity (EC) ค่อนข้างสูง (752.2 ถึง 2,626.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

ดังนั้นจากคุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินทั้ง 2 แห่ง ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าศักยภาพการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) จึงทำให้สรุปได้ว่าบริเวณพื้นที่การศึกษามีความโอกาสน้อยที่จะได้รับการปนเปื้อนจากธาตุโลหะหนักที่อยู่ในตะกอนดิน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินทั้งสองที่ได้ทำการศึกษา พบว่ามีผลทำให้โลหะหนักในตะกอนดินเคลื่อนย้ายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ยากและอาจไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณดังกล่าว

4.2 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (mg/kg)

จากการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน (mg/kg) ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน ทำการศึกษาแท่งตะกอนดินทั้งหมด 2 จุด โดยการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งเพื่อป้องกันผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าว อีกทั้งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวความลึกของแต่ละแท่งตะกอนดิน โดยโปรแกรม SPSS version 16.0 เพื่อทดสอบความแตกต่างของชั้นตะกอนดินที่ความลึกต่างกัน โดยใช้ One-Way ANOVA วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ผลการศึกษาแสดงดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นตะกั่ว สังกะสี และดีบุก (mg/kg) ในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ตบริเวณสะพานหิน

ลำดับ ชั้น ดิน	ความ ลึก (cm)	แท่งตะกอนจุด A			แท่งตะกอนจุด B		
		ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)			ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)		
		Pb	Sn	Zn	Pb	Sn	Zn
1	2.5	12.7 ±	99.1 ±	65.4 ±	11.1 ±	89.9 ±	144 ±
		1.63 ^a	0.05	2.06 ^a	0.51 ^a	0.06	6.55 ^c
2	7.5	17.5 ±	107. ±	50.9 ±	52.5 ±	105 ±	95.7 ±
		6.13 ^{a,b,c,d}	0.06	3.81 ^{a,b}	2.54 ^{f,g}	0.10	23.58 ^{c,d}
3	12.5	18.1 ±	98.1 ±	60.7 ±	30.5 ±	113 ±	59.5 ±
		0.27 ^{a,b,c,d}	0.06	14.01 ^{a,b,c,d}	2.00 ^{a,b}	0.07	11.66 ^a
4	17.5	20.2 ±	111 ±	46.5 ±	38.2 ±	118 ±	64.2 ±
		2.16 ^{b,c,d,e}	0.07	6.17 ^a	2.31 ^{c,d,e}	0.01	7.15 ^{a,b,c}
5	22.5	22.4 ±	Non	46.5 ±	42.5 ±	113 ±	68.6 ±
		3.71 ^{b,c,d,e,f}	Detected	3.41 ^a	7.32 ^{e,f,g}	0.08	5.33 ^{a,b,c}
6	27.5	25.3 ±	111 ±	88.0 ±	45.9 ±	128 ±	69.9 ±
		1.38 ^{c,d,e,f,g}	0.02	34.37 ^d	3.47 ^{e,f,g}	0.08	9.36 ^{a,b,c}
7	32.5	23.9 ±	129 ±	54.4 ±	39.1 ±	123 ±	89.9 ±
		2.69 ^{b,c,d,e,f}	0.04	4.54 ^{a,b,c}	1.93 ^{d,e,f}	0.04	15.13 ^{b,c,d}
8	37.5	27.1 ±	162 ±	62.9 ±	58.7 ±	77.5 ±	95.1 ±
		8.74 ^{d,e,f,g}	0.13	13.17 ^{a,b,c,d}	2.82 ^g	0.03	5.58 ^{c,d}
9	42.5	35.9 ±	150 ±	66.9 ±	54.5 ±	104 ±	112 ±
		5.36 ^{g,h}	0.04	5.16 ^{a,b,c,d}	2.16 ^{f,g}	0.11	10.18 ^{d,e}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นตะกั่ว สังกะสี และดีบุก (mg/kg) ในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ตบริเวณสะพานหิน (ต่อ)

ลำดับ ชั้น ดิน	ความ ลึก (cm)	แท่งตะกอนจุด A			แท่งตะกอนจุด B		
		ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)			ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)		
		Pb	Sn	Zn	Pb	Sn	Zn
10	47.5	33.0 ±	167 ±	69.1 ±	36.0 ±	125 ±	98.6 ±
		4.68 ^{f,g}	0.06	5.80 ^{a,b,c,d}	7.41 ^{a,b,c}	0.04	5.21 ^{a,b,c}
11	52.5	35.7 ±	49.9 ±	71.1 ±	49.1 ±	95.0 ±	111 ±
		3.12 ^{g,h}	1.85	9.06 ^{a,b,c,d}	1.31 ^{f,g}	0.05	6.58 ^{d,e}
12	57.5	37.0 ±	156 ±	76.1 ±	36.2 ±	112 ±	75.2 ±
		7.00 ^{g,h}	0.03	4.25 ^{a,b,c,d}	19.38 ^{a,b,c}	0.05	38.43 ^{a,b}
13	62.5	27.2 ±	152 ±	59.7 ±	45.3 ±	125 ±	82.9 ±
		11.50 ^{d,e,f,g}	0.15	18.19 ^{a,b,c,d}	3.20 ^{e,f,g}	0.03	7.38 ^{b,c,d}
14	67.5	44.5 ±	139 ±	50.9 ±	37.2 ±	120 ±	86.4 ±
		15.58 ^h	0.17	2.71 ^{a,b}	4.90 ^{c,d,e}	0.04	12.23 ^{b,c,d}
15	72.5	31.0 ±	129 ±	45.4 ±	30.8 ±	83.8 ±	83.7 ±
		4.76 ^{e,f,g}	0.08	13.42 ^a	8.52 ^{b,c,d}	1.28	4.13 ^{b,c,d}
16	77.5	32.4 ±	145 ±	62.3 ±	16.4 ±	153 ±	61.6 ±
		3.94 ^{f,g}	0.06	8.32 ^{a,b,c,d}	3.62 ^{a,b}	0.05	0.75 ^{a,b,c}
17	82.5	26.7 ±	136 ±	79.9 ±	9.6 ±	Non	69.7 ±
		3.55 ^{d,e,f,g}	0.12	21.43 ^{b,c,d}	3.01 ^a	detected	1.27 ^{a,b,c}
18	87.5	16.8 ±	146 ±	70.9 ±	14.5 ±	133 ±	79.5 ±
		1.69 ^{a,b,c,d}	0.06	5.32 ^{a,b,c,d}	1.07 ^{a,b}	0.07	12.27 ^{a,b,c,d}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นตะกั่ว สังกะสี และดีบุก (mg/kg) ในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ตบริเวณสะพานหิน (ต่อ)

ลำดับ ชั้น ดิน	ความ ลึก (cm)	แท่งตะกอนจุด A			แท่งตะกอนจุด B		
		ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)			ความเข้มข้นโลหะหนัก (mg/kg)		
		Pb	Sn	Zn	Pb	Sn	Zn
19	92.5	14.6 ±	Non	85.3 ±	13.8 ±	121 ±	74.2 ±
		1.96 ^{a,b,c}	detected	29.18 ^{c,d}	2.45 ^{a,b}	0.11	6.08 ^{a,b,c,d}
20	97.5	13.4 ±	153 ±	58.8 ±	17.9 ±	105 ±	78.1 ±
		0.77 ^{a,b}	0.11	12.98 ^{a,b,c,d}	2.53 ^{a,b}	0.08	5.40 ^{a,b,c,d}
Max		44.5	167.0	88.0	58.7	153.0	144.0
Min		12.7	49.9	45.5	9.6	77.5	59.5

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กภาษาอังกฤษเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

จาก ตารางที่ 4.1 เป็นการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน (mg/kg) ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต โดยทำการศึกษาแท่งตะกอนดินทั้งหมด 2 จุด คือ จุด A และ จุด B พบว่า แท่งตะกอนดินจุด A มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 15 ระดับความลึก 27.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 88.03 mg/kg และมีความเข้มข้นน้อยที่สุดในลำดับชั้นดินตะกอนที่ 6 ระดับความลึก 72.5 cm (45.42 mg/kg) ส่วนในแท่งตะกอนดินจุด B พบความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุดที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 20 ระดับความลึก 2.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 144.05 mg/kg และพบความเข้มข้นน้อยที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 18 ระดับความลึก 12.5 cm (59.52 mg/kg)

ในส่วนของตะกั่วของแท่งตะกอนดินจุด A มีความเข้มข้นมากที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 7 ระดับความลึก 67.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 44.45 mg/kg และพบความเข้มข้นตะกั่วต่ำสุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 20 ระดับความลึก 2.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 12.70 mg/kg ส่วนแท่งตะกอนดินจุด B พบตะกั่วมากที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 13 ระดับความลึก 37.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 58.66 mg/kg และพบความเข้มข้นตะกั่วต่ำสุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 4 ระดับความลึก 82.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 9.64 mg/kg

และในส่วนของธาตุตะกั่วของแท่งตะกอนดินจุด A มีความเข้มข้นมากที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 11 ระดับความลึก 47.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 167.72 mg/kg และพบความเข้มข้นตะกั่วต่ำสุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 10 ระดับความลึก 52.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 49.95 mg/kg ส่วนแท่งตะกอนดินจุด B พบตะกั่วมากที่สุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 5 ระดับความลึก 77.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 153.05 mg/kg และพบความเข้มข้นตะกั่วต่ำสุดในลำดับชั้นตะกอนดินที่ 13 ระดับความลึก 37.5 cm มีความเข้มข้นเท่ากับ 77.52 mg/kg

จากผลการศึกษาดังกล่าว พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักจากทั้งแท่งตะกอนดินจุด A และจุด B มีความสอดคล้องกับ งานวิจัยของ ธงชัย สุธีรศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ (2549) ที่ได้ทำการศึกษารูปแบบของโลหะหนัก (Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn, และ Fe) ในตะกอนดินท้องน้ำ ณ คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต พบว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสีอยู่ในช่วง 41 ถึง 242 mg/kg ความเข้มข้นของธาตุตะกั่วอยู่ในช่วง 17 ถึง 113 mg/kg และความเข้มข้นของธาตุตะกั่วอยู่ในช่วง 471 ถึง 15,174 mg/kg ตามลำดับ และผลการศึกษาความเข้มข้นโลหะหนักจากทั้งสองจุดยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดิน ณ พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ บริเวณปลายแหลมสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต ซึ่งพบตะกอนดินที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นของตะกั่ว และสังกะสี อยู่ในช่วง 6.33 ถึง 29.41 และ 21.63 ถึง 73.59 mg/kg ตามลำดับ (Akkajit, *et al.*, 2018)

อีกทั้งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการนำความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของตะกอนดินทั้งมาตรฐานในประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อประเมินค่าความเข้มข้นโลหะหนักว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินที่ในแต่ละประเทศได้กำหนดไว้ ซึ่งจะบ่งบอกถึงความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นตะกั่ว สังกะสี และดีบุก ในตะกอนดินจากแหล่งต่าง ๆ

มาตรฐาน	ความเข้มข้นของ โลหะหนัก (mg/kg)			อ้างอิง / ปี
	Zn	Pb	Sn	
1. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health	200	140	50	Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999
2. Sediment Quality Guidelines: SQGs Threshold Effects Concentration level (TEC)	121	35.8	-	กรมควบคุมมลพิษ, 2555
3. คุณภาพตะกอนดินชายฝั่ง (เพื่อป้องกันสัตว์ทะเล)	102	52	-	กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ผลการศึกษาจากการวิจัยนี้พบว่า ค่าความเข้มข้นสังกะสี ตะกั่วและดีบุก อยู่ในช่วง 45.42 ถึง 144.05 mg/kg, 9.64 ถึง 58.66 mg/kg, และ 49.95 ถึง 167.72 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินกับมาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลจากแหล่งต่าง ๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health ความเข้มข้นของสังกะสีและตะกั่วมีค่าไม่เกิน 200 และ 140 mg/kg ตามลำดับ (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999) แต่ค่าความเข้มข้น โลหะดีบุกมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว และหากเมื่อนำค่าความเข้มข้นโลหะหนักมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน Sediment Quality Guidelines: SQGs ระดับ Threshold Effects Concentration (TEC) และมาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลเพื่อป้องกันสัตว์ทะเลหน้าดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2555 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2558) พบว่าความเข้มข้นของสังกะสีและตะกั่วที่พบจากแหล่งตะกอนทั้งสองจุดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

นอกจากนี้มียานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักเช่นกัน เช่น งานวิจัยการศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักในช่วง 30 ปี ที่แม่น้ำ Karnaphuli ประเทศบังกลาเทศ

จากการศึกษาพบว่า การสะสมตัวของสังกะสีและตะกั่วมีมากที่บริเวณผิวหน้าดินและค่อย ๆ ลดลงตามระดับความลึกลงไปจากผิวดิน (Wang, *et al.*, 2016) ในส่วนของการศึกษาประวัติการสะสมตัวของโลหะหนักในอ่าวโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น พบว่า การสะสมตัวของตะกั่วและสังกะสีมีแนวโน้มการสะสมตัวที่บริเวณผิวหน้าดินมากและค่อย ๆ ลดลงตามระดับความลึกลงไปจากผิวดิน (Hosono, *et al.*, 2010) และในการศึกษาประวัติการสะสมตัวของโลหะหนักในทะเลสาบ Crublig ประเทศโรมาเนีย พบว่า แนวโน้มการสะสมตัวของโลหะหนักสังกะสีมีมากในบริเวณผิวหน้าดิน (0-15 cm) และค่อย ๆ ลดลงตามระดับความลึกจากผิวดิน (Begy, *et al.*, 2016)

4.2.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน (Method validation)

การตรวจสอบวิธีการย่อยตะกอนดินในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents) ซึ่งเป็นดินตะกอนทะเลจากประเทศแคนาดา (National Research Council Canada, 2014) มาเปรียบเทียบกับเพื่อตรวจสอบวิธีการย่อยตะกอนดิน (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการย่อยตะกอนดิน (method validation)

Metals	Analyzed ICP value	Certified ICP value	
	(mg/kg)	(mg/kg)	Recovery (%)
Pb	18.38	21.5	114 ± 21.59
Zn	67.19	147	104 ± 6.75

จากผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐาน MESS-4 ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยค่าความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีที่วิเคราะห์ได้ (Analyzed ICP value) เท่ากับ 18.38 mg/kg และ 67.19 mg/kg ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีที่ระบุในสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Certified ICP value) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.5 mg/kg และ 147 mg/kg ตามลำดับ พบว่า ค่า % recovery ของสังกะสีและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 114% และ 104% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีที่ระบุในสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 (Certified ICP value) เท่ากับ 14% และ 4% ตามลำดับ ในส่วนของตีบทสรุปอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 ไม่ได้มีการระบุค่าความเข้มข้นไว้จึงไม่ได้มีการคิดค่า % recovery ของตีบทสรุป อีกทั้งค่า % recovery ที่คำนวณจากวิธีการย่อยตะกอนดินดังกล่าวถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เนื่องจากพบว่างานวิจัยอื่น ๆ มีค่า %

recovery อยู่ในช่วงดังกล่าวเช่นกัน ตัวอย่างเช่น Ashraf, *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักจากเหมืองแร่ดีบุก พบว่า % recovery อยู่ในช่วง 104% ถึง 127% และจากการศึกษาหาปริมาณเหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในลุ่มน้ำจังหวัดสกลนครและชัยภูมิ พบว่า %recovery อยู่ในช่วง 83.1% ถึง 105% (แก้วกมล มิตรสีดา และ สักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย, 2558) เป็นต้น

4.3 ค่าดัชนีตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน

การศึกษาค่าดัชนีการตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน โดยทำการศึกษาค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo}) และการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

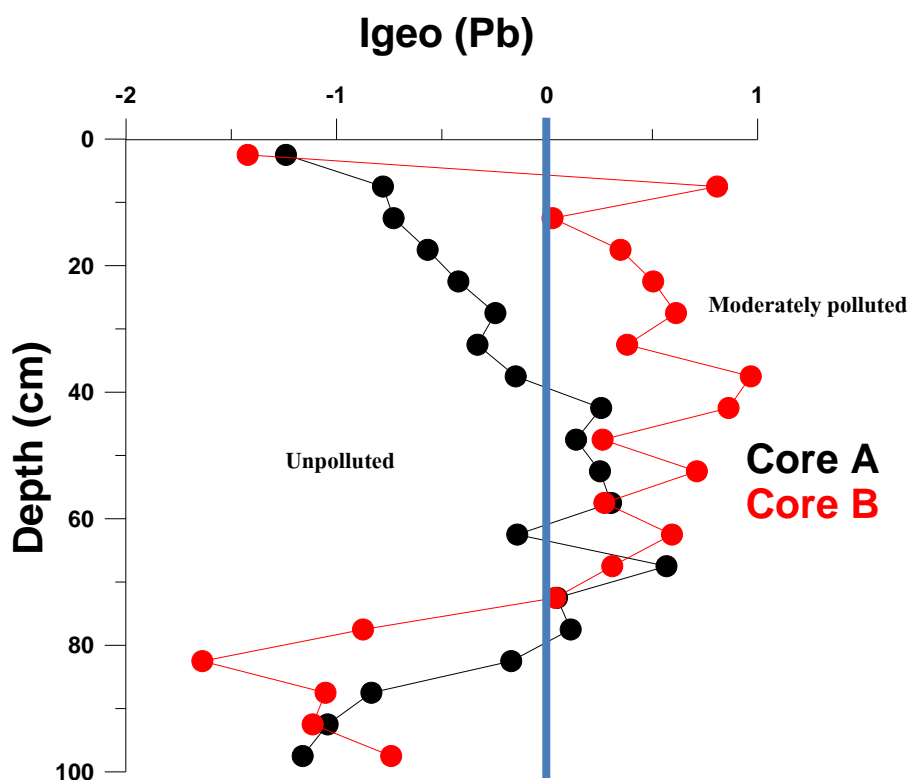
4.3.1 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Geo-accumulation index, I_{geo})

การศึกษาค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) (รูปที่ 4.3) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะในตะกอนดิน โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักที่ศึกษากับโลหะหนักในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ในแท่งตะกอนดินจุด A ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่ว มีค่าอยู่ในช่วง -1.0 ถึง 0.8 และจุด B มีค่าอยู่ในช่วง -1.4 ถึง 1.2 แสดงถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted) ส่วนค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของสังกะสีในแท่งตะกอนดินจุด A มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted) และในแท่งตะกอนดิน จุด B พบว่า ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) มีค่าอยู่ในช่วง -1.0 ถึง 0.3 แสดงถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted) เช่นกัน และในส่วนของดีบุกเมื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) พบว่ามีค่าที่น้อยมาก จึงไม่ได้นำมาแสดงผลในส่วนนี้

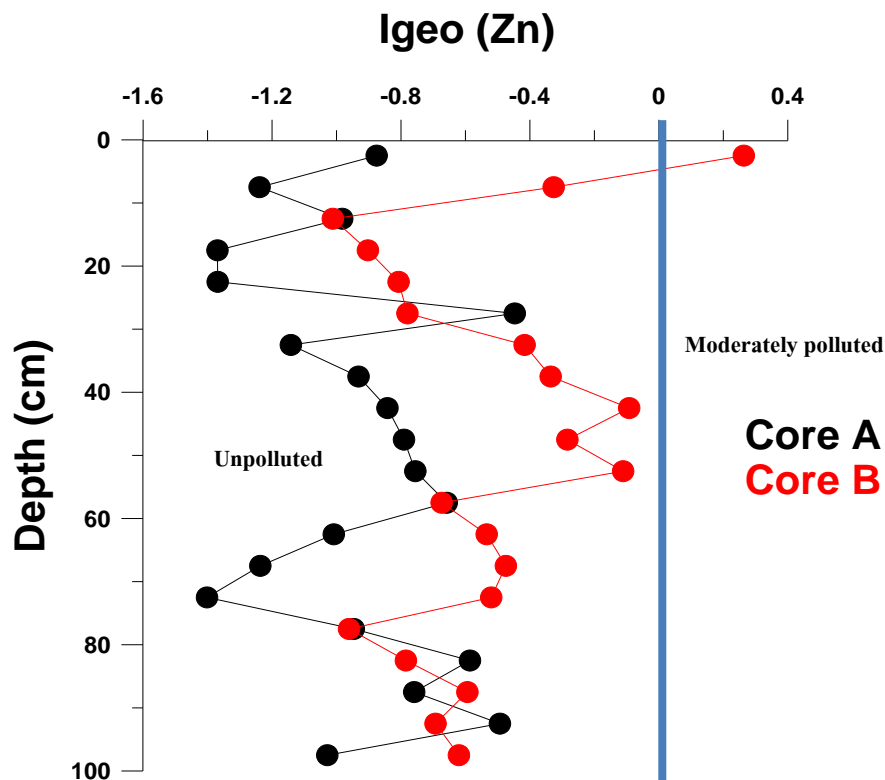
อีกทั้งจากการศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ บริเวณปลายแหลมสะพานหิน จังหวัดภูเก็ตพบว่า ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่วอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted) จนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted) และค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของสังกะสีอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted) (Akkajit, *et al.*, 2018) และจากการศึกษาการ

กระจายตัวของโลหะหนักในแท่งตะกอนดิน บริเวณปากแม่น้ำ Río Espiritu Santo ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ค่า I_{geo} ของตะกั่วและสังกะสี มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted) (Nekesha and Block, 2015)

อีกทั้งหากพิจารณาการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสองตามความลึกของตะกอนดิน พบว่า แนวโน้มของระดับการปนเปื้อนตะกั่วที่ระดับความลึกต่าง ๆ มีค่าสูงเมื่อเทียบกับบริเวณผิวน้ำดิน แต่สำหรับสังกะสีจะมีระดับการปนเปื้อนสูงบริเวณผิวน้ำดิน ทางผู้วิจัยจึงนำค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF) มาร่วมพิจารณาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการปนเปื้อนว่าเกิดจากกิจกรรมมนุษย์หรือเกิดจากกระบวนการธรรมชาติในหัวข้อถัดไป (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.2 (a) คำนีการสะสมเชิงธรณีของตะกั่วในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต



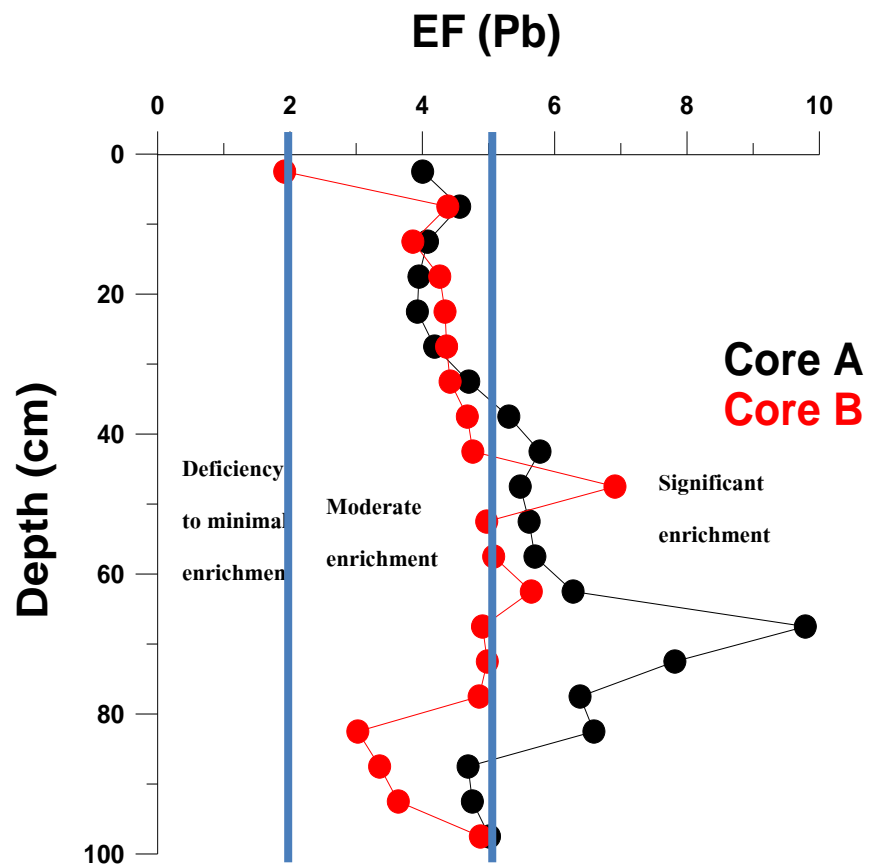
รูปที่ 4.2 (b) ดัชนีการสะสมเชิงธรณีของสังกะสีในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต

4.3.2 การสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (Enrichment factor, EF)

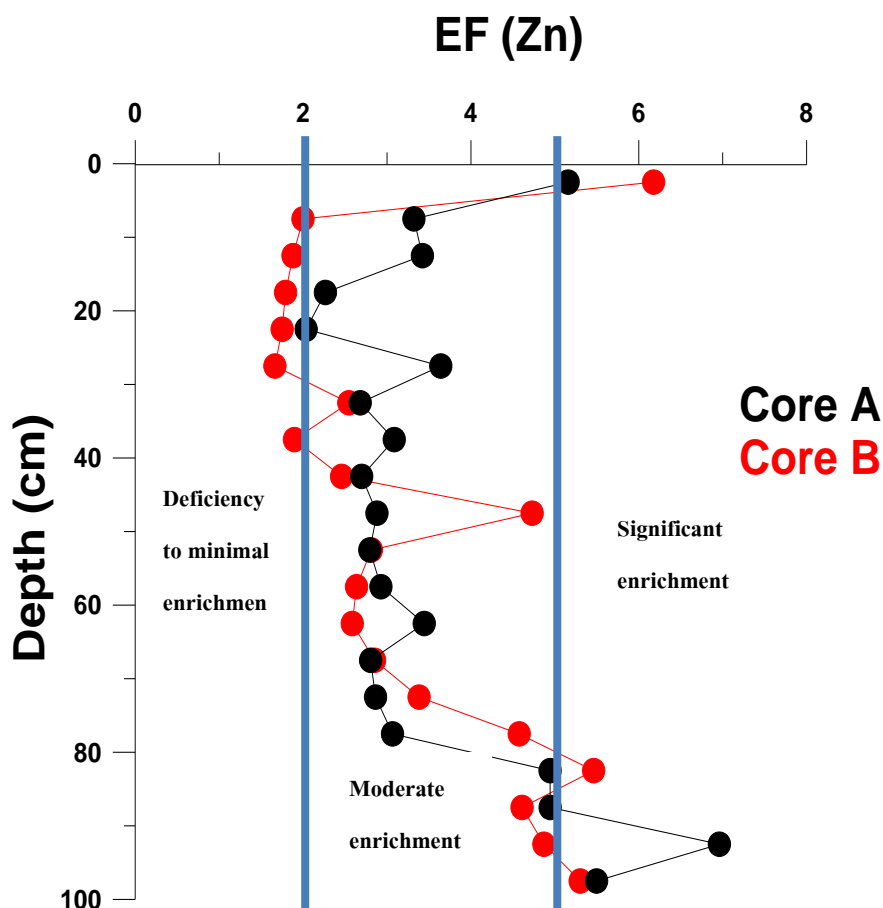
การศึกษาค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) (รูปที่ 4.4) เป็นการประเมินระดับการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยคำนวณจากอัตราส่วนปริมาณโลหะหนักที่ศึกษากับปริมาณโลหะหนักในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อบ่งบอกอิทธิพลของกิจกรรมมนุษย์ต่อการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยจากการศึกษาพบว่า การสะสมตัวของตะกั่วของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B มีค่าอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 11.2 และ 2.2 ถึง 7.9 ตามลำดับ แสดงถึงการสะสมตัวของโลหะหนักที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง (moderate to significant enrichment) ในส่วนของการสะสมตัวของสังกะสีของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.1 ถึง 7.3 และ 1.7 ถึง 6.4 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการสะสมตัวของโลหะหนักที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูงเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ค่าการสะสมตัวของตะกั่วและสังกะสี (EF) ในแท่งตะกอนดินทั้งสองมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้จากแนวโน้มของค่า EF ของตะกั่วพบว่า จะมีค่าสูงในระดับความลึกลงไปจากผิวดิน แต่สำหรับสังกะสีจะมีค่ามากในบริเวณชั้นผิวดิน

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดัชนีมาคำนวณค่าการสะสมตัว (EF) พบว่า ดินทุกชั้นตะกอนมีค่าค่อนข้างต่ำมาก จึงไม่ได้มีการนำดินทุกมาอภิปรายผลในส่วนนี้

จากผลการศึกษาค่าการสะสมตัว (EF) ของตะกั่วและสังกะสี ในแท่งตะกอนดินทั้งสองพบว่า การสะสมตัวของโลหะหนักได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง จึงทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าการปนเปื้อนโลหะหนักที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาอาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปล่อยน้ำเสียจากบ้านเรือน ร้านค้า และอาคาร กิจกรรมการทำประมงพื้นบ้านที่ทำการตลอดแนวอ่าวภูเก็ต โดยมีมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจะเป็นแบบไม่ทราบแหล่งปล่อยมลพิษที่ชัดเจน (non – point source) และอาจเกิดการสะสมตั้งแต่ในอดีตมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งก่อนหน้านี้ ที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ บริเวณปลายแหลมสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต พบว่า ค่า EF ของตะกั่ว มีค่าการสะสมตัวของโลหะหนักอยู่ในช่วง 1.93 ถึง 6.08 แสดงถึงระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลสูง (deficiency to significant enrichment) ในส่วนของค่า EF ของสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 2.00 ถึง 5.00 แสดงถึงระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลปานกลาง (deficiency to moderate enrichment) (Akkajit, *et al.*, 2018) และพรศรี มิ่งขวัญ, และคณะ (2555) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินในอ่าวไทย ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) สารหนู (As) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) แสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ค่อนข้างสูง (EF = 5 ถึง 12.4) สำหรับดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) แสดงให้เห็นว่าตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในไม่มีการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี ปรอทและสารหนู แต่มีการปนเปื้อนตะกั่วอยู่ในระดับปานกลาง (I_{geo} น้อยกว่า 0 ถึง 0.42)



รูปที่ 4.3 (a) การสะสมตัวของตะกั่วในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และจุด B ณ พื้นที่
อ่าวภูเก็ต



รูปที่ 4.3 (b) การสะสมตัวของสังกะสีในชั้นตะกอนดินของแท่งตะกอนดินจุด A และจุด B ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต

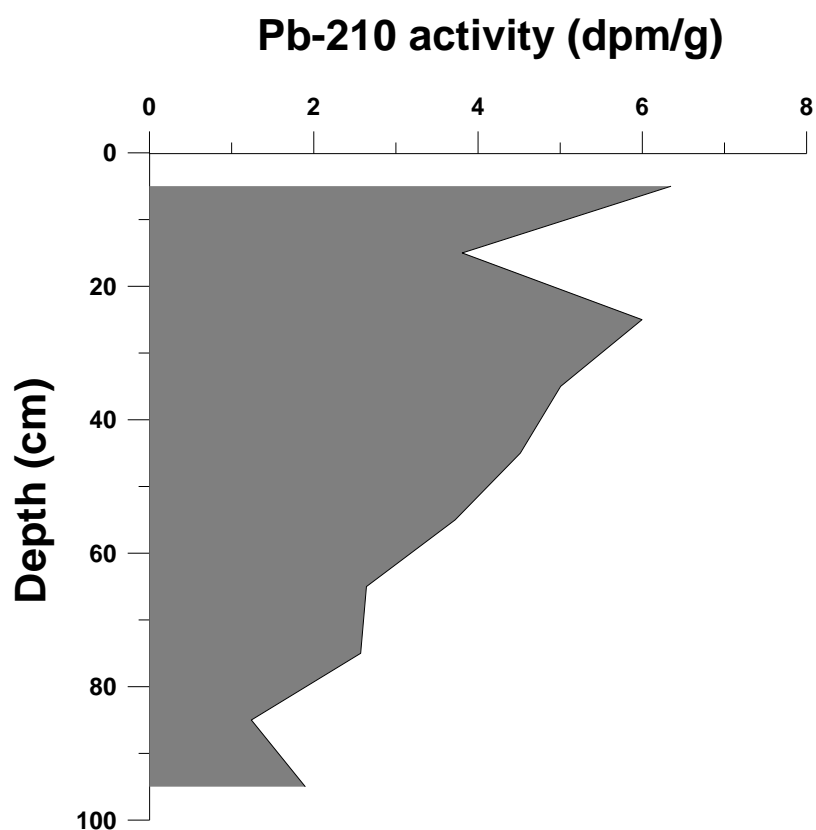
4.4. การวิเคราะห์ตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb)

4.4.1 ค่ากัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 ในชั้นตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต

การศึกษาตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) โดยทำการวิเคราะห์ตะกอนดิน 2 ปัจจัยหลัก คือ 1) การวิเคราะห์อายุของตะกอนดิน (Sediment dating) และ 2) การวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน (Sedimentation rate) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกจุดตัวอย่าง A (พิกัด $7^{\circ}52'07.1''\text{N}$ $98^{\circ}24'05.4''\text{E}$) เพียงจุดเดียว เนื่องจากจุดตัวอย่าง A และ B มีระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพียง 105 m โดยประมาณ และในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกทำการศึกษาเพียงบางชั้นดินตะกอน โดยเลือกศึกษาที่ระดับชั้นความลึกที่ 5, 15, 25, 35, 45,

55, 65, 75, 85, และ 95 cm ตามลำดับ ซึ่งเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ชั้นตัวอย่าง เนื่องจากเป็นระดับชั้นความลึกที่พบค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ดิบุก และสังกะสี ก่อนข้างสูง จึงเลือกชั้นตะกอนดินดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้

จากการศึกษาตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) แสดงดัง รูปที่ 4.5 พบว่าค่ากัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 ในชั้นตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต มีปริมาณกัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 ต่ำสุดเท่ากับ 1.231 dpm/g ที่ระดับความลึก 85 cm และมีปริมาณกัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 สูงสุดเท่ากับ 6.349 dpm/g ที่ระดับความลึก 5 cm โดยค่ากัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 จะนำมาใช้ในการคำนวณอายุตะกอนและอัตราการตกตะกอนในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากัมมันตรังสีของตะกั่ว-210 (dpm/g) กับความลึกของตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต

4.4.2 การวิเคราะห์อายุของตะกอนดินและการวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน

จากการศึกษาตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) ทำการวิเคราะห์ตะกอนดินใน 2 ปัจจัยหลัก คือ การวิเคราะห์อายุของตะกอนดินและการวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน โดยในการวิเคราะห์อายุตะกอนดินจะมีการนำอายุตะกอนดินที่คำนวณได้จากสมการที่ 1 (ในบทที่ 2) มาเทียบช่วงเวลากับปีคริสต์ศักราช เพื่อไปเชื่อมโยงกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เคยเกิดขึ้นในอดีตของจังหวัดภูเก็ต ซึ่งอาจมีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดิน ณ อ่าวภูเก็ต ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และในส่วนของ การวิเคราะห์อัตราการตกตะกอน การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลอง Constant Rate of Supply หรือ Constant flux model (CRS) ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถใช้จำลองอัตราการตกตะกอนได้ดีในตะกอนดินที่ถูกรบกวนจากสภาพอากาศหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ (Appleby and Oldfield, 1983) และเนื่องจากบริเวณพื้นที่อ่าวภูเก็ตมีการถูกรบกวนด้วยกิจกรรมของมนุษย์ต่าง ๆ จึงทำให้สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณอัตราการตกตะกอนในพื้นที่ได้ ค่าอัตราการตกตะกอนและอายุของตะกอนดินที่ระดับความลึกต่างๆแสดงดัง ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราการตกตะกอนและอายุของตะกอนดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ความลึก (cm)	อายุตะกอนดิน (y)	ปี (ค.ศ.)	อัตราการตกตะกอน ($\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$)
5	-	-	0.220
15	4.30	2013	0.411
25	6.89	2011	0.192
35	20.03	1997	0.164
45	30.73	1987	0.137
55	47.89	1970	0.110
65	69.62	1948	0.112

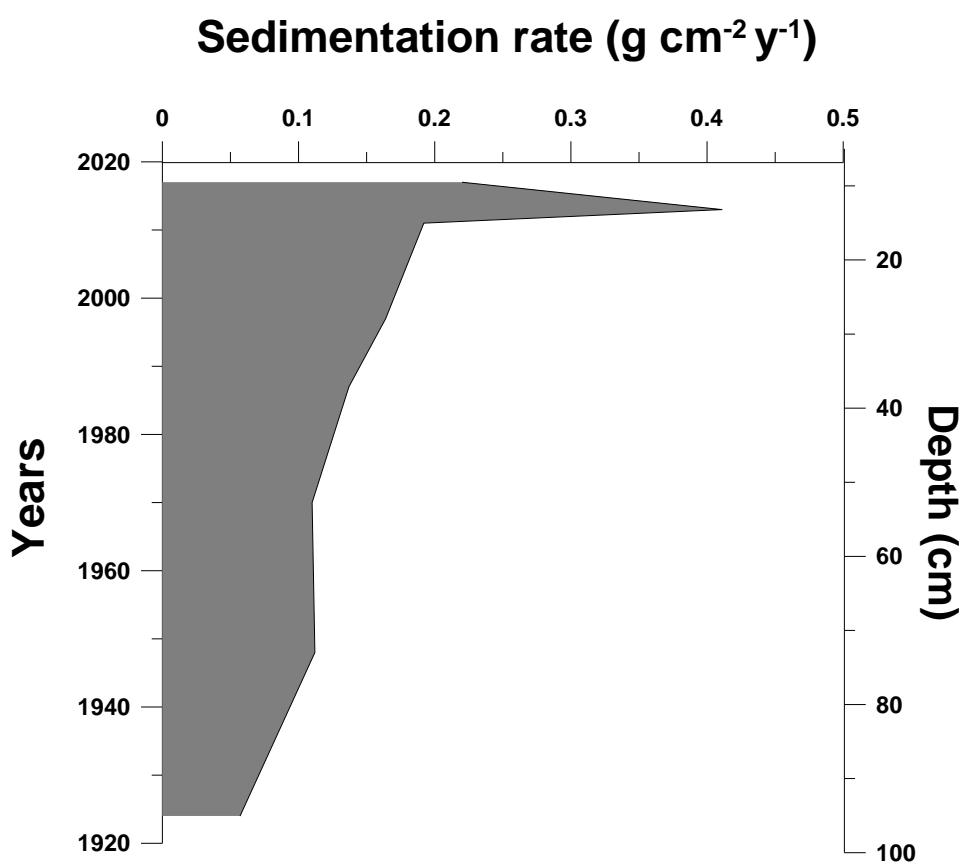
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราการตกตะกอนและอายุของตะกอนดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ (ต่อ)

ความลึก (cm)	อายุตะกอนดิน (ปี)	ปี (ค.ศ.)	อัตราการตกตะกอน (g cm ⁻² y ⁻¹)
75	93.51	1924	0.057
85	93.51	1924	-
95	134.64	1883	-

จาก ตารางที่ 4.4 พบว่าตะกอนดินที่ทำการศึกษา ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต มีอายุตะกอนดิน (ปี) 4.30 ถึง 134.64 ปี หรือมีอายุของตะกอนดินในช่วงปี ค.ศ. 1883 ถึง 2013 ซึ่งจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ช่วงปี ค.ศ. 1883 ถึง 2013 จังหวัดภูเก็ตได้มีการทำเหมืองแร่ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วจังหวัด ซึ่งถือได้ว่ากิจการเหมืองแร่เป็นที่นิยมทำกันมากในอดีตและได้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานทางเศรษฐกิจในอดีตของภูเก็ต โดยในช่วงแรกจะนิยมทำการขุดแร่บริเวณชายหาดริมทะเลและต่อมาได้มีการขุดแร่ในทะเลซึ่งเริ่มต้นขึ้นในปี ค.ศ. 1906 โดยเป็นการทำเหมืองแร่ในทะเลเป็นครั้งแรกในบริเวณอ่าวภูเก็ต ของบริษัท ฟุงคาซาเบอร์ เทรดิง จำกัด จนกระทั่งในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1993 ได้มีการหยุดกิจการทำเหมืองแร่ทั้งบนบกและในทะเล จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดของการดำเนินกิจการเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดภูเก็ต ต่อมาในปี ค.ศ. 1999 อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวได้เข้ามาแทนที่กิจการเหมืองแร่ดีบุกและกลายเป็นโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจของภูเก็ตมาจนถึงปัจจุบัน (ถนอม พูนวงศ์, 2556)

จากการศึกษาอัตราการตกตะกอน โดยใช้แบบจำลอง CRS พบว่าตะกอนดิน ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา มีค่าอัตราการตกตะกอนอยู่ในช่วง 0.057 ถึง 0.411 g cm⁻² y⁻¹ และมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.175 g cm⁻² y⁻¹ โดยจะพบว่าในระดับความลึกที่ 85 และ 95 cm ไม่สามารถวิเคราะห์อัตราการตกตะกอนได้ อาจเกิดจากการที่ตะกอนดินถูกรบกวนด้วยแรงทางกายภาพทำให้เกิดการผสมผสานกันของตะกอนดินจึงไม่สามารถหาอัตราการตกตะกอนได้ (ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ และคณะ, 2556) โดยจากการศึกษาอัตราการตกตะกอนในพื้นที่อื่น ๆ เช่น บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน พบว่ามีค่าอัตราการตกตะกอนอยู่ในช่วง 0.270 ถึง 0.490 g cm⁻² y⁻¹ (Srisuksawad, *et al.*, 1997) และในพื้นที่อ่าวปัตตานี พบว่า อัตราการตกตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 1.06 cm y⁻¹ (ชูไพบย๊ะ กะเต็ง และ พวงทิพย์ แก้วทับทิม, 2551)

อีกทั้งเมื่อมีการนำค่าอัตราการตกตะกอนที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่อ่าวภูเก็ตมาเทียบกับช่วงเวลาที่คำนวณได้จากอายุตะกอน (รูปที่ 4.6) พบว่าอัตราการตกตะกอนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากในอดีตมาจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากในอดีต (ค.ศ. 1905-1996) มีการทำเหมืองแร่ทั้งบนบกและทะเลในบริเวณอ่าวภูเก็ต อีกทั้งในบริเวณดังกล่าวมีพื้นที่ป่าชายเลนใกล้แนวชายฝั่งทะเลซึ่งช่วยป้องกันคลื่นลมที่จะเข้ามาในพื้นที่ ทำให้คลื่นลมมีอิทธิพลต่อบริเวณนี้น้อย ตะกอนดินเลนบริเวณสะพานหินจึงมีการขยายออกไปจากชายฝั่งจนทำให้พื้นที่ท้องทะเลบริเวณนี้มีลักษณะตื้นเขิน (กรมทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, 2556) ซึ่งในช่วงเวลาที่อัตราการตกตะกอนมีค่าสูงสุด ($0.411 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$) อยู่ที่ระดับความลึก 15 cm อยู่ในช่วงปี ค.ศ. 2013 โดยในช่วงเวลาดังกล่าวจังหวัดภูเก็ตได้มีการสร้างเขื่อนหินรอบแนวชายฝั่งของอ่าวภูเก็ต (ปลายแหลมสะพานหิน) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวได้ถูกน้ำทะเลกัดเซาะตลิ่งทำให้เกิดความเสียหาย (Phuket Hot News, 2017) จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงสันนิษฐานได้ว่าพื้นที่อ่าวภูเก็ตเกิดการทับถมของดินตะกอน สิ่งมีชีวิต และเศษวัสดุต่างๆ ที่อยู่รอบบริเวณพื้นที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าอัตราการตกตะกอนมีค่าค่อนข้างสูงตามไปด้วย



รูปที่ 4.5 ค่าอัตราการตกตะกอน ($\text{g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$) เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ระดับความลึกต่างๆ (cm)

4.4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ของลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่อ่าวภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกับปัจจัยต่าง ๆ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี (mg/kg), ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}), ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่อ่าวภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (แสดงดัง รูปที่ 4.7) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลำดับเหตุการณ์หลัก คือ

1. เหตุการณ์ก่อนและขณะเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 (ช่วงปี ค.ศ. 1880-1945)

จากผลการศึกษาในช่วงเหตุการณ์นี้พบว่า ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่วและสังกะสี อยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน ในขณะที่ค่าการสะสมตัว (EF) ของตะกั่วอยู่ในระดับสูง และค่าการสะสมตัว (EF) ของสังกะสีอยู่ในระดับปานกลาง ในช่วงปี ค.ศ. 1907 อ่าวภูเก็ตได้มีการทำเหมืองแร่ดีบุกในทะเลเป็นที่แรก (ถนอม พูนวงศ์, 2556) อาจส่งผลทำให้ค่าความเข้มข้นของดีบุกเพิ่มขึ้นและโลหะหนักสะสมในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 1939 ถึง 1945 ได้เกิดสงครามโลกครั้งที่สอง ช่วงเวลาดังกล่าวนี้อาจทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอาจมีการถลุงโลหะมาใช้ในการผลิตอาวุธต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมตัวของตะกั่วและสังกะสีมากตามไปด้วย ดังนั้นเหตุการณ์เหล่านี้จึงอาจทำให้ค่าการสะสมตัว (EF) ของตะกั่วและสังกะสีสูง ซึ่งหมายถึงการได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนจากกิจกรรมมนุษย์ในระดับสูงและปานกลาง ตามลำดับ แต่ในส่วน of ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่วและสังกะสีที่อยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนยังไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายให้ชัดเจนได้

2. เหตุการณ์หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 (ช่วงปี ค.ศ. 1955-1996)

จากผลการศึกษาในช่วงเหตุการณ์นี้พบว่า ความเข้มข้นของดีบุกมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปี ค.ศ. 1955 ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ส่งผลให้แร่ดีบุกกลับฟื้นตัวขึ้นมาอีกครั้ง เนื่องจากความต้องการของแร่ดีบุกในตลาดมีเพิ่มขึ้นและมีราคาสูงมาก ต่อมาในปี ค.ศ. 1963 ได้มีการตั้งโรงถลุงแร่ดีบุกขึ้น (องค์การเหมืองแร่ในทะเล, 2540) และในปี ค.ศ. 1975 รัฐบาลได้มีการจัดตั้งองค์การเหมืองแร่ในทะเลเพื่อผลิตแร่ดีบุกแข่งกับเอกชนและมีการเปิดให้เอกชนเข้ามาขุดแร่ในเขตสัมปทาน ทำให้มีการผลิตแร่ดีบุกออกมาเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของดีบุกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งยังทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้นตามมาด้วย เนื่องจากเป็นโลหะหนักที่พบในการทำเหมืองแร่เช่นกัน เหตุการณ์เหล่านี้ในช่วงปี ค.ศ. 1955-1975 จึงมีอิทธิพลส่งผลทำให้ค่าความเข้มข้นของดีบุกและสังกะสีเพิ่มขึ้น (แสดงดัง รูปที่ 4.7) แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1985 เหมืองแร่ดีบุกเริ่มหยุดลง เนื่องจากแร่สั้นตลาดและมีราคาตกต่ำ จนทำให้ในปี ค.ศ. 1996 กิจกรรมเหมืองแร่ดีบุกในภูเก็ตได้สิ้นสุดลง โดยเมื่อสังเกตค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่ว

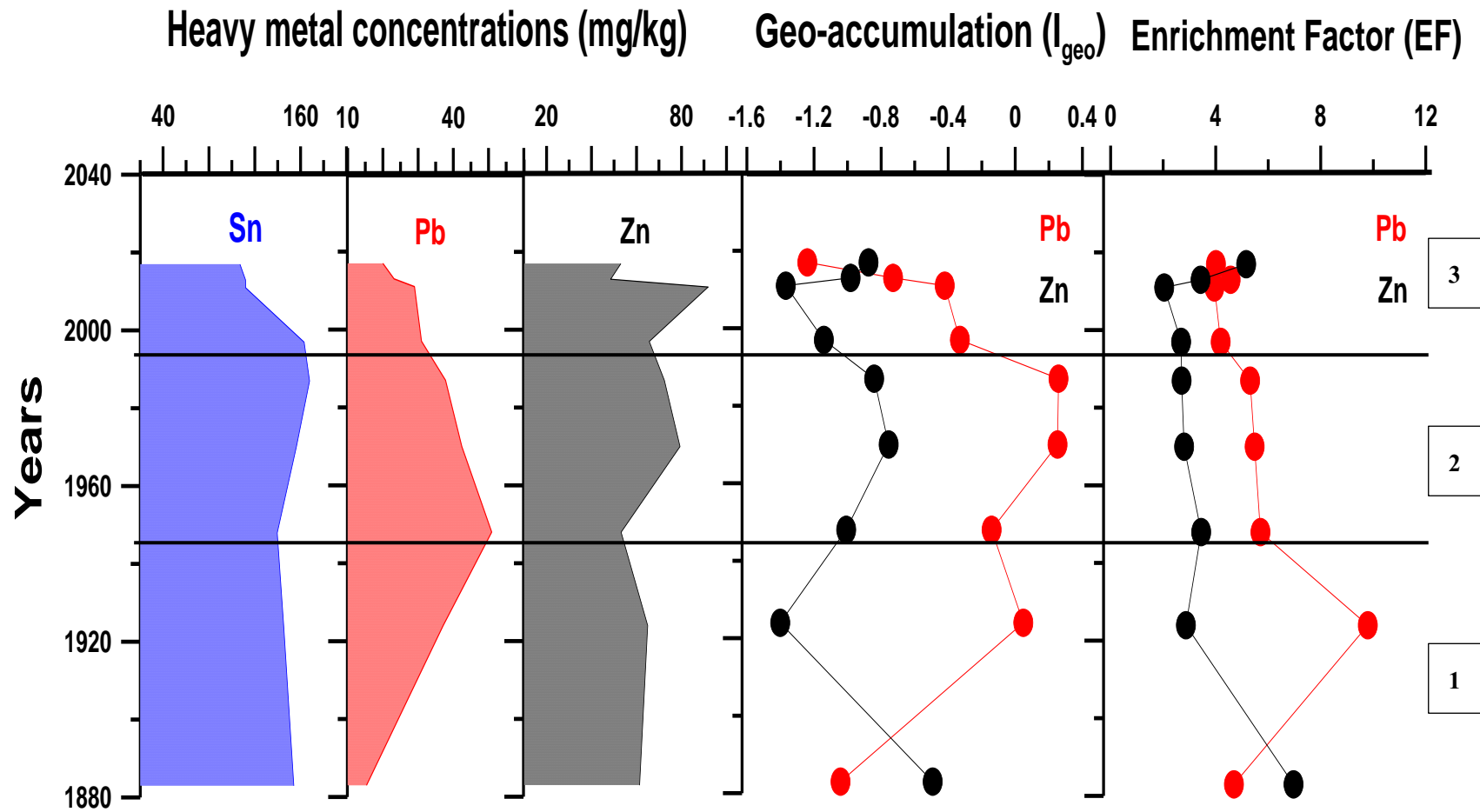
และสังกะสีในช่วงปี ค.ศ. 1975-1987 พบว่าดีบุกอยู่ในระดับที่ไม่มี การปนเปื้อนจนถึงมีการปนเปื้อนปานกลาง รวมไปถึงค่าการสะสมตัว (EF) ของตะกั่วและสังกะสี พบว่าได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ในระดับสูงและปานกลาง ตามลำดับ ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

3. เหตุการณ์หลังสิ้นสุดการทำเหมืองแร่จนถึงปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1997-2017)

หลังจากสิ้นสุดการทำกิจการเหมืองแร่ดีบุก ต่อมาจังหวัดภูเก็ตได้เปลี่ยนมาทำธุรกิจการท่องเที่ยว โดยในปี ค.ศ. 1997 บริเวณสะพานหินได้มีการสร้างศาลเจ้าวืงเทียนเก้ง ซึ่งใช้เป็นสถานที่ประกอบพิธีรับพระและส่งพระในตอนเริ่มและตอนท้ายของพิธีกินผักที่มีชื่อเสียงของภูเก็ต ในเวลาต่อมาพื้นที่อำเภอภูเก็ตได้ประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ คือ คลื่นยักษ์สึนามิ ในปี ค.ศ. 2004 ซึ่งคลื่นยักษ์ดังกล่าวทำให้สิ่งของต่าง ๆ จากบ้านเรือนที่อยู่บนพื้นที่ชายฝั่งถูกชะลงสู่พื้นที่ท้องน้ำทำให้เกิดการปนเปื้อนและการพัดพาของโลหะหนัก จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ของความเข้มข้นของโลหะหนักสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาดังกล่าว และในช่วงปี ค.ศ. 2013 จังหวัดภูเก็ตได้มีการสร้างเขื่อนหินรอบแนวชายฝั่งของอำเภอภูเก็ต (ปลายแหลมสะพานหิน) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวได้ถูกน้ำทะเลกัดเซาะตลิ่งทำให้เกิดความเสียหาย (Phuket Hot News, 2017) จึงสันนิษฐานได้ว่าทำให้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีมีการเพิ่มขึ้นสูงจากกิจกรรมดังกล่าว และจากผลการศึกษาในช่วงเวลาดังกล่าวค่าการสะสมตัว (EF) ของตะกั่วและสังกะสี พบว่า ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ในระดับปานกลาง แต่ในส่วนของค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ของตะกั่วและสังกะสีที่อยู่ในระดับที่ไม่มี การปนเปื้อน ซึ่งทางผู้วิจัยยังไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้ชัดเจน

จากลำดับเหตุการณ์ข้างต้นดังกล่าว พบว่าเราสามารถหาความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงได้จากค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี (mg/kg), ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}), และค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอภูเก็ตตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้ทราบถึงสาเหตุและแหล่งที่มาของการสะสมตัวและการเพิ่มขึ้นของโลหะหนักตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี ในพื้นที่อำเภอภูเก็ต โดยจากผลการศึกษาพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ของการปนเปื้อนโลหะหนักมาจากกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ไม่ว่าจะเป็นจากการทำสงครามโลก, การทำเหมืองแร่ดีบุก และการก่อสร้างต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการสะสมตัวและการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าว ข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่การจัดการและการวางมาตรการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

อีกทั้งจากการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้เทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) เพื่อหาอายุตะกอนดิน พบว่า ค่าความเข้มข้นของโลหะทองแดง สังกะสี โครเมียม และตะกั่ว ในพื้นที่แม่น้ำฉางเจียงของประเทศจีนในช่วงเวลา 150 ปีที่ผ่านมา มีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ประวัติศาสตร์ที่เกิดขึ้นในช่วงนั้น ๆ (Yanwei and Shouye, 2016) และ การศึกษาการบันทึกประวัติศาสตร์โดยดูจากมลพิษโลหะหนัก ในอ่าวโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น พบว่า ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่ตรวจพบมีความสอดคล้องกับลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา (Hosono, *et al.*, 2010) จึงถือได้ว่าการหาความสัมพันธ์ของลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี (mg/kg), ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) และ ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) สามารถนำมาใช้ในการสันนิษฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ ได้



รูปที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี (mg/kg), ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}), และค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (EF) เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ระดับความลึกต่าง ๆ

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในงานวิจัยครั้งนี้ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัวคือ คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดิน (pH, ORP, และ EC) กับธาตุโลหะหนักต่าง ๆ (Pb, Zn, และ Sn) แสดงดัง ตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) แห่งตะกอนดินจุด A

แห่งตะกอนดินจุด A						
	pH	ORP	EC	Pb	Zn	Sn
pH	1					
ORP	-.430	1				
EC	-.466*	.074	1			
Pb	-.238	.183	.256	1		
Zn	.144	-.637**	.336	-.014	1	
Sn	-.104	-.436	.258	-.044	.329	1

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) แ่งตะกอนดินจุด B

แ่งตะกอนดินจุด B						
	pH	ORP	EC	Pb	Zn	Sn
pH	1					
ORP	.193	1				
EC	-.044	.364	1			
Pb	.006	-.096	.059	1		
Zn	.100	.125	.276	.163	1	
Sn	-.137	.031	.031	-.166	.131	1

** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดิน (pH, ORP, และ EC) กับโลหะหนัก (Pb, Zn, และ Sn) พบว่าในแ่งตะกอนดินจุด A ค่า ORP กับ ความเข้มข้นสังกะสีมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเชิงลบ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 ($r = - 0.637^{**}$) ในส่วนของแ่งตะกอนดินจุด B พบว่า คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดิน (pH, ORP และ EC) กับ โลหะหนัก (Pb, Zn และ Sn) ในแ่งตะกอนดินดังกล่าวไม่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5 และ 4.6)

จากผลการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ผลการศึกษาใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้ เช่น Rakesh และ Raju (2013) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการปนเปื้อนโลหะหนักกับคุณสมบัติของดินในพื้นที่อุตสาหกรรม Mysore ประเทศอินเดีย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่า pH กับ EC มีความสัมพันธ์กันเชิงลบอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($r = - 0.207$) และ นันทวรรณ อุ๋นจางวาง (2557) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูและตะกั่วในตะกอน บริเวณอุ้ตะเภา พบว่าในฤดูแล้ง (ฝนตกน้อย) ค่า Eh (Oxidation reduction potential) มีความสัมพันธ์เชิงลบ

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับสารหนู ($r = -0.655^*$) และค่า pH กับ Eh ที่ทำการศึกษา
ในฤดูฝน (ฝนตกมาก) ยังมีความสัมพันธ์กันเชิงลบอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($r = -0.315$) เช่นเดียวกันใน
การศึกษารั้งนี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมตัวของโลหะหนัก ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต สามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญได้ดังนี้

1. คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนดินตัวอย่าง พบว่าตะกอนดินทั้งสองจุด มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.20 ถึง 9.06 ค่า ORP อยู่ในช่วง -131.3 ถึง 59.9 มิลลิโวลต์ และค่า EC อยู่ในช่วง 752.2 ถึง 2626.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งการที่ดินตะกอนมีสภาพเป็นกลางถึงเบสจัดมากและมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่สูงนั้น ส่งผลให้ดิบุก ตะกั่ว และสังกะสีในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การศึกษากระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ยาก และอาจทำให้บริเวณพื้นที่การศึกษามีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากดิบุกตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดินน้อยลง

2. ความเข้มข้นของดิบุก ตะกั่ว และสังกะสี ในพื้นที่การศึกษา อ่าวภูเก็ต พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 49.9 ถึง 167 mg/kg, 9.6 ถึง 58.7 mg/kg และ 45.4 ถึง 144 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินสำหรับป้องกันสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999) ยกเว้นดิบุก (ดิบุก, ตะกั่ว และสังกะสี: 50 mg/kg, 140 mg/kg และ 200 mg/kg, ตามลำดับ) ในขณะที่ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบในพื้นที่มีค่าสูงเกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (Sediment Quality Guidelines: SQGs) (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) และ มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินสำหรับชายฝั่งทะเลเพื่อปกป้องสัตว์ทะเลหน้าดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

3. ค่าดัชนีตรวจวัดคุณภาพของตะกอนดิน พบว่า

- 3.1 ระดับการปนเปื้อนโลหะหนัก (I_{geo}) ของตะกั่วและสังกะสี ของแท่งตะกอนดินจุด A และ จุด B สามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีของตะกั่ว ($I_{geo} = -1.4$ ถึง 1.2) อยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted)

- ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีของสังกะสี แห่งตะกอนดินจุด A มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted) และในจุด B ($I_{geo} = -1.0$ ถึง 0.3) อยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted)

3.2 ระดับการการสะสมตัวของโลหะหนัก (EF) ของตะกั่วและสังกะสี ของแห่งตะกอนดินจุด A และ จุด B ดังนี้

- ค่าการสะสมตัวของตะกั่ว (EF = 2.2 ถึง 11.2) แสดงถึงพื้นที่ที่มีการสะสมตัวของโลหะหนักที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง (moderate to significant enrichment)

- ค่าการสะสมตัวของสังกะสี (EF = 1.7 ถึง 7.3) แสดงถึงพื้นที่ที่มีการสะสมตัวของโลหะหนักที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง (moderate to significant enrichment)

4. การศึกษาตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) พบว่าตะกอนดินมีอายุอยู่ในช่วง 4.30 ถึง 134.64 ปี และอัตราการตกตะกอน (sedimentation rate) ในพื้นที่อ่าวภูเก็ต อยู่ในช่วง 0.057 ถึง $0.411 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ โดยมีค่าอัตราการตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ $0.175 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$

5. เมื่อนำความเข้มข้นของโลหะหนัก, ค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}), ค่าการสะสมตัว (EF) และอัตราการตกตะกอนที่วิเคราะห์มาเชื่อมโยงกับลำดับเหตุการณ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในประวัติศาสตร์ พบว่า ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ค่อนข้างมีความสอดคล้องกับลำดับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต และสามารถนำมาอธิบายการสะสมตัวของโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวได้ โดยสาเหตุและแหล่งที่มาของการสะสมตัวและการเพิ่มขึ้นของโลหะหนักตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี ในพื้นที่อ่าวภูเก็ต ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ตามลำดับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นจากการทำสงครามโลก, การทำเหมืองแร่ดีบุก และการก่อสร้างต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการสะสมตัวและการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากมีการนำงานวิจัยไปศึกษาต่อยอด ควรจะมีการศึกษาโลหะหนักตัวอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ทองแดง (Cu), สารหนู (As) เป็นต้น เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงเพิ่มเติม อีกทั้งควรศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ สัตว์น้ำและสัตว์หน้าดิน เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง

2. ควรมีการศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมจากการใช้กัมมันตภาพรังสีเพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักในพื้นที่ให้ชัดเจนมากขึ้น เช่น เทคนิค stable lead isotope ratio เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ ส่วนปฏิบัติการ การฉุกเฉินและฟื้นฟู สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. (2555). รายงานการศึกษากำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ ส่วนปฏิบัติการ การฉุกเฉินและฟื้นฟู สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. (2558). รายงานการศึกษากำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2547). “มลพิษทางทะเล.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.pcd.go.th/info_serv/water_marine.html (วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560).
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556). “ข้อมูลสมุทรศาสตร์ฝั่งอันดามัน.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://km.dmcr.go.th> (วันที่ 20 มีนาคม 2561).
- กรมทรัพยากรธรณี. (2556). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดภูเก็ต, ภูเก็ต, กรุงเทพฯ.
- กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ. (2560). “ระดับน้ำทะเลขึ้น-ลง ของจังหวัดภูเก็ต.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.hydro.navy.mi.th/tide59/TN2016.pdf> (วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2560).
- แก้วกมล มิตรสีดา และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). “การหาปริมาณโลหะหนัก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในน้ำเม้า โดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี.”, *วารสารวิจัย มข. (บศ.)*, 15, 32-40.
- ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, อภิชาติ ชาติภูวภัทร, อินทิรา พงษ์เกา, บุญสม พรเทพเกษมสันต์, วุฒิชัย จันทร์โชติ, และ อนันท์ โอมณี. (2556). การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอัตราตกทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน, สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุไรรัตน์ มหาเทียน. (2555). “โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://reo06.mnre.go.th/newweb/images/file/report2555/nok55.pdf> (วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2560).
- ชูไพบยยะ กะเต็ง และ พวงทิพย์ แก้วทับทิม. (2551). “อัตราการตกตะกอนในอ่าวปัตตานีโดยวิธีการวิเคราะห์ไอโซโทปรังสี Cs-137.”, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษามสธ. ครั้งที่ 3.

- ถนอม พูนวงศ์. (2556). *ประวัติศาสตร์เมืองภูเก็ต*, โอนเดียนสโตร, กรุงเทพฯ.
- ธงชัย สุธีรศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ. (2551). “การปนเปื้อนของโลหะหนัก Al As Cu Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต.” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 4, 767-779.
- นันทวรรณ คงขวัญ. (2558). “การทำเหมืองแร่.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://contentcenter.prd.go.th/contentviewfullpage.aspx?folder=942&subfolder&contents=49865> (วันที่ 3 มีนาคม 2560).
- นันทวรรณ อุ้นจางวาง. (2557). “การปนเปื้อนของสารหนูและตะกั่วในดินตะกอน บริเวณคลองอุ้ตะเกา.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้นมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, ภาควิชาปฐพีวิทยา, กรุงเทพฯ.
- ปาณิสรา ชูผล. (2551). “การทำเหมืองแร่ในจังหวัดภูเก็ต.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.phuketdata.net/main/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=1 (วันที่ 3 มีนาคม 2560).
- พรศรี มิ่งขวัญ, มารุต สุขสมจิตร และสุภกิจ จิวเจริญ. (2555). *การประเมินคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในหลังสถานการณ์อุทกภัยปี 2554*, ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ.
- ราชน กาญจนระวีชัย. (2540). *ตีบูกกับภูเก็ตในสมัยรัตนโกสินทร์ 100*, กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 223-224.
- รกาย อุดสำห. (2541). “ปัญหาของโลหะหนักในจังหวัดระยอง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รชาติ วิศวิพัฒน์. (2555). “เทคโนโลยีการบำบัดดินปนเปื้อนโลหะหนักด้วยวัสดุฟอสเฟต.” *แก่นเกษตร*, 40, 373-378.
- รญา ไชว์พันธุ์ และ อติทยา เขียวพฤษชัย. (2555). *ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของตะกอนดินต่อสิ่งแวดล้อม*, ส่วนแหล่งน้ำทะเล, กรมควบคุมมลพิษ.
- วาริน แซ่ตั้ง, วิโรจน์ ละอองมณี, เบ็ญจมาศ ไพบุลย์กิจกุล, และชลิ ไพบุลย์กิจกุล. “ปริมาณการนำไฟฟ้าของดินบริเวณปากแม่น้ำจันทบุรีในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน.” *แก่นเกษตร*, 42, 687-692.

- ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่. (2555). “การใช้ประโยชน์และโทษของโลหะหนัก.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://lc.dpim.go.th/kb/1024> (วันที่ 13 มีนาคม 2560).
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ. (2555). “ภัยร้ายจากโลหะหนัก.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/91-ภัยร้ายจากโลหะหนัก-ไม่รู้ไม่ได้แล้ว> (วันที่ 13 มีนาคม 2560).
- สุทธิณี มีสุข. (2555). “มลพิษโลหะหนัก” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://reo13.go.th/KM_reo13/data_know/54-06-02_metal.pdf (วันที่ 10 กันยายน 2560).
- สุนทรียิ่งชัชวาลย์. (2553). “ค่านำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของสารละลาย” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/pdf/pr/53ECEexplain.pdf> (วันที่ 10 กันยายน 2560).
- องค์การเหมืองแร่ในทะเล. (2540). *กิจการเหมืองแร่*, อักษรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อังฉรา จิรกุลชัยวงศ์. (2554). “การศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักในชั้นตะกอนดินทะเล เพื่อชี้วัดมาตรการและนโยบายทางสิ่งแวดล้อม ในการควบคุมดูแล: กรณีศึกษาอ่าวแหลมฉบัง.”, เอกสารการประชุมวิชาการ ประจำปี 2554, มหาวิทยาลัยขอนแก่น: 27-29 มกราคม 2554.
- Akkajit, P., Jaileak, K., Suteersak, T., and Prueksakorne, K. (2018). “Assessment of Heavy Metals in Sediment at Saphan Hin, Phuket.”, *Chemical Engineering Transactions*, 63, 301-306.
- American Public Health Association. (1992). *APHA Method 2510: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, United States of America.
- American Public Health Association. (1992). *APHA Method 2580: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, United States of America.
- American Public Health Association. (1992). *APHA Method 4500-H: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, United States of America.
- Appleby, P.G. and Oldfield, F. (1983). “The assessment of ²¹⁰Pb data from Sites with varying sediment accumulation rates.”, *Hydrobiologia*, 103, 29-35.
- Ashraf, M. A., Maah, J., and Yusoff, I. (2012). “Study of chemical forms of heavy metals collected from the sediments of tin mining catchment.”, *Chemical Speciation & Bioavailability*, 24(3), 183-196.

- Begy, R., Preoteasa, L., Alida, T. G., Mihaiescu, R., Tanaselia, C., Kelemen, S., and Simon, H. (2016). "Sediment dynamics and heavy metal pollution history of the Cruhlig Lake (Danube Delta, Romania).", *Journal of Environmental Radioactivity*, 153, 167-175.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999). *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables Updated*. In: *Canadian environmental quality guidelines 1999*, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- EPA. (1996). "Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils." (Online) Available on <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf> (18 November 2016).
- Faure, G. (1986). *Principles of Isotope Geology, second edition*, New York.
- García, A. C. and Prego, R. (2003). "Heavy metal sedimentary record in a Galician Ria (NW Spain): Background values and recent contamination.", *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1253-1262.
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., and Tait, B.A.R. (1975). *The geology of the tin belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa*, Natural Environment Research Council, Institute of Geological Sciences, LONDON: HMSO.
- Glassware Chemical. (2009). "Lead." (Online) Available on <http://glasswarechemical.com/tag/lead-properties/> (3 March 2017).
- Hosono, T., Su, C. C., Okamura, K., and Taniguchi, M. (2010). "Historical record of heavy metal pollution deduced by lead isotope ratios in core sediments from the Osaka Bay, Japan.", *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 1-8.
- Kathuli, P. (2014). "Soil salinization in selected irrigation schemes in Taveta Sub County, Kenya.", *East Africa agriculture and forestry journal*.
- Lepland, A., Andersen, T. J., Lepland, A., Hans, P. H., Alve, E., Gijs, D., and Rindby A. (2010). "Sedimentation and chronology of heavy metal pollution in Oslo harbor, Norway.", *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1512-1522.
- Ligeroa, R.A., Barrera, M., Ruiz, M., Sales, D., and Aguayo, F. (2002). "Dating of marine sediments and time evolution of heavy metal concentrations in the Bay of Ca'diz, Spain.", *Environmental Pollution*, 118, 97-108.

- National Research Council Canada. (2014). *MESS-4: Marine Sediment Reference Material for Trace Metals and other Constituents*, Canada.
- Nekesha, W. and Block, K. A. (2015). "Spatial and vertical distribution of metals in sediment cores from Río Espíritu Santo estuary, Puerto Rico, United States.", *Marine Pollution Bulletin*, 1-8.
- Othmani, M. A., Souissi, F., Silva, E. F., and Coynel A. (2015). "Accumulation trends of metal contamination in sediments of the former Pb-Zn mining district of Touiref (NW Tunisia).", *Journal of African Earth Sciences*, 111, 231-243.
- Phuket Hot News. (2017). "Phuket is accelerating the development of Saphan Hin for a new lung of the city." (Online) Available on <http://phukethotnews.net/news> (20 December 2017).
- Rakesh, M.S. and Raju, N.S. (2013). "Correlation of Heavy Metal contamination with Soil properties of Industrial areas of Mysore, Karnataka, India by Cluster analysis.", *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(10), 22-27.
- Souza, L. B., Rodrigues, R. G., Pedroza, H., Melo, T., Lima, L., Hazin, A., Almeida, G. O., and Nascimento, K. (2012). "Sedimentation Rate and ²¹⁰Pb Sediment Dating at Apipucos Reservoir, Recife, Brazil.", *Sustainability*, 4, 2419-2429.
- Srisuksawad, K., Porntepkasemsan, B., Nouchpramool, S., Yamkate, P., Carpenter, R., Peterson M. L., and Hamilton T. (1996). "Radionuclide activities, geochemistry, and accumulation rates of sediments in the Gulf of Thailand.", *Continental Shelf Research*, 17, 925-965.
- Wang, A., Kawser, A., Xu, Y., Ye, X., Rani, S., and Chen, K. (2016). "Heavy metal accumulation during the last 30 years in the Karnaphuli River estuary, Chittagong, Bangladesh.", *SpringerPlus*, 5, 2079-2092.
- Ward, W.T., Tainsh, G., Garry, D., and Smith, K. J. (1999). *The soils of the agricultural research station at 'Myall Vale', near Narrabri, NSW, with data analysis by fuzzy k-means*, CSIRO Technical Report.
- Yanwei, G. and Shouye, Y. (2016). "Heavy metal enrichments in the Changjiang (Yangtze River) catchment and on the inner shelf of the East China Sea over the last 150 years.", *Science of the Total Environment*, 543, 105-115.

Zaaboub, N., Virginia, M., Martins, A., Dhib, A., Béjaoui, B., Galgani, F., Bour, M., and Aleya, L. (2015). "Accumulation of trace metals in sediment in a Mediterranean Lagoon: Usefulness of metal sediment fractionation and elutriate toxicity assessment.", *Environment Pollution*, 207, 226-237.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในสารอ้างอิงมาตรฐาน MESS-4 ที่วิเคราะห์จากเครื่อง
ICP-OES

Code	weight	Volume (ml)	Zn		Pb		Al	
			ICP (mg/l)	Calculate (mg/kg)	ICP (mg/l)	Calculate (mg/kg)	ICP (mg/l)	Calculate (mg/kg)
MESS1	0.5168	25	1.01	48.86	0.38	18.38	261.11	12631.10
MESS2	0.5172	25	1.39	67.19	0.21	10.15	251.32	12148.11
MESS3	0.5004	25	1.03	51.46	0.36	17.99	277.64	13870.90
Average				55.84		15.51		12883.37

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักตะกอนดินเปียก-แห้ง ของแท่งตะกอนดินจุด A

ความลึก	น้ำหนักตะกอนดินเปียก	น้ำหนักตะกอนดินแห้ง
	(g/g)	(g/g)
2.5	176.14	128.85
7.5	218.45	175.12
12.5	230.77	171.36
17.5	279.9	210.5
22.5	301.68	226.81
27.5	309.69	218.8
32.5	318.45	219.59
37.5	309.99	213.67
42.5	324.96	226.35
47.5	315.72	196.4
52.5	255.85	180.78
57.5	330.61	206.16
62.5	257.98	159.77
67.5	268	168.65
72.5	257.81	179.09
77.5	366.7	233.8
82.5	217.2	110.56
87.5	174.76	135.52
92.5	216.98	134.37
97.5	184.35	106.2

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักตะกอนดินเปียก-แห้ง ของแท่งตะกอนดินจุด B

ความลึก	น้ำหนักตะกอนดินเปียก	น้ำหนักตะกอนดินแห้ง
	(g/g)	(g/g)
2.5	252	199.61
7.5	298.81	238.65
12.5	285.04	228.74
17.5	339.32	278.03
22.5	331.46	274.18
27.5	256.08	205.34
32.5	295.68	236.62
37.5	367.72	306.79
42.5	359.51	301.5
47.5	371.9	225.58
52.5	300.73	230.79
57.5	299.39	245.67
62.5	304.69	229.69
67.5	296.61	209.35
72.5	341.32	246.47
77.5	312.05	252.87
82.5	289.83	247.76
87.5	346.2	291.07
92.5	324.9	279.64
97.5	310.66	277

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวไข่มุก ใจเหล็ก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6030221001

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2559

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Jaileak, K. and Akkajit, P. (2018). "A Study of Heavy Metal Accumulation in Sediments at Phuket bay, Saphan Hin, Phuket Province." *Proceeding of The 4th International Conference on Advances in Environment Research (ICAER 2018)*, Regal Oriental Hotel, Hong Kong: 28-30 May, 2018.