



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การติดตามการสะสมของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล

ภาคตะวันออกของไทย

Monitoring the Heavy Metals Accumulation in Marine Sponges in
the Eastern Coast of the Gulf of Thailand

ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง

ฟองน้ำทะเล: ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่เป็นทางเลือกใหม่ในการใช้ตรวจติดตาม
มลพิษจากโลหะหนักบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย

Marine Sponges: the New Alternative Bioindicators to Monitor
Heavy Metal Pollution in the Eastern Coast of the Gulf of Thailand

ฉลวย มุสิกะ

วันชัย วงสุดาวรรณ

อาวุธ หมั่นหาผล

แหวตา ทองระอา

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล
(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 - 2558

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10803037

สัญญาเลขที่ 153/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การติดตามการสะสมของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเล
ภาคตะวันออกของไทย

Monitoring the Heavy Metals Accumulation in Marine Sponges in
the Eastern Coast of the Gulf of Thailand

ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง

ฟองน้ำทะเล: ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่เป็นทางเลือกใหม่ในการใช้ตรวจติดตาม
มลพิษจากโลหะหนักบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย

Marine Sponges: the New Alternative Bioindicators to Monitor
Heavy Metal Pollution in the Eastern Coast of the Gulf of Thailand

ฉลวย มุสิกะ

วันชัย วงสุดาวรรณ

อาวุธ หมั่นหาผล

แหวตา ทองระอา

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557- 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 153/2558 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรของ มหาวิทยาลัยบูรพาที่มีส่วนช่วยเหลือ แนะนำ อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่ง ตะวันออก ในการอนุเคราะห์เรือยนต์และบุคลากรร่วมสำรวจและเก็บตัวอย่างฟองน้ำ และการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยที่อนุญาตให้เข้าพื้นที่บริเวณเกาะสะเก็ดเพื่อเก็บตัวอย่าง มา ณ โอกาสนี้

การติดตามการสะสมของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย

ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ อาวุธ หมั่นหาผล และแววตา ทองระอา
สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

บทคัดย่อ

การศึกษาการสะสมโลหะหนักของฟองน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก โดยเก็บตัวอย่างฟองน้ำจากหมู่เกาะมัน เกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง และหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี จำนวน 7 สถานี เก็บตัวอย่างรวม 6 ครั้ง ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ได้ตัวอย่างฟองน้ำทะเล 20 ชนิด รวมทั้งสิ้น 184 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์โลหะหนัก 7 ชนิด ได้แก่ Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb และ Zn ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrophotometry ผลการศึกษาพบว่า ฟองน้ำทะเลมีการสะสม Cd, Cu, Hg, Ni และ Zn ไว้มากกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าวที่มีอยู่ในน้ำทะเลและในดินตะกอน ยกเว้น Fe และ Pb ซึ่งพบในดินตะกอนมากกว่าในฟองน้ำทะเล และยังพบว่าในบริเวณเดียวกัน ฟองน้ำทะเลต่างชนิดกันมีการสะสมโลหะหนักได้ต่างกันด้วย โดยฟองน้ำที่อาจจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ดีในบริเวณหมู่เกาะมัน และเกาะสีชัง คือ *Petrosia (Petrosia) sp. "vase"* และ *Clathria (Thalysias) reinwardti* และบริเวณเกาะสะเก็ด คือ *Paratetilla bacca* และ *Oceanapia sagittaria* เพราะเป็นฟองน้ำชนิดเด่นในพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามควรจะได้มีการศึกษาในลักษณะนี้ซ้ำอย่างต่อเนื่องทั้งในบริเวณนี้และบริเวณอื่นๆ ด้วย เพื่อเป็นการยืนยันผลและให้ได้ข้อมูลมากขึ้น เนื่องจากเป็นองค์ความรู้ที่ไม่พบว่ามีกรรายงานมาก่อนในประเทศไทย

คำสำคัญ: โลหะหนัก / ฟองน้ำทะเล / น้ำทะเล / ดินตะกอน

Monitoring the Heavy Metals Accumulation in Marine Sponges in the Eastern Coast of the Gulf of Thailand

Chaluay Musika, Wanchai Wongsudawan, Arvut Munhapon and Waewtaa Thongra-ar
Institute of Marine Science, Burapha University, Chon Buri 20131

Abstract

Accumulation of heavy metals in marine sponges was studied in the eastern coast of the Gulf of Thailand. The samples were collected six times during January 2014 to November 2015 from 7 stations at Ko Mun and Ko Saket in Rayong province and Ko Si Chang in Chonburi province. Seven heavy metals (Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb and Zn) in 20 species of marine sponges (a total of 184 samples) were analyzed by using atomic absorption spectrophotometry technique. The results showed that marine sponges accumulated Cd, Cu, Hg, Ni and Zn more than accumulation in seawater and sediments, except Fe and Pb were accumulated in the sediments higher than accumulation in the marine sponges. In the same area, different species of marine sponges can accumulate heavy metals at different concentrations. The sponges that could be used as a bioindicator to monitor heavy metal pollution at Ko Mun and Ko Si Chang were *Petrosia (Petrosia) sp. "vase"* and *Clathria (Thalysias) reinwardti*. In addition, at Koh Saket, *Paratetilla bacca* and *Oceanapia sagittari* could be used as a bioindicator because they were dominant species in the area. However, a continuous monitoring of heavy metals accumulation in marine sponges should be conducted within the study areas as well as other region. This is to confirm the results and get more valuable data as no available information of heavy metals accumulated in marine sponges has been reported in Thailand.

Key words: heavy metal, marine sponge, seawater, sediment

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| สารบัญ | i |
| สารบัญตาราง | ii |
| สารบัญภาพ | iv |
| บทนำ | 1 |
| การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| วิธีดำเนินการวิจัย | 6 |
| พื้นที่สถานศึกษา | 6 |
| การเก็บและรักษาตัวอย่าง | 7 |
| การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่าง | 9 |
| การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โลหะหนัก | 10 |
| การวิเคราะห์ข้อมูล | 13 |
| ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย | 14 |
| การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเล | 17 |
| การปนเปื้อนโลหะหนักในดินตะกอน | 21 |
| การสะสมโลหะหนักในฟองน้ำทะเล | 25 |
| การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล | 54 |
| สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 57 |
| บรรณานุกรม | 59 |
| ภาคผนวก ก | 63 |
| ภาคผนวก ข | 86 |
| ประวัตินักวิจัย | 92 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ศึกษา | 6 |
| 2 | พารามิเตอร์และวิธีตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล | 8 |
| 3 | ค่า method detection limit ของโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล | 10 |
| 4 | ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลมาตรฐาน (seawater reference material for trace metals; NASS-6) | 11 |
| 5 | ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนทะเลมาตรฐาน (PACS-3) | 11 |
| 6 | ผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่อหอยนางรมมาตรฐาน (SRM 2976) | 11 |
| 7 | ผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่อปลาทะเลมาตรฐาน (DORM-2) | 12 |
| 8 | ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนมาตรฐาน (PACS-3) | 12 |
| 9 | ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างฟองน้ำทะเลซึ่งเติมสารละลายโลหะหนักมาตรฐานลงไปในช่วงขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่าง | 12 |
| 10 | ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำบางประการในพื้นที่ศึกษา | 14 |
| 11 | ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพดินตะกอนบางประการในพื้นที่ศึกษา | 16 |
| 12 | ค่ามาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในน้ำทะเล (หน่วย $\mu\text{g/L}$) | 18 |
| 13 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการ | 20 |
| 14 | ค่ามาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในดินตะกอน | 21 |
| 15 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการ | 24 |
| 16 | รายชื่อชนิดของฟองน้ำ และรหัส (Sponge code) ที่ใช้ในการศึกษา | 26 |
| 17 | ชนิดของฟองน้ำ (Sponge code) ที่เก็บได้และนำมาวิเคราะห์โลหะหนักในแต่ละสถานี ✓ ในปี พ.ศ. 2557 และ × ในปี พ.ศ. 2558 | 28 |
| 18 | ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในฟองน้ำทะเล | 30 |
| 19 | ความเข้มข้นโลหะหนัก 3 อันดับต่ำสุด และสูงสุด ที่พบในฟองน้ำทะเล | 35 |
| 20 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักระหว่างในน้ำทะเล ในดินตะกอน และในฟองน้ำทะเล | 55 |
| ก1 | คุณภาพน้ำทะเลบางประการ ในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557 | 64 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| ก2 | คุณภาพน้ำทะเลบางประการ ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 | 65 |
| ก3 | คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557 | 66 |
| ก4 | คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 | 67 |
| ก5 | ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ของเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557 | 68 |
| ก6 | ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ของเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 | 69 |
| ก7 | ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินในแต่ละสถานี ของเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557 | 70 |
| ก8 | ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอน ในแต่ละสถานี ของเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน 2558 | 71 |
| ก9 | ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฟองน้ำทะเลในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557 | 72 |
| ก10 | ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฟองน้ำทะเลในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 | 79 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 1 | สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณหมู่เกาะสีซัง จ.ชลบุรี หมู่เกาะมันและเกาะสะเก็ด จ.ระยอง | 7 |
| 2 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความลึก อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน ละลาย และตะกอนแขวนลอย ของน้ำทะเลระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา | 15 |
| 3 | เปรียบเทียบการแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอน ระหว่างสถานี ในปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 | 16 |
| 4 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง และสารอินทรีย์ในดินตะกอน ระหว่าง สถานีและปีที่ศึกษา | 17 |
| 5 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก โปรท นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในน้ำทะเล ระหว่างสถานีและปีที่ทำการศึกษา | 19 |
| 6 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำทะเล ตลอด ระยะเวลาที่ศึกษา | 20 |
| 7 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก โปรท นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในดินตะกอน ระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา | 23 |
| 8 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในดินตะกอน ตลอด ระยะเวลาที่ศึกษา | 24 |
| 9 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง และเหล็กที่พบในฟองน้ำ ทะเล ระหว่างสถานีและปีที่ศึกษา | 32 |
| 10 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโปรท นิเกิล และตะกั่วที่พบในฟองน้ำทะเล ระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา | 33 |
| 11 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีที่พบในฟองน้ำทะเล ระหว่างสถานีและ ปีที่ศึกษา | 34 |
| 12 | อธิบายความหมายแผนภูมิ Boxplot | 34 |
| 13 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและ ท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีซัง | 38 |
| 14 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณ เขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือ เกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีซัง | 39 |
| 15 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขต อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะ สะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีซัง | 40 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 16 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษัทรักษาธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง | 41 |
| 17 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของนิเกิลในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษัทรักษาธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง | 42 |
| 18 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษัทรักษาธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง | 43 |
| 19 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษัทรักษาธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง | 44 |
| 20 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 47 |
| 21 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 48 |
| 22 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 49 |
| 23 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 50 |
| 24 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของนิเกิลในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 51 |
| 25 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 52 |
| 26 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน | 53 |
| 27 | เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในฟองน้ำทะเล ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา | 54 |
| 28 | ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล (a) เหล็กในน้ำทะเลและฟองน้ำทะเล (b) ตะกั่วในน้ำทะเลและฟองน้ำทะเล (b) ตะกั่วในดินตะกอนและฟองน้ำทะเล | 56 |
| ข1 | ภาพถ่ายใต้น้ำของฟองน้ำทะเลที่นำมาวิเคราะห์โลหะหนัก | 86 |

บทนำ

ตลอดแนวชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทยความยาวประมาณ 500 กิโลเมตร มีการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย การเกษตรกรรม การประมง การเพาะเลี้ยง การท่องเที่ยว และการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการทำอุตสาหกรรม จังหวัดชลบุรีและจังหวัดระยองได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่การผลิตภาคอุตสาหกรรมขนาดกลาง ขนาดย่อม และท่าเรือน้ำลึก (นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง) จนถึงอุตสาหกรรมหนักของประเทศ (นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 หลังจากนั้นเป็นต้นมาการทำอุตสาหกรรมและการขนส่งในพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกก็ได้รับการพัฒนาจนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง กระทั่งปัจจุบันเกิดนิคมอุตสาหกรรม ศูนย์อุตสาหกรรมอื่นๆ ตามมาอีกมากมาย เช่น นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร นิคมอุตสาหกรรมชลบุรี นิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง นิคมอุตสาหกรรมพานทองเกษม นิคมอุตสาหกรรมเหมราชตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมผาแดง นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด นิคมอุตสาหกรรมท่าเรือ เอเชีย เทอร์มินัส เป็นต้น ทำให้เมืองมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลายลง เกิดผลพลอยได้ที่ไม่ดีทางหลักเลียงตามมา คือ ของเสียหรือสารมลพิษจำนวนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมรวมทั้งในทะเล จนบางครั้งทำให้น้ำทะเลเสื่อมโทรม เช่น ในปี พ.ศ. 2547-2551 จากการศึกษาของฉวย มุสิกะ และคณะ (2548) ฉวย มุสิกะ และคณะ (2552) แวตา ทองระอา และคณะ (2549) พบว่าสารฟอสเฟต ไนเตรท โปรท เหล็ก สังกะสี และทองแดงในน้ำทะเลมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ในบรรดาสารมลพิษทั้งหลายที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเล โลหะหนักเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่นักวิจัยให้ความสนใจศึกษากัน เพราะโลหะหนักเป็นวัตถุอันตรายหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตภาคเกษตรและอุตสาหกรรม เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง มีความคงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ จึงถูกสะสมอยู่ในน้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิต โลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง และสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต (essential element) แต่ก็เป็นพิษได้เช่นกัน ถ้ามีมากเกินไปจนความจำเป็น และโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ โปรท แคดเมียม และตะกั่ว นอกจากไม่พบว่ามีประโยชน์ใดๆต่อสิ่งมีชีวิตแล้วยังมีความเป็นพิษสูงอีกด้วย โลหะหนักในสิ่งแวดล้อมสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมเป็นตัวกำหนด และสามารถถ่ายทอดสู่ผู้บริโภคได้ตามห่วงโซ่อาหาร ซึ่งอาจจะทำให้ผู้บริโภคลำดับสุดท้ายอย่างมนุษย์เราได้รับอันตรายจากพิษของมันได้ ดังเช่นที่เคยเกิดขึ้นแล้วในประเทศญี่ปุ่น คือ โรคริไต-อิต จากพิษของแคดเมียม และโรคมินามาตะ จากพิษของปรอท เนื่องจากการบริโภคสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักดังกล่าวสะสมอยู่ การปนเปื้อนโลหะหนักในทะเล ส่วนใหญ่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่ทะเล เนื่องจากโลหะหนักหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม และการเกษตร เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พลาสติก พีวีซี ถ่านไฟฉาย สี ยาฆ่าแมลง และปุ๋ย เป็นต้น จนบางครั้งพบโลหะหนัก เช่น โปรท เหล็ก สังกะสี และทองแดง ในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน (ฉวย มุสิกะ และคณะ, 2552; แวตา ทองระอา และคณะ, 2549) นอกจากนี้ แวตา ทองระอา และคณะ (2552) ยังพบว่าสัตว์น้ำจำพวกกุ้ง กุ้ง ปู หอย และหมีกบางตัวมีการสะสมทองแดง แคดเมียม และสังกะสีไว้ในตัวสูงเกินค่ามาตรฐานด้วย แต่อย่างไรก็ตามการใช้โลหะหนักในน้ำทะเลหรือในดินตะกอนเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ทำอยู่ปัจจุบันอาจจะยังไม่เหมาะสมนัก เพราะปริมาณโลหะที่ได้

มักอยู่ในรูปรวมทั้งหมด (total form) ซึ่งบางรูปไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ มีเพียงในรูปของ “bioavailable form” เท่านั้น ที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับเข้าสู่ร่างกาย และทำให้เกิดพิษ หรือสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ได้ (Waldichuk, 1985) นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทำได้ยาก (ความเข้มข้นต่ำโอกาสปนเปื้อนหรือสูญหายจึงสูง) อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง การไหลบ่าของน้ำจืด ฤดูกาล และคุณสมบัติของดินตะกอน (Pujol, 2007) ดังนั้นสิ่งมีชีวิตจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนโลหะหนักในทะเลได้ ซึ่งสัตว์ที่เหมาะสมควรจะเป็นพวก ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้สูง อายุยืน และไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อย เช่น หอย เพรียง ฟองน้ำทะเล เป็นต้น ซึ่งจากการค้นคว้า พบว่าในต่างประเทศ นิยมใช้ฟองน้ำทะเล (Carballo, et. al, 1996; Pan, et. al, 2011; Venkateswara Rao, et. al, 2006; Venkateswara Rao, et. al, 2009) เพราะฟองน้ำทะเลเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกาะติดอยู่กับที่ กินอาหารโดยการกรองผ่านลำตัว ทำให้ฟองน้ำทะเลสามารถรับสารมลพิษต่างๆ รวมถึงโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลไว้ในร่างกายได้ (Verdenal, et al., 1990) อีกทั้งฟองน้ำทะเลเป็นสัตว์ที่พบได้ทั่วไปบริเวณชายฝั่งทะเล มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม มีอายุยืนยาว ไม่ค่อยมีศัตรู ในขณะที่หอยสองฝา ถึงแม้จะอยู่กับที่ แต่ก็มักจะมีศัตรูรบกวนเนื่องจากมันเป็นอาหารของมนุษย์ และมีช่วงชีวิตที่สั้นกว่า ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสะสมของโลหะหนักบางชนิดในฟองน้ำทะเล ซึ่งจะเป็นอย่างองค์ความรู้ใหม่ของประเทศไทยเพราะปัจจุบันยังไม่พบรายงานการศึกษาเรื่องนี้ในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบติดตามปริมาณการสะสมโลหะหนักบางชนิดในฟองน้ำทะเลตามธรรมชาติ บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
2. ตรวจสอบติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ โลหะหนักในน้ำทะเล โลหะหนักในดิน ตะกอน คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนและน้ำทะเล ในบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยของฟองน้ำทะเล
3. ประเมินผลประสิทธิภาพการสะสมโลหะหนักของฟองน้ำทะเล

ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา เขตอู่เรือท่าเรือพาณิชย์ท่าเรือแหลมฉบัง เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือ เกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือ หมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี
2. ชนิดของโลหะหนักที่ศึกษา ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe)ปรอท (Hg) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn)
3. ระยะเวลาที่ศึกษา 2 ปี คือ ตุลาคม พ.ศ. 2557 – กันยายน พ.ศ. 2559 โดยเก็บตัวอย่าง ปีละ 3 ครั้ง

กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

กรอบแนวความคิดของการวิจัยครั้งนี้ คือ จะใช้ฟองน้ำทะเล ซึ่งมีความหลากหลายของชนิด มาใช้ในการตรวจสอบติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเลภาคตะวันออก เพื่อจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงผลกระทบจากการพัฒนาเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมในพื้นที่ดังกล่าวตามทฤษฎีหรือองค์ความรู้ที่มี

การศึกษากันในต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยยังขาดข้อมูลและองค์ความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้อยู่มากทั้งที่ ฟองน้ำทะเลสามารถพบได้ทั่วไปในทะเลไทยและมีความหลากหลายของชนิดค่อนข้างมาก ขณะเดียวกัน สถานการณ์ทางสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ตลอดเวลาอันเป็นผลมาจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลอย่างต่อเนื่องจึงมีความจำเป็นต้องมีการ ศึกษาวิจัยเพื่อหาสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นดัชนีทางชีวภาพในการติดตามตรวจสอบสาร มลพิษต่างๆ โดยสามารถสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาที่แท้จริงของ มลพิษทางทะเลในพื้นที่นั้น

ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ คือ องค์ความรู้ใหม่ของไทยเกี่ยวกับเรื่องของฟองน้ำทะเลกับ ความสามารถในการสะสมโลหะหนัก โดยการคาดหวังจะใช้ฟองน้ำทะเลเป็นทางเลือกที่เหมาะสมใน การใช้ติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักหรือสารมลพิษอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลแทนที่จะ ตรวจสอบในน้ำทะเล ดินตะกอน ซึ่งมักอยู่ในรูปรวมทั้งหมด (total form) หรือในสัตว์น้ำ (หอย ปู ปลา กุ้ง) ซึ่งก็มีอายุในสิ่งแวดล้อมสั้น เพราะจะถูกจับไปเป็นอาหาร ในขณะที่ฟองน้ำทะเลเป็นสัตว์ที่ เกาะติด มีการกรองน้ำผ่านตัวตลอดเวลา ศัตรูมีน้อย โอกาสที่โลหะหนักหรือสารมลพิษอื่นถูกสะสมใน เนื้อเยื่อจึงมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง โดยคาดว่าจะมีหน่วยงานที่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อเป็นฐานข้อมูลและองค์ความรู้ใหม่ ในการพัฒนางานวิจัยในระดับที่สูงขึ้น และการให้บริการข้อมูลกับหน่วยงานอื่นๆ
2. หน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีหน้าที่ในการกำหนดนโยบาย และการจัดการด้าน สิ่งแวดล้อม เช่น สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุม มลพิษ กรมเจ้าท่า การนิคมอุตสาหกรรม และหน่วยงานท้องถิ่น เป็นต้น สามารถใช้อ้างอิงหรือ สนับสนุนการดำเนินงานทางด้านสิ่งแวดล้อม
3. สถาบันการศึกษาต่างๆ ใช้ประกอบการเรียนการสอน และต่อยอดการทำวิจัยทางด้าน สิ่งแวดล้อม
4. หน่วยงานระดับท้องถิ่น เช่น องค์การบริหารส่วนตำบลและชุมชนสามารถนำข้อมูลไปใช้ ในการอ้างอิงเพื่อสร้างจิตสำนึกและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้กับประชาชน

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ฟองน้ำทะเล นักชีววิทยาทางทะเลจัดฟองน้ำเป็นสัตว์ทะเลชั้นต่ำ เพราะโครงสร้างของร่างกายมีการเรียงตัวกันของเซลล์แบบง่าย ๆ ไม่สลับซับซ้อน ไม่มีกระดูกสันหลัง ไม่มีสมอง ไม่มีกล้ามเนื้อที่แท้จริง ไม่มีอวัยวะอย่างสัตว์ทั่วไปส่วนใหญ่ที่พัฒนาแล้วควรมี ลำตัวอ่อนนุ่มเป็นรูปพรุน แต่ฟองน้ำก็สามารถอยู่คู่ท้องทะเลมาอย่างยาวนานจนสัตว์ที่มีพัฒนาการกว่ามันหลายชนิดสูญพันธุ์ไปแล้วแต่ฟองน้ำก็ยังอยู่มาได้จนถึงวันนี้และไม่มีท่าทีจะสูญพันธุ์ไปจากท้องทะเลและจากโลก ฟองน้ำทะเลสามารถสร้างสารชีวเคมีที่ใช้ป้องกันไม่ให้สัตว์อื่นกินมันเป็นอาหารหรือแทรกเข้ามาเติบโตในเนื้อเยื่อได้ แต่ก็ไม่สามารถป้องกันหากทะเลซึ่งกินฟองน้ำทะเลเป็นอาหารแล้วยังสามารถจะสกัดเอาสารพิษจากฟองน้ำทะเลไปป้องกันตัวเองไม่ให้ตกเป็นเหยื่อของสัตว์อื่นได้อีกด้วย (ผู้จัดการออนไลน์, 2547) แหล่งที่อยู่อาศัยของฟองน้ำทะเล พบได้ทั่วไปตามชายฝั่งทะเล ทั้งหาดหิน หาดทราย แหล่งหญ้าทะเล และแนวปะการัง โดยอยู่รวมกันเป็นโคโลนีเกาะติดอยู่กับที่ตามพื้นท้องทะเล สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ กินอาหารด้วยการกรองน้ำทะเลผ่านทางท่อเข้าขนาดเล็ก (ostium) ที่มีกระจายอยู่ทั่วลำตัว โดยอาศัยการพัดโบกของเซลล์พิเศษ (choanocytes) ที่ทำหน้าที่จับอาหารและออกซิเจน น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลออกทางท่อออก (osculum) ซึ่งมักมีท่อเดี่ยวขนาดใหญ่ และสามารถกรองน้ำทะเลได้มากกว่าปริมาตรตัวเองถึงสิบเท่าในหนึ่งชั่วโมง และยังทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา ฟองน้ำทะเลจึงมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทางทะเลในแง่การปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ใสสะอาด (สุเมตต์ ปุจฉาการ และสุชา มั่นคงสมบูรณ์, 2550.) ทำให้ฟองน้ำทะเลมีโอกาสสัมผัสกับน้ำทะเลในธรรมชาติได้มากกว่าสัตว์หลายเซลล์ในโพลัมอื่นๆ (Vogel, 1977) ดังนั้นถ้าฟองน้ำทะเลมีการปนเปื้อนสารโลหะหนักหรือสารมลพิษอื่น ฟองน้ำทะเลก็น่าจะสามารถสะสมสารเหล่านั้นที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำทะเลโดยการกรองผ่านลำตัวได้ (Verdenal, et al., 1990) คุณสมบัติที่สำคัญของฟองน้ำทะเลในข้อนี้ และคุณสมบัติอื่นๆ เช่น การเป็นสัตว์หลายเซลล์ที่มีวิวัฒนาการต่ำสุด มีโครงสร้างของร่างกายและกระบวนการต่าง ๆ โดยเฉพาะการป้องกันตัวจากมลพิษสิ่งแวดล้อมที่ไม่ซับซ้อน (Müller and Müller, 1998) เป็นสัตว์หลายเซลล์ที่พบมากที่สุดบนพื้นท้องทะเลทั้งในแง่ของชนิดและปริมาณ (Sarà and Vacelet, 1973) จากการทดลองของ Hansen, et al. (1995) ในห้องปฏิบัติการ พบว่าฟองน้ำทะเล *Halichondria panacea* Pallas มีประสิทธิภาพในการสะสมทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และโครเมียม และสามารถใช้เป็นดัชนีทางชีวภาพ (biomonitoring organism) ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเลได้

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป จัดเป็นสารมลพิษกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญมาก มีแหล่งที่มาจากธรรมชาติ และการสังเคราะห์ขึ้นมาของมนุษย์ เป็นสารที่มีความคงตัวสูง ไม่สลายตัวโดยกระบวนการทางธรรมชาติ สามารถสะสมตัวในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร จนถึงมนุษย์ ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นที่ได้รับ เช่น อาจทำให้เซลล์ตาย หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ เป็นตัวการทำให้เกิดมะเร็ง เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม โดยทำความเสียหายต่อโครโมโซมซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม (ชนิษฐ พานชูวงศ์, 2550) มนุษย์สังเคราะห์โลหะหนักบางชนิดขึ้นมาเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน เพราะโลหะหนักหลายชนิดถูกใช้เป็นตัวเติมในการผลิตหลายภาคส่วน เช่น ภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย ภาคเกษตรใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง และปุ๋ย ทางเภสัชใช้เป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และ

เครื่องสำอาง เป็นต้น ในกระบวนการผลิตแต่ละภาคส่วนย่อมเกิดกากของเสีย โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ (พรพรรณ พนาปจฺติกุล, 2549) โลหะหนักมีทั้งคุณและโทษ เช่น ทองแดง เหล็ก นิเกิล และสังกะสี จัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต (essential element) แต่ถ้ามีมากเกินไปเกินความต้องการก็จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่โลหะหนักบางชนิด ได้แก่ปรอท แคดเมียม และตะกั่ว นอกจากไม่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังมีความเป็นพิษสูง แต่อย่างไรก็ตามมีเพียงโลหะหนักในรูปของ “bioavailable form” เท่านั้น ที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับเข้าสู่ร่างกาย และทำให้เกิดพิษหรือสะสมในร่างกายได้ (Waldichuk, 1985) โดย “bioavailable form” จะหมายถึงรูปแบบที่ละลาย (dissolved) หรือเป็นไอออน (ionic species) อยู่ในน้ำทะเล หรือละลายอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) หรือละลายในน้ำระหว่างเม็ดดิน (pore water) หรือโลหะที่จับรวมอยู่กับดินตะกอนแบบแลกเปลี่ยนประจุ (cation exchange) (แหวตา ทองระอา และคณะ, 2548) ประเทศไทยเคยเจอปัญหาปลาหมึกมีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน (1 mg/L) ไม่สามารถส่งออกได้โดยมีความถี่ ในหมึกสาย > หมึกกระดอง > หมึกกล้วย เนื่องจากหมึกสายหากินตามผิวดินในเขตน้ำตื้น หมึกกระดองหากินตามผิวดินในทะเล ส่วนหมึกกล้วยจะหากินกลางทะเล (พูลทรัพย์ วิรุฬกุล, ม.ป.ป) ซึ่งโดยปกติโลหะหนักมักสะสมอยู่ในชั้นของดินตะกอนสูงกว่าในชั้นน้ำ ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเลภาคตะวันออก ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำไม่สามารถส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ คือ ไม่ทำให้สิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะที่เกาะติดอยู่กับที่ (sessile species) ตายทันที แต่จะส่งผลกระทบในระยะยาว (sublethal effects) การตรวจวัดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเลปัจจุบันนิยมตรวจวัดจากในน้ำ และดินตะกอน ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของโลหะหนักทั้งหมด (total form) ไม่ใช่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตจะรับเข้าสู่ร่างกายได้ (bioavailable form) จึงไม่ถูกต้องนักที่จะนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบของโลหะหนักต่อระบบนิเวศทางทะเล แต่มีทางเลือกหนึ่งที่นักวิจัยหลายท่านนำมาใช้ คือ การตรวจวัดโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต (biomonitoring) ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมและถูกเลือกมาใช้ คือ ฟองน้ำทะเล (Hansen, et. al, 1995; Berthet, et. al, 2005; Cebrian, et. al, 2006; Venkateswara Rao, et. al, 2006; Venkateswara Rao, et. al, 2009; Pan, et. al, 2011) เนื่องจากฟองน้ำทะเลเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในทุกพื้นที่ของโลก มีอายุยืนยาว ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม สามารถเก็บตัวอย่างได้ตลอดทั้งปี ในปริมาณที่มากพอ (Pujol, 2007) ในขณะที่การตรวจวัดโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (migrating organisms) ไม่มีความเหมาะสมกับการนำมาประเมินผลเฉพาะพื้นที่ แต่เหมาะกับพื้นที่กว้างๆ ไม่มีขอบเขตแน่นอน (Venkateswara Rao et. al, 2006) สำหรับประเทศไทยยังไม่พบรายงานการศึกษาโลหะหนักในฟองน้ำทะเล แต่พบรายงานการศึกษาเกี่ยวกับฟองน้ำทะเลด้านอื่นๆ เช่น การศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลาย (สหรัฐ ธีระคัมพร, 2548; สุเมตต์ ปุจฉาการ และคณะ, 2551) สารเคมีจากฟองน้ำทะเล (ชินิษฐา ดีประหลาด, 2540) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (พชร เพ็ชรประดับ, ม.ป.ป; ฤทธิรงค์ พรหมมาศ, 2550; รวิวรรณ วัฒนติลก และคณะ, 2552) การศึกษาเกี่ยวกับกรดไขมัน (ปิยะวรรณ ศรีวิลาส และคณะ, 2550) เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่สถานศึกษา

กำหนดสถานศึกษาเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล ในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกซึ่งมีรายงานการพบฟองน้ำทะเล โดยยึดหลักเกณฑ์ คือ มีตัวอย่างฟองน้ำทะเลให้ศึกษาได้ตลอดโครงการ และคลื่น ลม โดยเฉพาะในช่วงมรสุมไม่เป็นอุปสรรคในการออกเรือมากนัก เป็นพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก และพื้นที่ที่สะอาด ดังนั้นจึงได้กำหนดพื้นที่ศึกษา บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน จังหวัดระยอง 3 สถานี เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง 2 สถานี และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี 2 สถานี รวมทั้งสิ้น 7 สถานี (ภาพที่ 1) รายละเอียดสถานียังแสดงในตารางที่ 1

พารามิเตอร์ที่ศึกษา

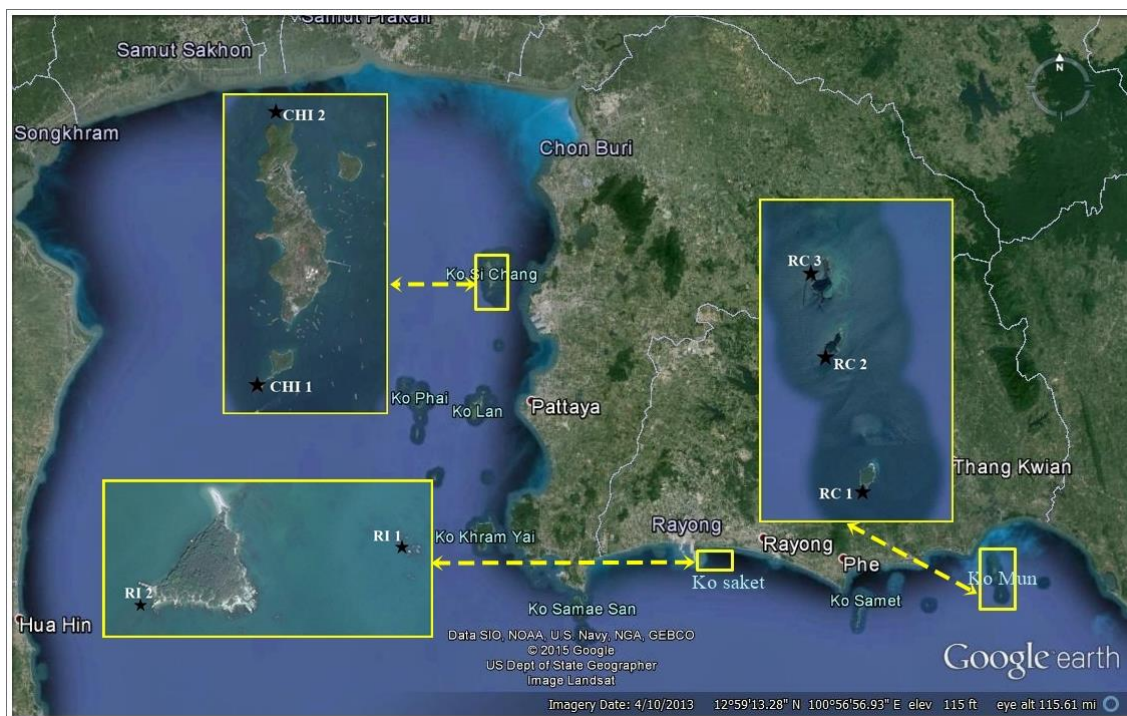
พารามิเตอร์ที่ศึกษาทั้งในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล ดังแสดงในตารางที่ 2

การปฏิบัติงานในภาคสนาม

ในการออกเรือเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ได้ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทะเล ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลาย ณ สถานศึกษาด้วยทุกครั้ง

ตารางที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ศึกษา

| พื้นที่ | สถานี | รหัสสถานี | รูปแบบการใช้ประโยชน์ |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| หมู่เกาะมัน จังหวัดระยอง | - เกาะมันนอก; ทิศใต้ | RC 1 | เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ |
| | - เกาะมันกลาง; ทิศใต้ | RC 2 | |
| | - เกาะมันใน; ทิศเหนือ | RC 3 | |
| เกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง | - หินใหญ่ เกาะสะเก็ด; ทิศเหนือ | RI 1 | เพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ |
| | - กองหินไต้ น้ำ เกาะสะเก็ด; ทิศใต้ | RI 2 | |
| หมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี | - เกาะท้ายตาหมื่น; ทิศตะวันออก | CHI 1 | เพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ |
| | - หินสัมปณีย้อ; เกาะสีชัง ทิศเหนือ | CHI 2 | |



ภาพที่ 1 ★ สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณหมู่เกาะสีชัง จ.ชลบุรี หมู่เกาะมันและเกาะสะเก็ด จ.ระยอง

การเก็บและรักษาตัวอย่าง

1. น้ำทะเล (sea water) เก็บตัวอย่างน้ำทะเลด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ (non-metallic water sample mod. 1080 series GO-FLO) ที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำในสถานีศึกษา สถานีละ 3 ซ้ำ แยกอิสระต่อกัน ถายน้ำใส่ขวดพลาสติก (PP; Nalgene) ขนาด 1 ลิตร ปิดฝาให้แน่นก่อนบรรจุลงถุงพลาสติก รัดปากถุงให้แน่น (2 ชั้น) แล้วนำไปแช่ไว้ในถังน้ำแข็ง เมื่อนำส่งถึงห้องปฏิบัติการ (ภายใน 12 ชั่วโมง) ตัวอย่างจะถูกปรับสภาพให้เป็นกรด ($\text{pH} < 3$) โดยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น (Merck supra. HNO_3) ก่อนเก็บไว้ในตู้เย็นจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์โลหะหนัก (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) การวิเคราะห์ปรอท ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้จะแยกเก็บไว้ในขวดแก้วไฟร็อกซ์ขนาดความจุ 0.5 ลิตร ใส่ลงถุงพลาสติก รัดปากถุงให้แน่นก่อนแช่เย็นในถังน้ำแข็ง และปรับสภาพให้เป็นกรด ($\text{pH} \leq 2$) โดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Merck supra. HCl) ทันที เมื่อนำส่งถึงห้องปฏิบัติการ และเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ปรอทต่อไป

2. ดินตะกอน (sediment) การเก็บตัวอย่างดินตะกอน กระทำพร้อมกับการเก็บตัวอย่างฟองน้ำทะเล โดยขณะดำน้ำ (SCUBA diving) นักประดาน้ำ (นักวิจัย) จะใช้ช้อนพลาสติก ตักตัวอย่างดินตะกอนบริเวณผิวหน้า (ความลึกไม่เกิน 5 เซนติเมตร) ในบริเวณเดียวกับที่เก็บตัวอย่างฟองน้ำทะเลใส่ถุงซิปลาสติก สถานีละ 3 ซ้ำ แยกอิสระต่อกัน เหนือออกรีดปิดปากถุงให้สนิท เก็บแช่ไว้ในถังน้ำแข็ง เมื่อนำส่งถึงไปยังห้องปฏิบัติการสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล ตัวอย่างจะถูกแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -40°C ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยความเย็น (freeze dryer) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 1 มิลลิเมตร เพื่อคัดเศษหินและเปลือกหอยออก ก่อนนำไปบดให้ละเอียด

เป็นเนื้อเดียวกันด้วยครก (agate mortar) บรรจุไว้ในถุงซิปลาสติกเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น รอการวิเคราะห์โลหะหนักในขั้นต่อไป

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และวิธีตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล

| Parameter | Method of analysis |
|--|---|
| Sea Water | |
| 1. Temperature | DO meter (YSI; 550A) |
| 2. Salinity | Hand- Refractometer (Atago; S/Mill-E) |
| 3. pH | pH meter (YSI; pH 100) |
| 4. Dissolve oxygen (DO) | DO meter (YSI; 550A) |
| 5. Suspended solids (SS) | GF/C Filter APHA, AWWA and WPCF (1992) |
| 6. Heavy metals (Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn) | |
| Sediment | |
| 1. pH | pH meter (1:1.25; sediment : water) (Thongra-ar et al., 2008) |
| 2. Organic matter (OM) | Acid-dichromate oxidation (Nelson and Sommers, 1982) |
| 3. Particle size distribution | Hydrometer method (Sheldrick and Wang, 1993) |
| 4. Sediment texture | Textural triangle (Hillel, 1998) |
| 7. Heavy metals (Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn) | |
| Marine Sponge | |
| Heavy metals (Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn) | |

3. ฟองน้ำทะเล (marine sponge) เก็บตัวอย่างในสถานีสึกษา ด้วยวิธีการดำน้ำลึก โดยใช้เครื่องช่วยหายใจใต้น้ำ (SCUBA diving) เมื่อพบฟองน้ำทะเลที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ และมีปริมาณมากพอ (ชนิดเด่นๆ) ก็จะทำการบินที่ภาพใต้น้ำไว้ก่อนเก็บตัวอย่างฟองน้ำทะเลใส่ถุงซิปลาสติก (ถุงซิปล) แยกตามชนิด แช่ไว้ในถังน้ำแข็ง เมื่อถึงห้องปฏิบัติการสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ตัวอย่างส่วนหนึ่งจะถูกแยกไว้เพื่อจำแนกชนิด ส่วนที่เหลือนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเลและน้ำกลั่น แช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -40°C ก่อนนำไปทำให้แห้งด้วยความเย็น (freeze dryer) เมื่อแห้งแล้วนำมาแยกสิ่งเจือปนออก แล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหารแห้ง บรรจุในถุงซิปลาสติกเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เพื่อรอนำไปวิเคราะห์โลหะหนักในขั้นต่อไป ส่วนการจำแนกชนิดของฟองน้ำทะเลกระทำ ณ ห้องปฏิบัติการอนุกรมวิธาน สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา โดย ดร.สุเมตต์ ปุจฉากการ (นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ)

การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่าง

1. น้ำทะเล การเตรียมตัวอย่างน้ำทะเล สำหรับวิเคราะห์โลหะแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิเกิล สังกะสี และเหล็ก ใช้วิธี Cobalt – APDC co-precipitation technique ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Huizenga (1981) คือ ใช้ตัวอย่างน้ำทะเล 250 ± 2 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้ได้ 4 ± 0.2 ด้วยน้ำแอมโมเนีย 10 % (supra ammonia solution; Merck) เติมสารละลายโคบอลต์ (cobalt reagent) 2 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลาย 2% APDC (ammonium-pyrolidin-dithiocarbamate) 2 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างกรองผ่านเยื่อกรอง polycarbonate (pore size 0.4μ) เพื่อเก็บรวบรวมตะกอน หลังจากนั้นจึงละลายตะกอนด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ก่อนเติมน้ำกลั่น deionized 4 มิลลิลิตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดความเข้มข้นของโลหะทั้ง 6 ชนิด ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer; model 4110ZL) เทคนิค GFAAS (graphite furnace atomic absorption spectrometry)

สำหรับปรอท การเตรียมตัวอย่างน้ำทะเลเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้น ใช้วิธีสกัดและเตรียมโดยวิธี BrCl method ซึ่งดัดแปลงมาจาก Quemerais and Cossa (1997) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค cold vapour atomic absorption spectrometry ระบบ flow Injection mercury hydried system (FI-MHS; model FIAS 100) ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Perkin-Elmer; model 4110ZL)

2. ดินตะกอน ในการวิเคราะห์ปรอท การเตรียมสารละลายดินตะกอนใช้วิธีย่อยสลายตัวอย่างดินตะกอนแห้ง (จากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง ข้อ 4.3) น้ำหนัก 0.5 ± 0.01 กรัม ด้วยส่วนผสมของ 4:1 HNO_3 : HCl โดยใช้เครื่องย่อยตัวอย่างด้วยกรดแบบหลุม (block digestion system model AIM600) ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนเจือจางด้วยน้ำกลั่น deionized และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร และใช้เทคนิค cold vapour atomic absorption spectrometry (CVAAS) ระบบ flow injection mercury hydried system (FI-MHS) model FIAS 100 ใช้ 0.2 % NaBH_4 in 0.05 % NaOH เป็น reducing agent และ 3 % (v/v) HCl เป็น carrier solution ในการวัดความเข้มข้นของปรอทด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Perkin Elmer, model 4110ZL)

การเตรียมสารละลายดินตะกอนสำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิเกิล สังกะสี และเหล็ก การย่อยสลายตัวอย่างได้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Loring and Rantala (1992) โดยซึ่งตัวอย่างดินตะกอนแห้ง (จากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง ข้อ 4.3) น้ำหนัก 0.5 ± 0.01 กรัม ใส่ใน teflon tube และเติมกรด aqua regia (HNO_3 :HCl, 1:3 v/v) และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) อัตราส่วน 1 และ 6 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำไปย่อยสลายบน block digestion system (model AIM600) ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วเทส่วนผสมทั้งหมดลงใน teflon beaker นำไปประเหยให้แห้งที่อุณหภูมิ $70-80^\circ\text{C}$ บนเตาไฟฟ้า (hot plate) แล้วจึงละลายตะกอนด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (suprapur HNO_3 , Merck) 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น deionized เก็บสารละลายในขวดพลาสติก (Nalgene) ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดความเข้มข้นโลหะหนักแต่ละชนิดด้วยเทคนิค GFAAS (Perkin Elmer; Model

4110ZL) ยกเว้น เหล็ก และสังกะสี ใช้เทคนิค FAAS ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Perkin Elmer; Model AAnalyst 100)

3. ฟองน้ำทะเล การเตรียมสารละลายฟองน้ำทะเล ใช้วิธีการย่อยสลาย (digestion) ตัวอย่างฟองน้ำทะเลด้วยกรดไนตริกเข้มข้น โดยการตัดแปลงจากวิธีของ Wagner, et al. (1998) และ Pérez, et al. (2005) คือ ชั่งตัวอย่างฟองน้ำทะเลแห้ง (จากขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง ข้อ 4.2) 0.5 ± 0.01 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง ความจุ 100 มิลลิลิตร (มีฝาปิด) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 6 มิลลิลิตร (suprapur HNO₃, Merck) ย่อยสลายตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 24 ชั่วโมง บนเครื่องย่อยตัวอย่างแบบหลุม (block digestion system; model AIM600) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น deionized และทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนนำไปวัดความเข้มข้นโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี โดยใช้เทคนิค GFAAS ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Perkin-Elmer; model 4110ZL) ส่วนปรอท วัดความเข้มข้นด้วยเทคนิค cold vapor atomic absorption spectrometry ระบบ flow Injection mercury hydried system (FI-MHS; model FIAS 100) ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Perkin-Elmer; model 4110ZL)

การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โลหะหนัก (Quality control)

1. การวิเคราะห์หาค่า method detection limit (MDL) หรือค่าต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ที่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล โดยวิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นของ method blank จำนวน 8 ซ้ำ คำนวณหาค่า standard deviation (SD) และ คำนวณหาค่า MDL จากค่า $SD \times 3$ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า method detection limit ของโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล

| Heavy metal | Method detection limit | | |
|-------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | Seawater (µg/L) | Sediment (mg/kg dry wt.) | Marine sponge (mg/kg dry wt.) |
| Cd | 0.003 | 0.015 | 0.007 |
| Cu | 0.04 | 0.25 | 0.1 |
| Fe | 0.04 | 20.0 | 1.0 |
| Hg | 0.10 | 0.003 | 0.007 |
| Ni | 0.03 | 0.20 | 0.15 |
| Pb | 0.03 | 0.15 | 0.07 |
| Zn | 0.25 | 1.0 | 0.2 |

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐาน (certified reference material) เพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่รับรอง โดยน้ำทะเลใช้ seawater reference material for trace metals (NASS-6) ของ National Research Council Canada ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 ดินตะกอนใช้ตัวอย่าง marine sediment certified reference material for trace metals and other constituents (PACS-3) ของ National Research Council Canada ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5 สำหรับฟองน้ำทะเล ยังไม่พบว่ามีตัวอย่างมาตรฐานฟองน้ำทะเล จึงใช้วิธีวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวอย่างมาตรฐานหลายอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างมาตรฐานของเนื้อเยื่อหอยนางรม

(mussel tissue; standard reference material[®] 2976) ของ United States of America ตัวอย่างเนื้อเยื่อปลาทะเลมาตรฐาน (dogfish muscle certified reference materials; DORM-2) ของ National Research Council Canada และตัวอย่างดินตะกอน (PACS-3) รวมทั้งใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก (spike) ที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างฟองน้ำทะเลในขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่าง (digestion) ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6 - ตารางที่ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลมาตรฐาน (seawater reference material for trace metals; NASS-6) n = 3

| Heavy Metal | Certified value ($\mu\text{g/L}$) | Measured value ($\mu\text{g/L}$) | % Recovery |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| Cd | 0.0311 ± 0.0019 | 0.026 ± 0.0004 | 81.2 - 83.5 |
| Cu | 0.248 ± 0.025 | 0.259 ± 0.010 | 101 - 108 |
| Fe | 0.495 ± 0.046 | 0.499 ± 0.086 | 81.0 - 113 |
| Ni | 0.301 ± 0.025 | 0.306 ± 0.012 | 97.2 - 105 |
| Pb | 0.006 ± 0.002 | < MDL | - |
| Zn | 0.257 ± 0.020 | 0.243 ± 0.008 | 95.8 - 100 |

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนทะเลมาตรฐาน (PACS-3) n = 5

| Heavy metal | Certified value (mg/kg) | Measured value (mg/kg) | % Recovery |
|-------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Cd | 2.23 ± 0.13 | 2.21 ± 0.04 | 95.8 - 102 |
| Cu | 327 ± 14 | 335 ± 2.8 | 101.4 - 104 |
| Fe | $41,100 \pm 1,100$ | $43,440 \pm 3,730$ | 97.6 - 117 |
| Ni | 39.9 ± 3.0 | 38.6 ± 2.3 | 90.3 - 104 |
| Pb | 188 ± 7 | 153 ± 1.8 | 81.0 - 82.8 |
| Zn | 379 ± 15 | 367 ± 17 | 93.8 - 105 |

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่อหอยนางรมมาตรฐาน (SRM 2976) n = 5

| Heavy Metal | Certified Value (mg/kg dry wt.) | Measured Value (mg/kg dry wt.) | % Recovery |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------|
| Cd | 0.82 ± 0.16 | 0.96 ± 0.02 | 114 - 120 |
| Cu | 4.02 ± 0.33 | 4.42 ± 0.05 | 108 - 111 |
| Fe | 171 ± 4.9 | 174 ± 3.1 | 98.7 - 103 |
| Ni | 0.93 ± 0.12 | 1.01 ± 0.04 | 105 - 114 |
| Pb | 1.19 ± 0.18 | 1.2 ± 0.06 | 89.0 - 100 |
| Zn | 137 ± 13 | 137.5 ± 2.03 | 98.0 - 102 |

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่อปลาทะเลมาตรฐาน (DORM-2) n = 5

| Heavy Metal | Certified Value (mg/kg dry wt.) | Measured Value (mg/kg dry wt.) | % Recovery |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------|
| Cd | 0.043 ± 0.008 | 0.051 ± 0.002 | 112 – 122 |
| Cu | 2.34 ± 0.16 | 2.31 ± 0.08 | 95.0 – 104 |
| Fe | 142 ± 10 | 151.7 ± 9.7 | 102 – 119 |
| Hg | 4.64 ± 0.26 | 4.79 ± 0.196 | 99.6 – 108 |
| Ni | 19.4 ± 3.1 | 19.6 ± 1.12 | 93.5 – 109 |
| Pb | 0.065 ± 0.007 | <MDL | - |
| Zn | 25.6 ± 2.3 | 23.4 ± 1.9 | 83.5 – 102 |

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนมาตรฐาน (PACS-3) n = 5

| Heavy Metal | Certified Value (mg/kg dry wt.) | Measured Value (mg/kg dry wt.) | % Recovery |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Cd | 2.23 ± 0.13 | 2.11 ± 0.024 | 93.4 – 95.9 |
| Cu | 327 ± 14 | 316.5 ± 7.4 | 93.5 – 99.4 |
| Fe | 41,100 ± 1,100 | 34,816 ± 561 | 82.6 – 86.1 |
| Ni | 39.9 ± 3.0 | 41.3 ± 2.38 | 96.6 – 112 |
| Pb | 188 ± 7 | 169.2 ± 5.17 | 86.3 – 93.3 |
| Zn | 379 ± 15 | 440 ± 10.2 | 85.5 – 92.2 |

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างฟองน้ำทะเลซึ่งเติมสารละลายโลหะหนักมาตรฐานลงไป
ขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่าง (n = 3)

| Heavy Metal | Spiked Concentration (mg/kg dry wt.) | Measured Concentration (mg/kg dry wt.) | % Recovery |
|-------------|---|--|-------------|
| Cd | 10 | 10.1 ± 1.83 | 99.8 – 103 |
| Cu | 20 | 18.4 ± 1.2 | 88.2 – 98.7 |
| Fe | 20 | 20.3 ± 0.19 | 101 – 102 |
| Hg | 1.0 | 0.89 ± 0.14 | 73.7 – 101 |
| Ni | 20 | 21.7 ± 1.6 | 99.6 – 115 |
| Pb | 10 | 9.3 ± 0.81 | 92.2 – 93.8 |
| Zn | 10 | 11.1 ± 0.3 | 108 – 114 |

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งการสร้างกราฟเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละชุด

2. ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาค่านัยสำคัญของความแตกต่าง (significant) ระหว่าง 2 ปัจจัย คือ เวลา (2 ปี) และสถานี (7 สถานี) และใช้สถิติ S-N-K ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสถานี รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient, r) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนการสร้างแผนภูมิ Boxplot ของโลหะหนักในฟองน้ำทะเล

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล บริเวณเขตอนุรักษ์ธรรมชาติหมู่เกาะมัน จังหวัดระยอง 3 สถานี (เกาะมันนอก, RC1 เกาะมันกลาง, RC2 และเกาะมันใน, RC3) เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะแก จังหวัดระยอง 2 สถานี (ทิศเหนือ หินใหญ่, RI และทิศใต้ กองหินไต้, RI2) และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี 2 สถานี (ทิศใต้ เกาะท้ายตาหมื่น, CHI1 และทิศเหนือ หินส้มป่นย้อย, CHI2) รวมทั้งสิ้น 7 สถานี โดยเก็บตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง (ในช่วงเวลาที่คลื่น ลมในทะเลไม่รุนแรงมากนัก สามารถนำเรือออกทะเลได้) คือ เดือนมกราคม ตุลาคม ธันวาคม พ.ศ. 2557 กุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมของโลหะหนัก 7 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก พรอท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี

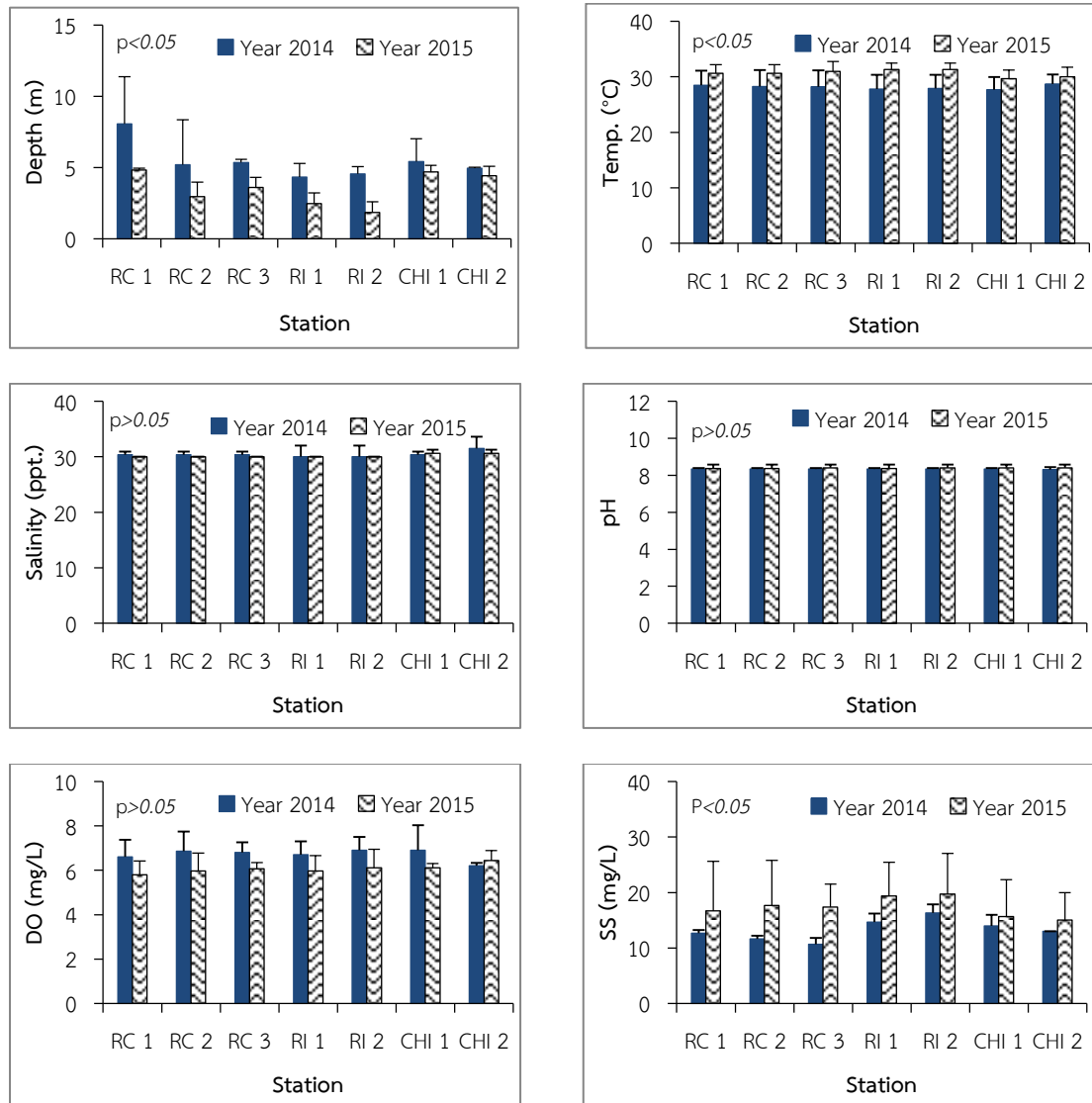
อนึ่ง ในการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาโลหะหนักแต่ละครั้งก็ได้ทำการศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมอื่นบางประการทั้งในน้ำทะเลและในดินตะกอนประกอบด้วย โดยคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวิเคราะห์ในน้ำทะเล ได้แก่ ความลึก อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลาย และตะกอนแขวนลอย ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบางประการตลอดระยะเวลา 2 ปี พบว่ามีค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพน้ำบางประการในพื้นที่ศึกษา (n = 41)

| Parameter | Year 2014 | | | | Year 2015 | | | |
|------------------|-----------|-----|------|-----|-----------|-----|------|-----|
| | Max | Min | Mean | SD | Max | Min | Mean | SD |
| Depth (m.) | 10.6 | 2.6 | 5.4 | 2 | 5.1 | 1.3 | 3.5 | 1.3 |
| Temperature (°C) | 31 | 25 | 28 | 2.2 | 32 | 28 | 31 | 1.4 |
| Salinity (ppt.) | 33 | 28 | 30 | 1.2 | 31 | 30 | 30 | 0.4 |
| pH | 8.4 | 8.2 | 8.3 | 0.1 | 8.6 | 8.2 | 8.4 | 0.2 |
| DO (mg/L) | 8.2 | 5.7 | 6.7 | 0.7 | 6.9 | 5.2 | 6.1 | 0.5 |
| SS (mg/L) | 18 | 10 | 13 | 2 | 28 | 10 | 17 | 6 |

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของคุณภาพน้ำมาทดสอบความแปรปรวนค่าเฉลี่ย (ANOVA) ระหว่าง 2 ปี และ 7 สถานี พบว่า ในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างระดับความลึกของน้ำทะเลระหว่างสถานีมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยบริเวณเกาะมันนอก (RC1) ระดับความลึกน้ำทะเลสูงสุด และต่ำสุดบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะแก (ภาพที่ 2) ส่วนอุณหภูมิของน้ำและตะกอนแขวนลอยน้ำ (SS) พบมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ระหว่าง 2 ปี กล่าวคือ อุณหภูมิ น้ำทะเลเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2558 สูงกว่าปี พ.ศ. 2557 ประมาณ 3°C และตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2558 สูงกว่าปี พ.ศ. 2557 ประมาณ 4 mg/L (ตารางที่ 10 ภาพที่ 2) โดยอุณหภูมิ น้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศและตะกอนแขวนลอยเปลี่ยนแปลงตามความลึกของน้ำและคลื่นลมในทะเล สำหรับ

ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายพบว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละสถานี และแต่ละปีไม่มี ความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 2)

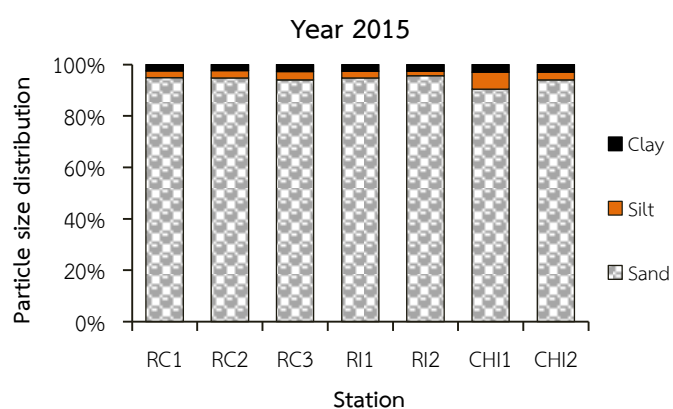
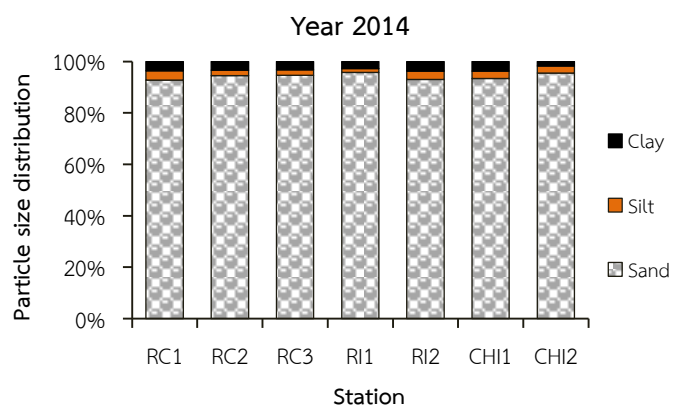


ภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความลึก อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลาย และ ตะกอนแขวนลอย ของน้ำทะเลระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา

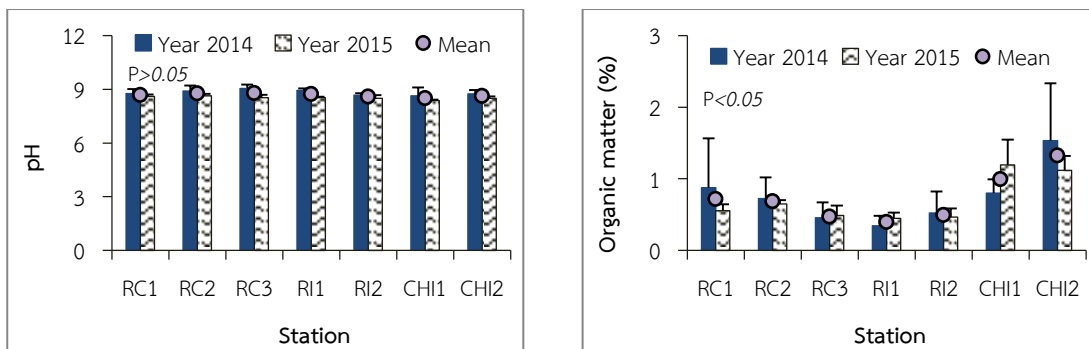
คุณภาพดินตะกอนบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง สารอินทรีย์ และอนุภาคของดิน ตะกอน พบมีค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยมีการ กระจายในแต่ละสถานีของแต่ละปีดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า ดินตะกอนส่วนใหญ่มี อนุภาคเป็นดินทราย (sand) มีดินร่วน (silt) และดินเหนียว (clay) ปะปนเพียงเล็กน้อย มีสภาพเป็น ด่าง มีปริมาณสารอินทรีย์ปะปนอยู่ค่อนข้างต่ำ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของความเป็น กรด-ด่าง สารอินทรีย์ และอนุภาคดินระหว่าง 7 สถานี และ 2 ปีที่ศึกษา ไม่พบว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพดินตะกอนบาง
ประการในพื้นที่ศึกษา (n = 41)

| Parameter | Year 2014 | | | | Year 2015 | | | |
|--------------------|-----------|------|------|-----|-----------|-----|------|-----|
| | Max | Min | Mean | SD | Max | Min | Mean | SD |
| pH | 9.2 | 8.1 | 8.8 | 0.3 | 8.7 | 8.3 | 8.5 | 0.1 |
| Organic matter (%) | 2.1 | 0.2 | 0.7 | 0.5 | 1.6 | 0.3 | 0.7 | 0.3 |
| Sand (%) | 98 | 87 | 94 | 3 | 96 | 89 | 94 | 2 |
| Silt (%) | 6.2 | 0.04 | 2.6 | 1.5 | 7.3 | 1.0 | 3.2 | 1.8 |
| Clay (%) | 7.3 | 1.0 | 3.3 | 2.0 | 4.0 | 2.0 | 2.7 | 0.6 |
| Sediment texture | Sand | | | | Sand | | | |



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอน ระหว่างสถานี ในปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง และสารอินทรีย์ในดินตะกอน ระหว่างสถานีและปีที่ศึกษา

การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเล

การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเล พบว่าโลหะหนักทุกชนิดที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก โปรท ตะกั่ว และสังกะสี ปริมาณความเข้มข้นที่พบมีความแตกต่างกัน โดยมีค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 12 แต่ในกรณีของปรอท พบว่า ตัวอย่างร้อยละ 98 มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่า MDL (0.1 $\mu\text{g/L}$) หรือค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ยกเว้นบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (RI1) ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 เพียงครั้งเดียวที่ตรวจวิเคราะห์ได้ 0.12 $\mu\text{g/L}$ จึงไม่สามารถวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่างๆได้

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจวิเคราะห์ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของไทยที่มีการใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และเพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) พบว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดดังกล่าวข้างต้นในน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษายังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานอีกหลายเท่า (ยกเว้นนิกเกิลไม่มีการกำหนดค่าไว้ในมาตรฐานดังกล่าว) (ตารางที่ 12) และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละสถานีของแต่ละปีในรูปของแผนภูมิ ก็แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีลักษณะการกระจายความเข้มข้นที่ต่างกันไป ดังแสดงในภาพที่ 5 และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกระจายความเข้มข้นโลหะหนักแต่ละชนิดระหว่างปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 และระหว่าง 7 สถานี ก่อนใช้สถิติ S-N-K ในการทดสอบความแตกต่าง พบว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถจำแนกโลหะหนักออกได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ โลหะหนักที่มีความเข้มข้นระหว่างปีที่ 1 (2557) และปีที่ 2 (2558) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งได้แก่ แคดเมียมและตะกั่ว โดยพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2558 (Cd = 0.015 $\mu\text{g/L}$, Pb = 0.30 $\mu\text{g/L}$) มีค่าสูงแตกต่างจากปี พ.ศ. 2557 (Cd = 0.009 $\mu\text{g/L}$, Pb = 0.15 $\mu\text{g/L}$) (ภาพที่ 5) กลุ่มที่ 2 คือ โลหะหนักที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่างสถานีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งได้แก่ ทองแดง เหล็ก และนิกเกิล ซึ่งเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างสถานี ก็สามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 (แยกตามอักษรกำกับเหนือแผนภูมิ ถ้าอักษรกำกับเหมือนกันหมายถึงกลุ่มเดียวกัน ถ้าแตกต่างกัน หมายถึงต่างกลุ่มกัน) โดยโลหะหนักกลุ่มนี้มีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (RI1 Cu = 0.67, Fe = 27.7 และ Ni =

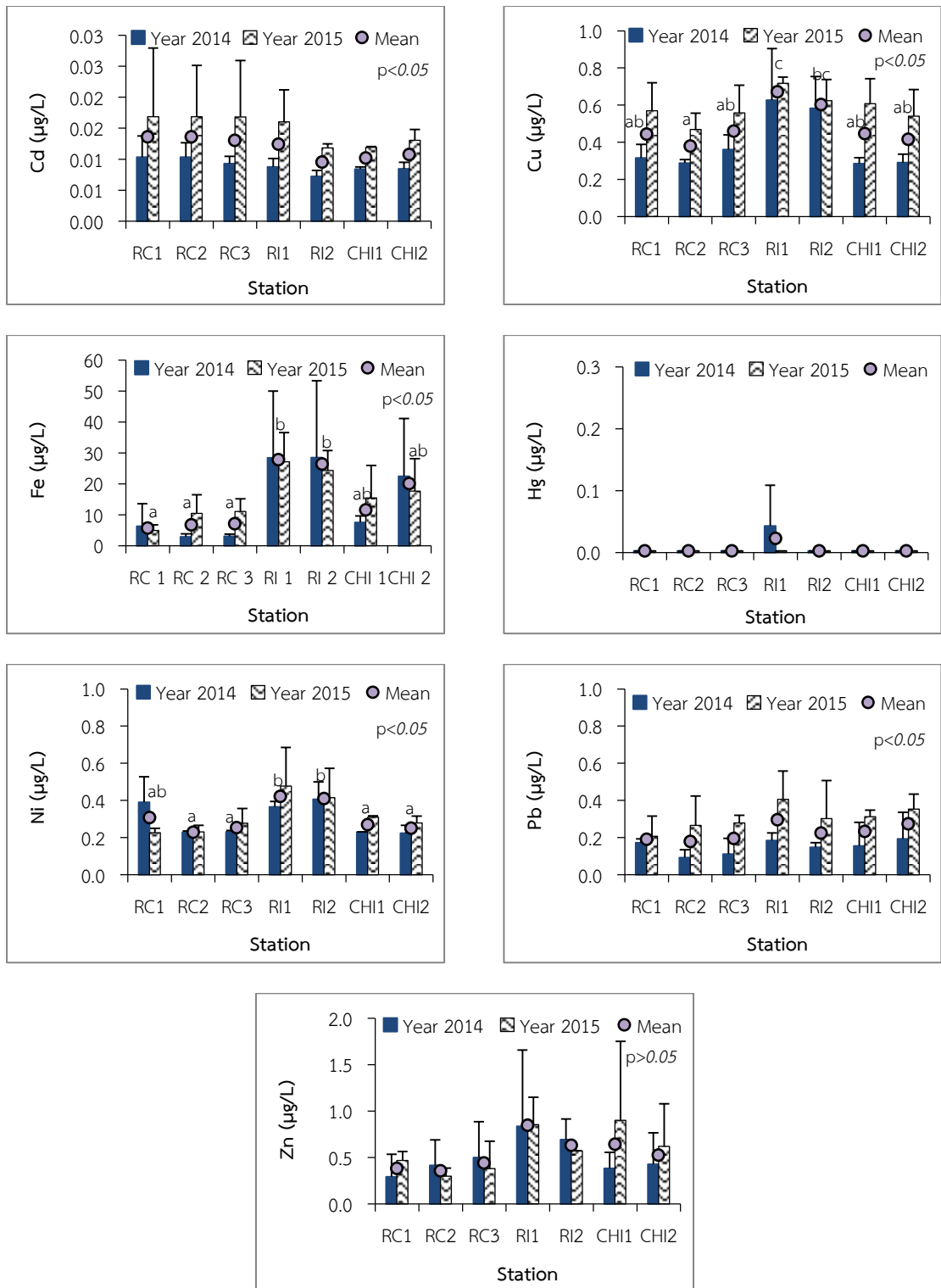
0.42 µg/L และ RI2 Cu = 0.60, Fe = 26.4 และ Ni = 0.41 µg/L) และต่ำสุดบริเวณเกาะมัน โดยทองแดงและนิกเกิลพบที่เกาะมันกลาง (Cu = 0.38 และ Ni = 0.23 µg/L) ส่วนเหล็กพบบริเวณเกาะมันนอก (5.64 µg/L) รองลงมาคือ เกาะมันกลาง (6.69 µg/L) และเกาะมันใน (7.03 µg/L) ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 คือ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยระหว่าง 2 ปี และระหว่าง สถานีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม สังกะสี แต่อย่างไรก็ตาม สังกะสีก็มีลักษณะการกระจายที่คล้ายๆกับโลหะหนักชนิดอื่น คือ พบค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (RI1 = 0.85 µg/L) และต่ำสุดบริเวณเกาะมัน (RC2, RC1 และ RC3 = 0.36, 0.38 และ 0.44 µg/L ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดในน้ำทะเล พบว่าทั้ง 3 พื้นที่ คือ บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซึ่ง มีรูปแบบเดียวกัน คือ พบ Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd (Hg ร้อยละ 98 มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่า MDL คือ 0.1 µg/L จึงไม่สามารถนำมาจัดลำดับได้) ดังแสดงในภาพที่ 6

ตารางที่ 12 ค่ามาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในน้ำทะเล (หน่วย µg/L) (n = 41)

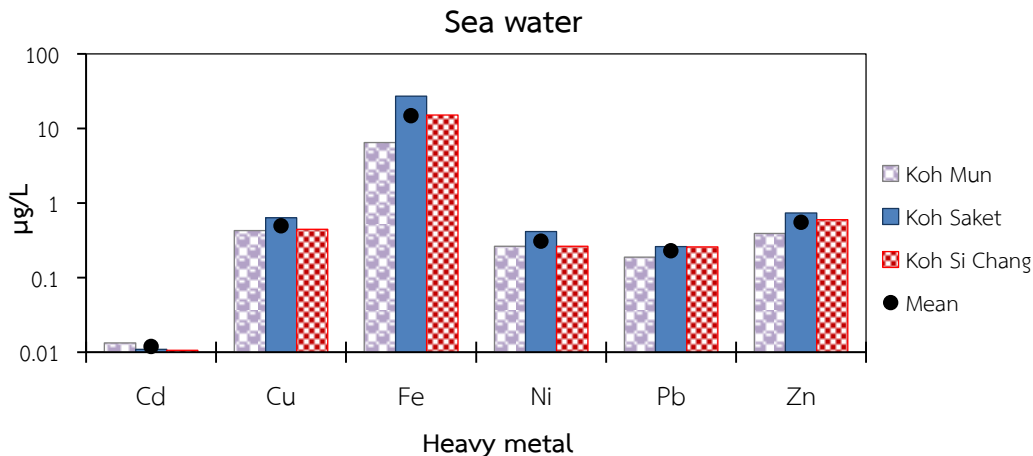
| Heavy Metal | Standard Value* | Year 2014 | | | | Year 2015 | | | |
|-------------|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | | Max | Min | Mean | SD | Max | Min | Mean | SD |
| Cd | ≧5 | 0.014 | 0.006 | 0.009 | 0.002 | 0.030 | 0.010 | 0.015 | 0.006 |
| Cu | ≧8 | 0.95 | 0.25 | 0.40 | 0.18 | 0.75 | 0.39 | 0.58 | 0.13 |
| Fe | ≧300 | 56.2 | 0.56 | 13.8 | 16.3 | 32.8 | 3.05 | 15.8 | 9.84 |
| Hg** | ≧0.1 | 0.12 | <0.1 | - | - | <0.1 | <0.1 | - | - |
| Ni | - | 0.53 | 0.19 | 0.30 | 0.10 | 0.71 | 0.20 | 0.32 | 0.15 |
| Pb | ≧8.5 | 0.30 | <0.03 | 0.15 | 0.07 | 0.54 | 0.09 | 0.30 | 0.12 |
| Zn | ≧50 | 1.76 | <0.25 | 0.51 | 0.39 | 1.88 | <0.25 | 0.58 | 0.40 |

หมายเหตุ: * ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และเพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

** ไม่สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ เพราะข้อมูลร้อยละ 98 มีค่าต่ำกว่าค่า MDL (<0.1 µg/L)



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก โปรท นิกเกิล ตะกั่ว และ สังกะสี ในน้ำทะเล ระหว่างสถานีและปีที่ทำการศึกษา (ตัวอักษรกำกับเหนือแผนภูมิใช้ แบ่งกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ คือ ถ้าอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ ถ้าต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$))



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำทะเล ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำบางประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และตะกอนแขวนลอย พบว่า มีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งสรุปได้ว่า ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสีมีความสัมพันธ์ทางบวก ระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยที่ ทองแดง และตะกั่ว ยังมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิ และตะกอนแขวนลอยค่อนข้างสูงด้วย แสดงว่าโลหะหนักเหล่านี้มักจะเกิดอยู่รวมกันหรือมีแหล่งกำเนิดเดียวกัน และยึดจับอยู่กับตะกอนแขวนลอยมากกว่าที่จะอยู่ในรูปของสารละลาย นอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมเป็นโลหะชนิดเดียวที่ไม่พบความสัมพันธ์ใดๆกับโลหะหนักชนิดอื่นและคุณภาพน้ำอื่นด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของแวตตา ทองระอา และคณะ (2549) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ซึ่งการศึกษารั้งนี้ พบว่าแคดเมียมและปรอทไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับโลหะหนักชนิดอื่นและคุณภาพน้ำอื่นเช่นกัน

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการ (n= 41)

| | Temp. | salinity | pH | DO | SS | Cd | Cu | Fe | Ni | Pb | Zn |
|----------|---------|----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|------|----|
| Temp. | 1 | | | | | | | | | | |
| salinity | -.363* | 1 | | | | | | | | | |
| pH | .330* | -.317* | 1 | | | | | | | | |
| DO | -.577** | .237 | -.320* | 1 | | | | | | | |
| SS | .422** | -.142 | -.183 | -.320* | 1 | | | | | | |
| Cd | .049 | .003 | -.111 | -.075 | -.057 | 1 | | | | | |
| Cu | .519** | -.186 | .112 | -.365* | .627** | .067 | 1 | | | | |
| Fe | .312* | -.082 | .172 | -.134 | .272 | -.078 | .644** | 1 | | | |
| Ni | .169 | -.217 | -.016 | .037 | .390* | -.034 | .414** | .475** | 1 | | |
| Pb | .425** | -.112 | .175 | -.347* | .697** | .102 | .609** | .284 | .367* | 1 | |
| Zn | .117 | -.058 | -.031 | -.161 | .253 | .040 | .478** | .321* | .248 | .275 | 1 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

การปนเปื้อนโลหะหนักในดินตะกอน

การปนเปื้อนโลหะหนักในส่วนของดินตะกอน ตลอด 2 ปี พบว่า แคดเมียม ทองแดง โปรท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ทั้งบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดินตะกอนทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย (Pollution Control Department, 2006) ซึ่งกำหนดไว้ 2 ระดับ คือ ความเข้มข้นของสารอันตรายในดินตะกอนที่มีโอกาสพบผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินระดับต่ำ (effect range low; ERL) และความเข้มข้นของสารอันตรายในดินตะกอนที่มีโอกาสพบผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินระดับปานกลาง (effect range median; ERM) แสดงให้เห็นว่าดินตะกอนมีการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวข้างต้นอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ERL และ ERM อีกหลายเท่า สำหรับเหล็กเป็นโลหะตัวเดียวในการศึกษานี้ที่ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ในมาตรฐานดังกล่าว จึงได้นำค่าที่วิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในหินดินดาน (average shale) จากรายงานการศึกษาของ Turekian and Wedepohl (1961) ซึ่งพบว่าเหล็กมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าว (47,200 mg/kg dry wt.) หลายเท่าเช่นกัน ดังได้แสดงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่ามาตรฐานของโลหะหนักที่พบในการศึกษานี้ไว้ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่ามาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในดินตะกอน (mg/kg dry wt.) (n = 41)

| Metal | Standard Value* | | Year 2014 | | | | Year 2015 | | | |
|-------|-----------------|------|-----------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | ERL | ERM | Max | Min | Mean | SD | Max | Min | Mean | SD |
| Cd | 1.2 | 9.6 | 0.146 | 0.018 | 0.046 | 0.027 | 0.122 | 0.025 | 0.050 | 0.028 |
| Cu | 34 | 270 | 8.04 | <0.25 | 1.54 | 1.79 | 4.92 | 0.68 | 1.74 | 1.24 |
| Fe | 47,200** | | 3,690 | 291 | 1,312 | 764 | 3,317 | 770 | 1,612 | 722 |
| Hg | 0.15 | 0.71 | 0.019 | <0.003 | 0.005 | 0.005 | 0.060 | 0.011 | 0.029 | 0.013 |
| Ni | 20.9 | 51.6 | 7.30 | 0.93 | 3.00 | 1.67 | 4.76 | 0.86 | 2.01 | 1.27 |
| Pb | 46.7 | 218 | 47.2 | 2.00 | 7.87 | 9.61 | 9.03 | 2.52 | 5.10 | 1.76 |
| Zn | 150 | 410 | 65.6 | <1.0 | 12.0 | 14.8 | 64.2 | 6.34 | 17.0 | 16.2 |

หมายเหตุ: * ร่างมาตรฐานดินตะกอนทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย (Pollution Control Department, 2006)

ERL = Effect range low, ERM = Effect range median

** Average shale (Turekian and Wedepohl, 1961)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดระหว่าง 2 ปี และระหว่าง 7 สถานี ผลการวิเคราะห์หั่งชี้ได้ว่าแคดเมียม ทองแดง เหล็ก และสังกะสี มีความเข้มข้นระหว่างสถานีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โปรทความเข้มข้นในปี 2558 แตกต่างจากปี 2557 ($p < 0.05$) นิกเกิลและตะกั่ว มีบางสถานีที่ความเข้มข้นในปี 2557 แตกต่างจากปี 2558 ($p < 0.05$) และเมื่อใช้สถิติ S-N-K วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสถานีว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่แตกต่างกันจากสถานีใดบ้าง พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างชนิดของโลหะหนัก แต่ที่เหมือนกัน คือ ดินตะกอนบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง โดยเฉพาะสถานีด้านทิศ

เหนื่อ (CHI2) เกาะสีซัง มีการปนเปื้อนโลหะหนักทุกชนิด ยกเว้น พรอท สูงกว่าสถานีอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 7 และสามารถสรุปการปนเปื้อนของโลหะหนักแต่ละชนิดในดินตะกอนได้ ดังนี้

- แคดเมียม พบความเข้มข้นต่ำบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (RI1 และ RI1) แตกต่างจากบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (RC1-RC3) รวมทั้งบริเวณด้านทิศตะวันออกของเกาะสีซัง (CHI1) ที่มีค่าสูงขึ้น และสูงสุดบริเวณด้านทิศเหนือของเกาะสีซัง (CHI2)

- ทองแดง และสังกะสี พบความเข้มข้นต่ำบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (RI1 และ RI1) และบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมันไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากบริเวณทิศตะวันออกของเกาะสีซัง (CHI1) ที่มีค่าสูงขึ้น และสูงสุดบริเวณทิศเหนือของเกาะสีซัง (CHI2)

- เหล็ก พบว่าส่วนใหญ่มีความเข้มข้นไม่แตกต่างกันในแต่ละสถานี ยกเว้น สถานีทางด้านทิศเหนือของเกาะสีซัง (CHI2) มีความเข้มข้นสูงแตกต่างจากสถานีอื่น

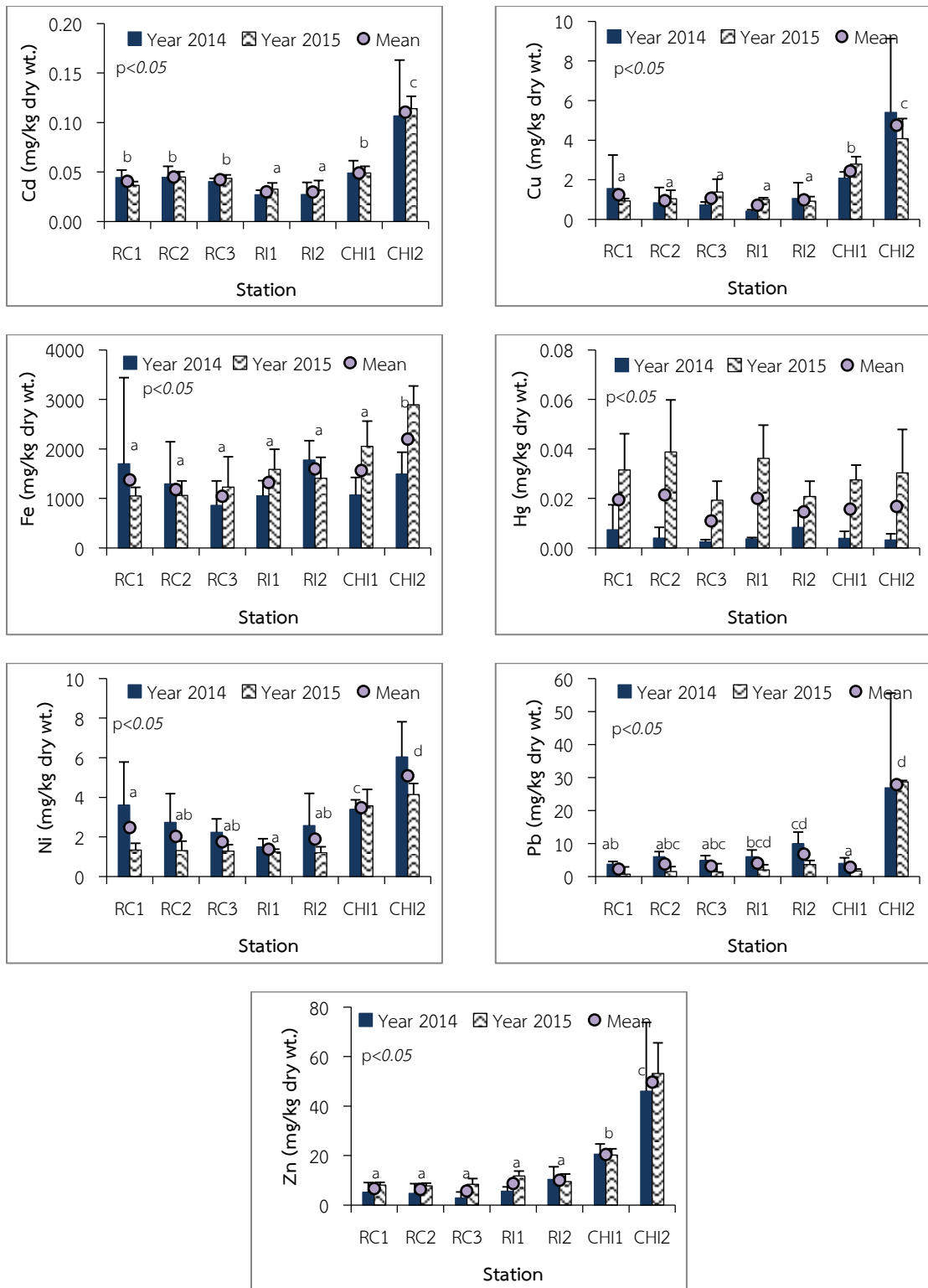
- พรอท ไม่พบว่ามีค่าแตกต่างกันระหว่างสถานี ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันระหว่างปี คือ ความเข้มข้นในปี พ.ศ. 2558 สูงแตกต่างจากปี พ.ศ. 2557 ($p < 0.05$)

- นิกเกิล พบความเข้มข้นต่ำบริเวณทิศเหนือของเกาะสะเก็ด (RI1) และเกาะมันนอก (RC1) แตกต่างจากบริเวณทิศตะวันออกของเกาะสีซัง (CHI1) และบริเวณทิศเหนือของเกาะสีซังมีความเข้มข้นสูงสุด และสูงแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

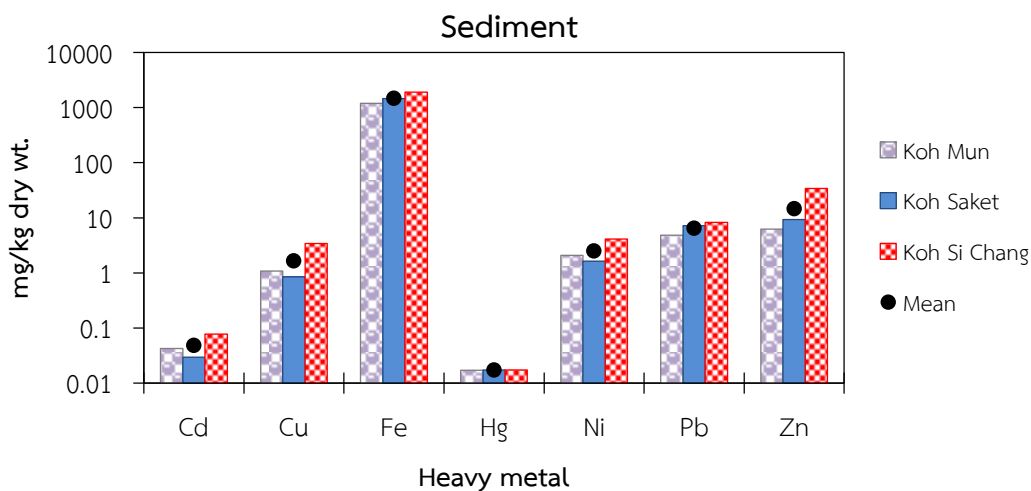
- ตะกั่ว พบความเข้มข้นต่ำบริเวณทิศตะวันออกของเกาะสีซัง (CHI1) แตกต่างจากบริเวณเกาะสะเก็ด และบริเวณทิศเหนือของเกาะสีซังมีความเข้มข้นสูงสุด และสูงแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดในดินตะกอน พบว่าทั้ง 3 พื้นที่ คือ บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีซัง มีลักษณะเดียวกัน คือ พบความเข้มข้น $Fe > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd > Hg$ ดังแสดงในภาพที่ 8

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการ ได้แก่ สารอินทรีย์ อนุภาคดินตะกอน (sand silt และ clay) และความเป็นกรด-ด่าง พบว่า โลหะหนักส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันและกับสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ($p < 0.01$) ยกเว้น พรอท ที่พบมีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำเฉพาะกับเหล็กเท่านั้น ($p < 0.05$) และสัมพันธ์ทางลบกับความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้ยังพบเหล็ก และนิกเกิลมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอนุภาคของดินร่วน และทางลบกับอนุภาคของดินทราย และนิกเกิลยังสัมพันธ์ทางบวกกับอนุภาคของดินเหนียวด้วย ถึงแม้ค่อนข้างต่ำก็ตาม ($r = 0.352$) ดังแสดงในตารางที่ 15 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแคดเมียม ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสีน่าจะเกิดอยู่รวมกันหรือมีแหล่งกำเนิดเดียวกัน โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินตะกอนจะเป็นตัวดูดซับโลหะเหล่านี้ไว้ด้วยกัน นอกจากสารอินทรีย์แล้วอนุภาคของดินร่วนยังสามารถดูดซับเหล็กได้ดีพอๆกันด้วย และยังมีอนุภาคของดินเหนียวที่สามารถยึดจับนิกเกิลไว้ได้ส่วนหนึ่งด้วย และเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ในดินตะกอนลดต่ำลงโลหะหนักที่ถูกดูดซับไว้ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาตามสัดส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ลดลง



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก โปรท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในดินตะกอน ระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา (ตัวอักษรกำกับเหนือแผนภูมิใช้แบ่งกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ คือ ถ้าอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ถ้าต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$))



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในดินตะกอน ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการ (n= 41)

| | OM | Sand | Silt | Clay | pH | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
|------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----|
| OM | 1 | | | | | | | | | | | |
| Sand | -.468** | 1 | | | | | | | | | | |
| Silt | .480** | -.824** | 1 | | | | | | | | | |
| Clay | .256 | -.767** | .269 | 1 | | | | | | | | |
| pH | -.369* | .418** | -.487** | -.156 | 1 | | | | | | | |
| Cd | .696** | -.001 | .058 | -.061 | -.155 | 1 | | | | | | |
| Cu | .879** | -.250 | .325* | .056 | -.372* | .873** | 1 | | | | | |
| Fe | .550** | -.544** | .557** | .296 | -.501** | .420** | .544** | 1 | | | | |
| Hg | .138 | -.210 | .293 | .019 | -.454** | .096 | .122 | .318* | 1 | | | |
| Ni | .873** | -.462** | .387* | .352* | -.178 | .694** | .837** | .575** | -.151 | 1 | | |
| Pb | .453** | .195 | -.139 | -.176 | -.031 | .511** | .612** | .009 | -.161 | .453** | 1 | |
| Zn | .691** | -.063 | .159 | -.074 | -.303 | .914** | .900** | .513** | .192 | .668** | .492** | 1 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

การสะสมโลหะหนักในฟองน้ำทะเล

จากการสำรวจภาคสนามของทีมงานวิจัยเรื่อง “คุณภาพสิ่งแวดล้อมในถิ่นอาศัยของฟองน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย” ภายใต้แผนงานวิจัยเดียวกันกับการศึกษานี้ คือ แผนงานวิจัยเรื่อง “ฟองน้ำทะเล: ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่เป็นทางเลือกใหม่ในการใช้ตรวจติดตามมลพิษจากโลหะหนักบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย” ในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 สถานี ดังกล่าวข้างต้น พบฟองน้ำทะเลทั้งสิ้นจำนวน 54 ชนิด โดยฟองน้ำทะเลมีความหลากหลายมากที่สุดบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน จังหวัดระยอง รองลงมา คือ บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี และบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง ตามลำดับ ฟองน้ำทะเลที่พบแพร่กระจายได้มากที่สุดคือ ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล, *Chondrilla australiensis* (Carter) รองลงมา คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ *Paratetilla bacca* (Selenka), ฟองน้ำครก, *Petrosia (Petrosia) sp.* “vase” ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (Sollas) และฟองน้ำยัดหยุ่นสีดำ, *Cacospongia sp.* “black” โดยร้อยละ 48 ของฟองน้ำทะเลที่พบเป็นฟองน้ำที่มีรูปทรงการเจริญแบบเคลือบตามวัตถุที่อยู่อาศัย ซึ่งส่วนใหญ่เคลือบอยู่กับปะการังรูปทรงแบบก้อนที่แพร่กระจายอยู่มากในแหล่งที่อยู่อาศัย ด้วยลักษณะรูปทรงการเจริญเติบโตของฟองน้ำทะเลกลุ่มนี้ ทำให้ยากต่อการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์โลหะหนักในห้องปฏิบัติการ และบางชนิดพบได้น้อยไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ จึงเหลือตัวอย่างฟองน้ำทะเลที่สามารถนำมาวิเคราะห์โลหะหนักได้เพียง 31 ชนิด จากทั้งหมดที่พบ 54 ชนิด ดังรายชื่อที่แสดงในตารางที่ 16 ตารางที่ 17 และภาพถ่ายได้นำในภาคผนวก ข โดยฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดมีรหัส (Sponge code) กำกับเพื่อความสะดวกในการศึกษา ซึ่งการวิเคราะห์โลหะหนักในฟองน้ำทะเลปีแรกสามารถทำได้ครบทั้ง 31 ชนิด ส่วนปีที่ 2 ลดเหลือจำนวน 20 ชนิด เนื่องจากมีฟองน้ำทะเล 11 ชนิด ได้แก่ ฟองน้ำยัดหยุ่นสีขาว, *Ircinia mutans* (A005) ฟองน้ำท่อสีเทา, *Chalinula sp* (A008) ฟองน้ำท่อสีเหลือง, *Chalinula sp.* (A009) ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู, *Dasychalina fragilis* (A010) ฟองน้ำฝักตัวสีแดง, *Mycale (Mycale) grandis* (A020) ฟองน้ำกระชาย, *Coelocarteria singaporensis* (A023) ฟองน้ำสีเทา, *Mycale (Zygomycale) parishii* (A024) ฟองน้ำก้อนสีม่วง, *Haliclona (Halichoelona) sp.* (A028) ฟองน้ำสีม่วง, *Haliclona sp.* (A029) ฟองน้ำท่อสีดำ, *Haliclona sp.* (A030) และฟองน้ำกึ่งน้ำตาล, *Haliclona (Haliclona) sp.* (A031) ซึ่งปีแรกมีเพียง 1-2 ตัวอย่าง แต่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ในปีที่ 2 (ตารางที่ 17) ดังนั้นในการรายงานการวิเคราะห์ข้อมูลของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลในรายงานต่อไปนี้จะไม่นำค่าโลหะหนักที่ตรวจวิเคราะห์ได้ในฟองน้ำทะเลทั้ง 11 ชนิดดังกล่าวมาคิดคำนวณ แต่ได้มีการแสดงค่าที่ตรวจวิเคราะห์ได้รวมไว้ในตารางภาคผนวก ก9

ตารางที่ 16 รายชื่อชนิดของฟองน้ำ และรหัส (Sponge code) ที่ใช้ในการศึกษา

| Common name | Class | Order | Family | Genus | Species | Sponge code |
|------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| ฟองน้ำตันไม้สีดำ | Demospongiae | Astrophorida | Geodiidae | <i>Penares</i> | <i>nux</i> (de Laubenfels, 1954) | A001 |
| ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | Demospongiae | Chondrosida | Chondrillidae | <i>Chondrilla</i> | <i>australiensis</i> (Carter, 1873) | A002 |
| ฟองน้ำหนังสีดำลาย | Demospongiae | Chondrosida | Chondrillidae | <i>Chondrosia</i> | <i>reticulata</i> (Carter, 1886) | A003 |
| ฟองน้ำหนามสีชมพู | Demospongiae | Dictyoceratida | Dysideidae | <i>Dysidea</i> | <i>arenaria</i> Bergquist, 1965 | A004 |
| ฟองน้ำยัดหยุ่นสีขาว | Demospongiae | Dictyoceratida | Irciniidae | <i>Ircinia</i> | <i>mutans</i> (Wilson, 1925) | A005 |
| ฟองน้ำยัดหยุ่นสีดำ | Demospongiae | Dictyoceratida | Thorectidae | <i>Cacospongia</i> | sp. "black" | A006 |
| ฟองน้ำแจกันสีดำ | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Haliclona</i> | sp. "black" | A007 |
| ฟองน้ำท่อสีเทา | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Chalinula</i> | sp. "black" | A008 |
| ฟองน้ำท่อสีเหลือง | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Chalinula</i> | sp. "yellow" | A009 |
| ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู | Demospongiae | Haplosclerida | Niphatidae | <i>Dasychalina</i> | <i>fragilis</i> Ridley & Dendy, 1886 | A010 |
| ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | Demospongiae | Haplosclerida | Niphatidae | <i>Gelliodes</i> | <i>petrosioides</i> Dendy, 1905 | A011 |
| ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | Demospongiae | Haplosclerida | Niphatidae | <i>Gelliodes</i> | sp. "purple" | A012 |
| ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | Demospongiae | Haplosclerida | Phloeodictyidae | <i>Oceanapia</i> | <i>sagittaria</i> (Sollas, 1902) | A013 |
| ฟองน้ำสีน้ำตาล | Demospongiae | Haplosclerida | Petrosiidae | <i>Neopetrosia</i> | <i>exigua</i> (Kirkpatrick, 1900) | A014 |
| ฟองน้ำครก | Demospongiae | Haplosclerida | Petrosiidae | <i>Petrosia</i> (<i>Petrosia</i>) | sp. "vase" | A015 |
| ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | Demospongiae | Haplosclerida | Petrosiidae | <i>Xestospongia</i> | sp. "purple" | A016 |
| ฟองน้ำสีน้ำเงิน | Demospongiae | Haplosclerida | Petrosiidae | <i>Neopetrosia</i> | sp. "blue" | A017 |
| ฟองน้ำลูกบอล | Demospongiae | Hadromerida | Tethyidae | <i>Tethya</i> | aff. <i>robusta</i> Bowerbank, 1872 | A018 |
| ฟองน้ำเชือก | Demospongiae | Poecilosclerida | Microcionidae | <i>Clathria</i> (<i>Thalysias</i>) | <i>reinwardti</i> Vosmaer, 1880 | A019 |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| Common name | Class | Order | Family | Genus | Species | Sponge code |
|---------------------|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| ฟองน้ำฝิ่งตัวสีแดง | Demospongiae | Poecilosclerida | Mycalidae | <i>Mycale (Mycale)</i> | <i>grandis</i> Gray, 1867 | A020 |
| ฟองน้ำสีส้มหม่น | Demospongiae | Poecilosclerida | Desmacididae | <i>Desmapsamma</i> | <i>vervoorti</i> van Soest, 1997 | A021 |
| ฟองน้ำไฟ | Demospongiae | Poecilosclerida | Desmacellidae | <i>Biemna</i> | <i>fortis</i> (Topsent, 1897) | A022 |
| ฟองน้ำกระชาย | Demospongiae | Poecilosclerida | Isodictyidae | <i>Coelocarteria</i> | <i>singaporensis</i> (Carter, 1883) | A023 |
| ฟองน้ำสีเทา | Demospongiae | Poecilosclerida | Mycalidae | <i>Mycale (Zygomycale)</i> | <i>parishii</i> (Bowerbank, 1875) | A024 |
| ฟองน้ำสีดำเมื่อม้วน | Demospongiae | Poecilosclerida | lotrochotidae | <i>lotrochota</i> | <i>baculifera</i> Ridley, 1884 | A025 |
| ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | Demospongiae | Spirophorida | Tetillidae | <i>Paratetilla</i> | <i>bacca</i> (Selenka, 1867) | A026 |
| ฟองน้ำเปลี่ยนสี | Demospongiae | Verongida | Pseudoceratinidae | <i>Pseudoceratina</i> | <i>purpurea</i> (Carter, 1880) | A027 |
| ฟองน้ำก้อนสีม่วง | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Haliclona (Halichocona)</i> | sp. "purple" | A028 |
| ฟองน้ำสีม่วง | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Haliclona</i> | sp. "purple" | A029 |
| ฟองน้ำทอสีดำ | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Haliclona</i> | sp. "black" | A030 |
| ฟองน้ำกึ่งน้ำตาล | Demospongiae | Haplosclerida | Chalinidae | <i>Haliclona (Haliclona)</i> | sp. "black" | A031 |

ตารางที่ 17 ชนิดของฟองน้ำ (Sponge code) ที่เก็บได้และนำมาวิเคราะห์โลหะหนักในแต่ละสถานี ✓ ในปี พ.ศ. 2557 และ × ในปี พ.ศ. 2558

| Common name (Sponge code) | January 2014 / February 2015 | | | | | | | October 2014 / May 2015 | | | | | | | December 2014 / November 2015 | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 |
| ฟองน้ำต้นไม้สีดำ (A001) | | | | | | ✓ x | × | × | ✓ | | | | ✓ x | ✓ x | ✓ | ✓ | | | | ✓ x | ✓ |
| ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล (A002) | | | ✓ | × | | ✓ | | | | × | × | × | | | × | × | | × | × | | |
| ฟองน้ำหนังสีดำลาย (A003) | | | | ✓ x | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | ✓ x | ✓ | × | |
| ฟองน้ำหนามสีชมพู (A004) | | | | × | | | × | | | | | | | ✓ x | | | | | | | ✓ x |
| ฟองน้ำยัดหุยนสีขาวย (A005) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| ฟองน้ำยัดหุยนสีดำ (A006) | | | | × | | | | | ✓ x | × | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ x | | | × |
| ฟองน้ำแจกันสีดำ (A007) | | | | ✓ | | | | | ✓ | | × | | | | | | | × | | | |
| ฟองน้ำท่อสีเทา (A008) | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ฟองน้ำท่อสีเหลือง (A009) | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | × | | | | |
| ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู (A010) | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า (A011) | × | | | | | ✓ | | | | | | | | × | | ✓ x | | | | | |
| ฟองน้ำเคลือบสีม่วง (A012) | | | | | | | × | | | | | | | ✓ x | | | | | | | ✓ x |
| ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง (A013) | × | | × | × | | | | × | | × | × | | | | ✓ | × | × | ✓ x | | | |
| ฟองน้ำสีน้ำตาล (A014) | × | ✓ | | | | | | ✓ | × | ✓ | | | | | ✓ x | ✓ x | | | | | |
| ฟองน้ำครก (A015) | ✓ x | ✓ | ✓ x | | | ✓ x | × | ✓ | × | ✓ x | | | ✓ x | | ✓ x | ✓ | ✓ x | | | ✓ x | ✓ x |
| ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง (A016) | | × | ✓ | | | | | | | × | | | | | × | | ✓ | | | | |
| ฟองน้ำสีน้ำเงิน (A017) | ✓ x | ✓ | ✓ | | | | × | ✓ x | | | | | ✓ | ✓ x | ✓ x | | ✓ | | | | ✓ x |

ตารางที่ 17 (ต่อ)

| Common name (Sponge Code) | January 2014 and February 2015 | | | | | | | October 2014 and May 2015 | | | | | | | December 2014 and November 2015 | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------|---------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-----|
| | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 | RC 1 | RC 2 | RC 3 | RI 1 | RI 2 | CHI 1 | CHI 2 | |
| ฟองน้ำลูกบอล (A018) | | | | ✓ | ✓ | | | | | | × | | | | | | | ✓ | | | | |
| ฟองน้ำเชือก (019) | | ✓ x | | | | × | × | | × | × | | | ✓ x | ✓ x | ✓ | ✓ x | × | | | ✓ x | ✓ x | |
| ฟองน้ำฝิ่งตัวสีแดง (A020) | | | | | | | | | | | | ✓ | | | | | | | | | | |
| ฟองน้ำสีส้มหม่น (A021) | | × | × | | | | | ✓ | | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| ฟองน้ำไฟ (A022) | | | × | ✓ x | × | | | | | × | × | | | | ✓ | | × | | ✓ | | | |
| ฟองน้ำกระชาย (A023) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| ฟองน้ำสีเทา (A024) | | | | | | | | | | | | ✓ | | | | | | | | | | |
| ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง (A025) | | | | | | ✓ x | × | | | | | | ✓ x | × | | | | | | ✓ x | ✓ x | |
| ฟองน้ำลูกกอล์ฟ (A026) | | | | × | × | | × | | | | ✓ x | × | | | | | | ✓ x | | | | |
| ฟองน้ำเปลี่ยนสี (A027) | | | × | | | | × | | | | | | | × | | | × | | | | | ✓ x |
| ฟองน้ำก้อนสีม่วง (A028) | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| ฟองน้ำสีม่วง (A029) | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ฟองน้ำทอสีดำ (A030) | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| ฟองน้ำกึ่งน้ำตาล (A031) | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | | | | |

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในฟองน้ำทะเลทั้ง 20 ชนิด ที่เก็บได้จากเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด จังหวัดระยอง และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง ในปี พ.ศ. 2557 (3 ครั้ง) และปี พ.ศ. 2558 (3 ครั้ง) รวมทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง พบค่าความเข้มข้นสูงสุด ค่าความเข้มข้นต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 18 โดยโลหะหนักแต่ละชนิดมีการกระจายความเข้มข้นในแต่ละสถานี ดังแสดงในรูปของแผนภูมิ Boxplot ภาพที่ 9 – ภาพที่ 11 (คำอธิบายความหมายของ Boxplot แสดงไว้ในภาพที่ 12) ซึ่งจาก Boxplot สังเกตได้ว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีค่าที่สูงหรือต่ำผิดปกติ (outlier และ extreme) ปรากฏอยู่ในบางสถานี ซึ่งหมายความว่าน้ำทะเลบางชนิดหรือบางตัวอย่างสามารถสะสมโลหะหนักได้สูงหรือต่ำผิดปกติจากฟองน้ำทะเลส่วนใหญ่ในสถานีนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 9 – ภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่าฟองน้ำทะเลมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักแต่ละชนิดไว้ในปริมาณที่แตกต่างกัน และโลหะหนักแต่ละชนิดที่พบยังมีความเข้มข้นที่ค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลและในดินตะกอนที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อายุและชนิดของฟองน้ำทะเลที่แตกต่างกันก็อาจจะมีผลต่อการนำเข้าไปสะสม (uptake) จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ตัวได้แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 18 ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโลหะหนักในฟองน้ำทะเล (mg/kg dry wt.)

| Metal | Year 2014 (n=79) | | | | Year 2015 (n=105) | | | |
|-------|------------------|--------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | Max | Min | Mean | SD | Max | Min | Mean | SD |
| Cd | 30.1 | 0.047 | 1.42 | 4.39 | 71.8 | 0.039 | 2.19 | 9.74 |
| Cu | 72.3 | 2.73 | 9.73 | 9.14 | 81.9 | 2.27 | 10.5 | 10.6 |
| Fe | 2,792 | 78.3 | 689 | 586 | 2,821 | 149 | 767 | 531 |
| Hg | 0.70 | <0.007 | 0.064 | 0.095 | 0.56 | 0.039 | 0.112 | 0.093 |
| Ni | 41.9 | 2.20 | 17.3 | 10.5 | 45.7 | 3.06 | 14.5 | 9.38 |
| Pb | 10.9 | 0.14 | 0.98 | 1.44 | 20.3 | 0.17 | 1.79 | 2.25 |
| Zn | 597 | 5.23 | 62.1 | 94.6 | 489 | 9.60 | 77.9 | 88.1 |

จากภาพที่ 9 – ภาพที่ 11 สามารถอธิบายการกระจายความเข้มข้นของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง ได้ดังนี้

- แคดเมียม พบความเข้มข้นสูงสุดและสูงผิดปกติจากข้อมูลส่วนใหญ่ 3 ตัวอย่างบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (RC2 และ RC3) และรองลงมา คือ บริเวณเกาะสีชังพบได้ 6 ตัวอย่าง แต่ความเข้มข้นของแคดเมียมส่วนใหญ่มีค่าต่ำใกล้เคียงกันทุกสถานี

- ทองแดง พบค่าสูงสุดในฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (RC3 และ RC2 ตามลำดับ) และรองลงมา คือ บริเวณทิศเหนือเกาะสะเก็ด (R11) โดยค่าต่ำสุดบริเวณเกาะมันนอก (RC1)

- เหล็ก ปริมาณที่พบในฟองน้ำทะเลมีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆหลายเท่า ทั้งนี้เพราะเหล็กในน้ำทะเลและในดินตะกอนมีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นเช่นกัน จึงเป็นโอกาส

ให้ฟองน้ำทะเลสะสมเหล็กได้ในปริมาณที่สูงตาม โดยพบเหล็กมีค่าสูงสุดบริเวณทิศเหนือของเกาะสี่ซัง (CHI2) และต่ำสุดบริเวณเกาะมันกลาง

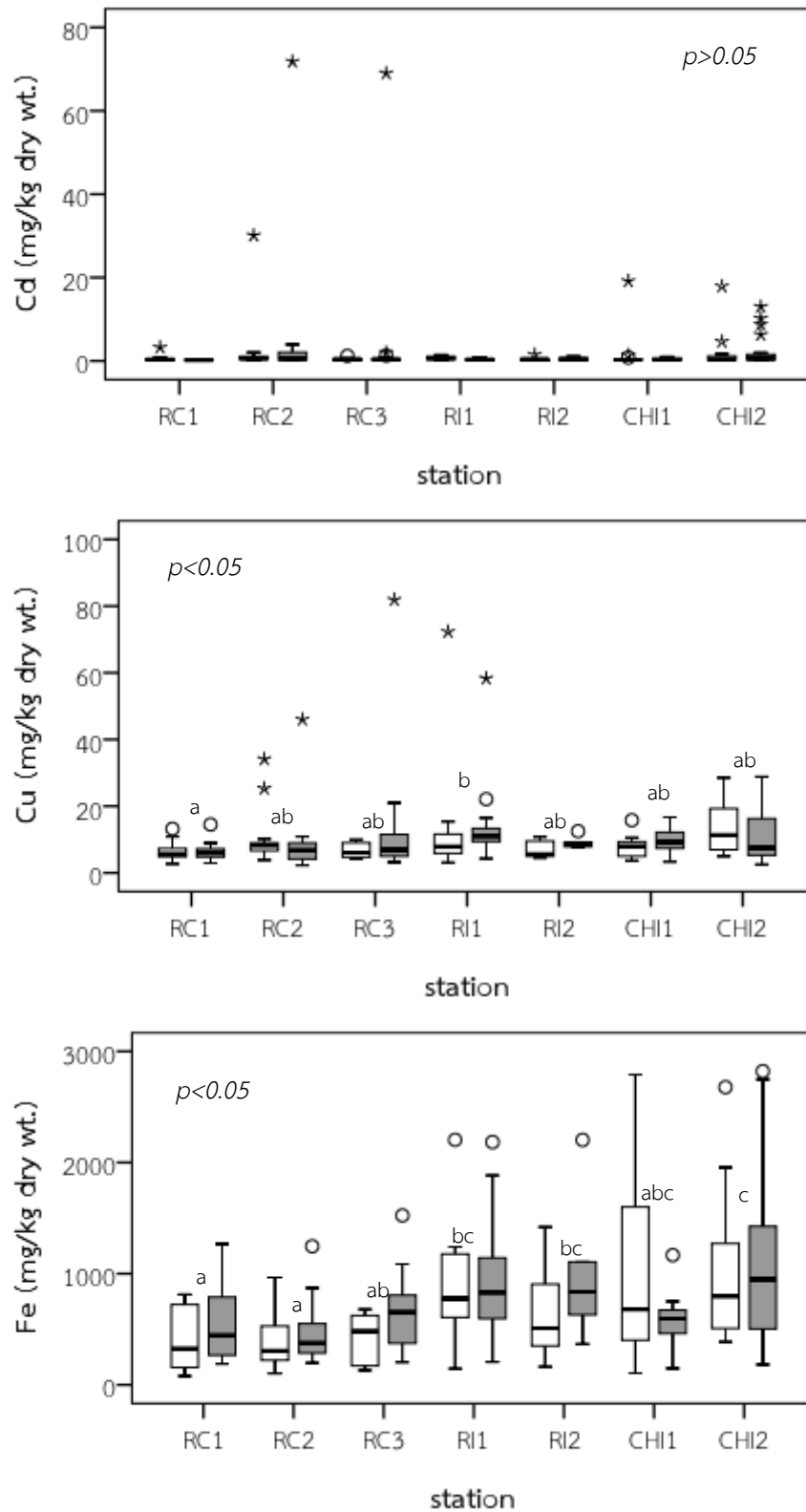
- พรอท พบบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ดมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมันและเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง ซึ่งทั้ง 2 บริเวณมีค่าใกล้เคียงกัน

- นิเกิล ความเข้มข้นที่พบมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสถานี

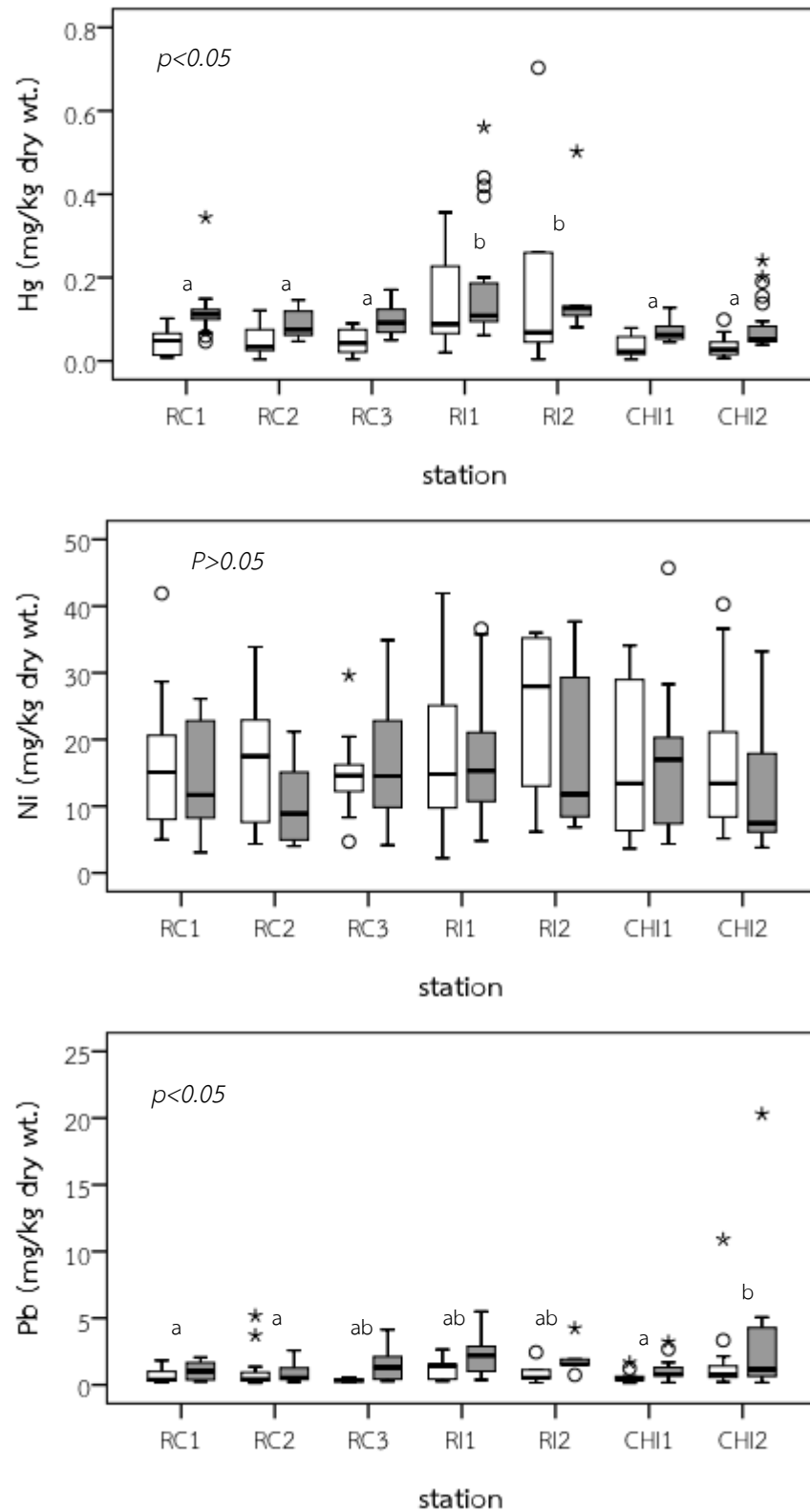
- ตะกั่ว พบบริเวณทิศเหนือเกาะสี่ซัง (CHI2) มีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น และความเข้มข้นต่ำบริเวณเกาะมันนอก (RC1)

- สังกะสี ถึงแม้พบความเข้มข้นสูงสุดบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (RC1 และ RC2) แต่โดยรวมมีความเข้มข้นสูงบริเวณทิศใต้เกาะสะเก็ด (RI2) และความเข้มข้นต่ำบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน

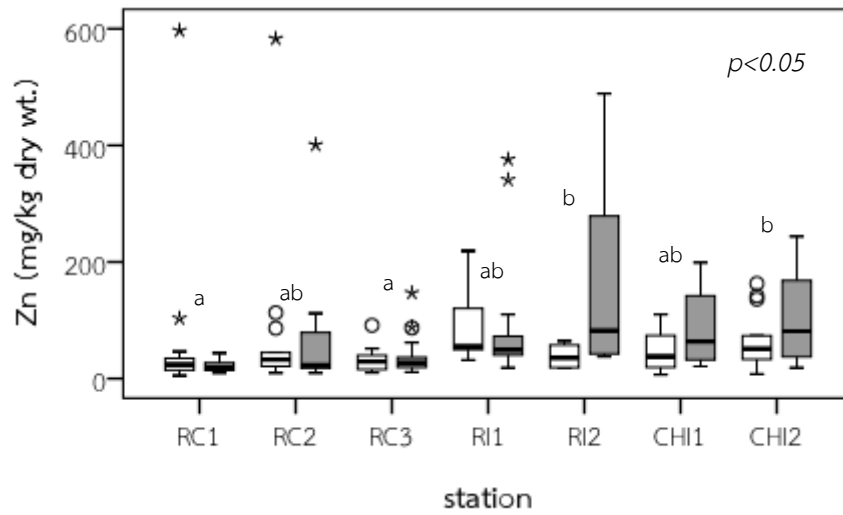
อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด ในฟองน้ำทะเลระหว่าง 7 สถานี และระหว่างปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 พบว่า ปริมาณแคดเมียมและนิเกิลที่พบในปี พ.ศ. 2558 ไม่แตกต่างจากปี พ.ศ. 2557 ระหว่าง 2 ปีและมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 7 สถานี ($p > 0.05$) โดยมีการกระจายความเข้มข้นระหว่างสถานีและระหว่าง 2 ปี ดังแสดงในภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ส่วนทองแดง เหล็ก พรอท ตะกั่ว และสังกะสี ความเข้มข้นที่พบในฟองน้ำทะเลระหว่าง 7 สถานี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อใช้สถิติ S-N-K เพื่อวิเคราะห์หาว่าสถานีใดมีความเข้มข้นสูงหรือต่ำแตกต่างจากสถานีใด ก็พบว่าสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มๆ ดังแสดงด้วยตัวอักษร a, b และ c ที่เขียนกำกับไว้บริเวณเหนือแผนภูมิของแต่ละสถานี ในภาพที่ 9 – ภาพที่ 10 โดยสถานีใดมีอักษรตัวเดียวกัน แสดงว่าความเข้มข้นระหว่างสถานีนั้นๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ถ้าตัวอักษรต่างกัน แสดงว่าความเข้มข้นระหว่างสถานีนั้นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่น พรอท (ภาพที่ 10) แสดงให้เห็นว่าฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด มีการสะสมพรอทได้สูงไม่แตกต่างกันทั้ง 2 สถานี (RI1 และ สถานี RI2) ($p > 0.05$) แต่สูงแตกต่างจากปริมาณที่พบในฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (RC1, RC2 และ RC3) และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง (CHI1 และ CHI2) ($p < 0.05$) ซึ่งทั้ง 2 บริเวณนี้ไม่มีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) หรือกรณีของทองแดง (ภาพที่ 9) พบความเข้มข้นสูงสุดในฟองน้ำทะเลบริเวณทิศเหนือเกาะสะเก็ด (RI1) แตกต่างจากบริเวณเกาะมันนอก (RC1) ($p < 0.05$) ซึ่งพบความเข้มข้นต่ำกว่าสถานีอื่น ส่วนอีก 5 สถานีที่เหลือแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่พบไม่แตกต่างจากสถานี RI1 และ RC1 สำหรับเหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี สามารถสังเกตได้ดังแสดงในภาพที่ 9 – ภาพที่ 11 ในลักษณะเดียวกับพรอทและทองแดง



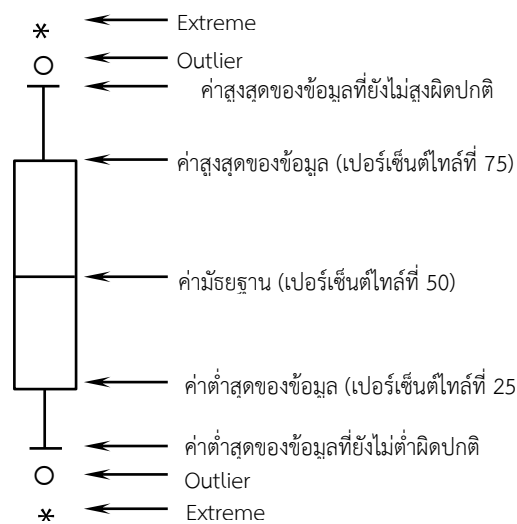
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง และเหล็กที่พบในฟองน้ำทะเล ระหว่างสถานีและปีที่ศึกษา (□ Year 2014 และ ■ Year 2015) (ตัวอักษรกำกับเหนือแผนภูมิใช้แบ่งกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ ถ้าอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่พบความแตกต่าง ($p > 0.05$) แต่ถ้าอักษรต่างกันแสดงว่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$))



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอท นิกเกิล และตะกั่วที่พบในฟองน้ำทะเล ระหว่างสถานี และปีที่ศึกษา (□ Year 2014 และ ■ Year 2015) (ตัวอักษรกำกับเหนือแผนภูมิใช้แบ่งกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ ถ้าอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่พบความแตกต่าง ($p>0.05$) แต่ถ้าอักษรต่างกันแสดงว่าแตกต่างกัน ($p<0.05$))



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีที่พบในฟองน้ำทะเล ระหว่างสถานีและปีที่ศึกษา (□ Year 2014 และ ■ Year 2015) (ตัวอักษรกำกับเหนือแผนภูมิใช้แบ่งกลุ่มความแตกต่างทางสถิติ ถ้าอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่พบความแตกต่าง ($p > 0.05$) แต่ถ้าอักษรต่างกันแสดงว่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$))



ภาพที่ 12 อธิบายความหมายแผนภูมิ Boxplot

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของฟองน้ำทะเลว่าชนิดใดมีความสามารถสะสมโลหะหนักชนิดใดได้สูงหรือต่ำอย่างไร ตารางที่ 19 ได้แสดงชนิดของฟองน้ำที่ตรวจพบความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุด 3 อันดับ พร้อมสถานี และช่วงเวลาที่ยกมา แยกตามพื้นที่ศึกษา คือ เขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง และภาพที่ 13 – ภาพที่ 19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดมีการสะสมโลหะหนักได้ไม่เท่ากันทั้งชนิดและปริมาณ เช่น พบว่า ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า, *Gelliodes petrosioides* (A011) ทั้งบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมันและเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง มีการสะสมแคดเมียมสูงกว่าฟองน้ำทะเลอื่นๆในพื้นที่เดียวกัน ตรงข้ามกับฟองน้ำสีน้ำเงิน, *Neopetrosia* sp. "blue" (A017) ที่สะสมแคดเมียมไว้ต่ำสุดเช่นกันทั้ง 2 บริเวณเช่นเดียวกัน ในขณะที่ทองแดง ทั้งเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง พบทองแดงมีความเข้มข้นสูงสุดในฟองน้ำยัดหยุ่นสีดำ, *Cacospongia* sp. "black" (A006) และต่ำสุดในฟองน้ำสีส้มหม่น, *Desmapsamma vervoorti* (A021) ฟองน้ำไฟ, *Biemna fortis* (A022) และฟองน้ำสีน้ำเงิน, *Neopetrosia* sp. "blue" (A017) ตามลำดับพื้นที่ ในทำนองเดียวกัน เหล็ก ปรอท นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี สามารถใช้ข้อมูลจากตารางที่ 19 และภาพที่ 15 – ภาพที่ 19 เพื่อบ่งชี้ว่าฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดมีการสะสมได้มากน้อยอย่างไร การที่พบฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดมีการสะสมโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน ปัจจัยหนึ่งอาจเนื่องจากอายุ รูปร่างลักษณะ และที่อยู่อาศัยที่ต่างกัน ทำให้โอกาสได้รับโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมต่างกัน เพราะการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาตัวอย่างจากธรรมชาติ จึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยใดๆได้เลย

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นโลหะหนัก 3 อันดับต่ำสุด และสูงสุด ที่พบในฟองน้ำทะเล

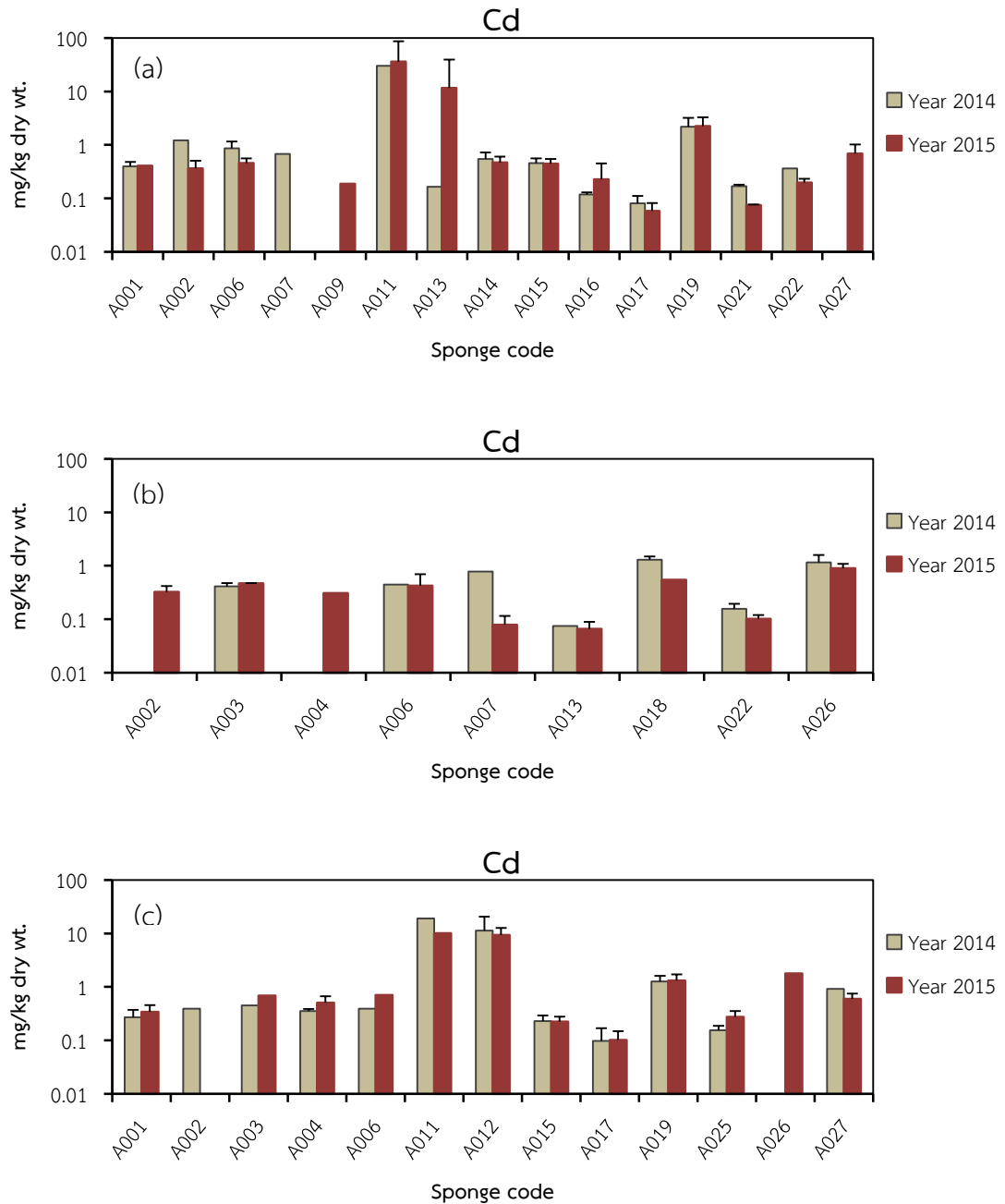
| Heavy metal | 3 Low concentrations (mg/kg dry wt.) | | | | | 3 High concentrations (mg/kg dry wt.) | | | |
|----------------|--------------------------------------|-------------|--------------|-------|----------|---------------------------------------|-------------|--------------|---------|
| | Conc. | Sponge code | Station code | Date | | Conc. | Sponge code | Station code | Date |
| Cd | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 0.039 | A017 | RC1 | Nov. 15 | 71.8 | A011 | RC2 | Nov. 15 |
| | 2 | 0.050 | A017 | RC1 | May. 15 | 69.0 | A013 | RC3 | Feb. 15 |
| | 3 | 0.051 | A017 | RC3 | Dec. 14 | 30.1 | A011 | RC2 | Dec. 14 |
| - Koh Saket | 1 | 0.043 | A013 | RI1 | May. 15 | 1.50 | A018 | RI1 | Jan. 14 |
| | 2 | 0.052 | A007 | RI1 | Nov. 15 | 1.47 | A026 | RI1 | Dec. 14 |
| | 3 | 0.063 | A013 | RI1 | Nov. 15 | 1.29 | A018 | RI1 | Dec. 14 |
| - Koh Si Chang | 1 | 0.047 | A017 | CHI1, | Oct. 14, | 19.2 | A011 | CHI1 | Jan. 14 |
| | | | | CHI2 | Feb. 15 | | | | |
| | 2 | 0.068 | A017 | CHI2 | Oct. 14 | 17.9 | A012 | CHI2 | Dec. 14 |
| | 3 | 0.120 | A017 | CHI2 | May. 15 | 13.0 | A012 | CHI2 | Feb. 15 |

ตารางที่ 19 (ต่อ)

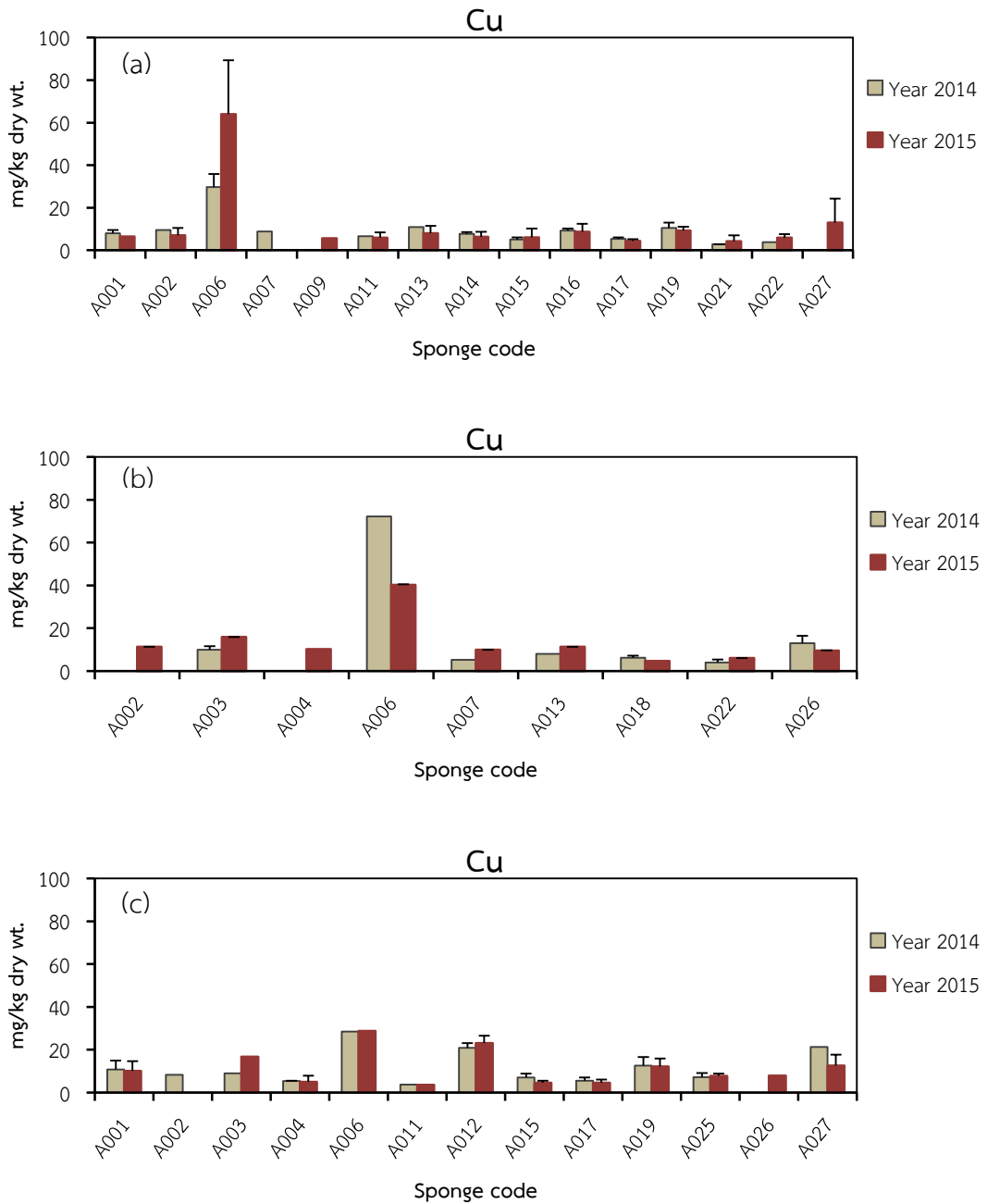
| Heavy metal | 3 Low concentrations (mg/kg dry wt.) | | | | 3 High concentrations (mg/kg dry wt.) | | | | |
|----------------|--------------------------------------|-------------|------------------|----------|---------------------------------------|-------------|--------------|------|---------|
| | Conc. | Sponge code | Station code | Date | Conc. | Sponge code | Station code | Date | |
| Cu | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 2.27 | A021 | RC2 | Feb. 15 | 81.9 | A006 | RC3 | May. 15 |
| | 2 | 2.73 | A021 | RC1 | Oct. 14 | 46.0 | A006 | RC2 | May. 15 |
| | 3 | 2.81 | A021 | RC1 | Dec. 14 | 34.1 | A006 | RC2 | Dec. 14 |
| - Koh Saket | 1 | 3.09 | A022 | RI1 | Jan. 14 | 72.3 | A006 | RI1 | Dec. 14 |
| | 2 | 4.72 | A018 | RI1 | May. 15 | 58.3 | A006 | RI1 | Nov. 15 |
| | 3 | 4.97 | A022 | RI2 | Dec. 14 | 22.1 | A006 | RI1 | Feb. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | 2.46 | A004 | CHI2 | May. 15 | 28.8 | A006 | CHI2 | Nov. 15 |
| | 2 | 2.68 | A001 | CHI2 | May. 15 | 28.5 | A006 | CHI2 | Oct. 14 |
| | 3 | 2.69 | A017 | CHI2 | May. 15 | 27.1 | A012 | CHI2 | Feb. 15 |
| Fe | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 78.3 | A017 | RC1 | Dec. 14 | 1524 | A013 | RC3 | May. 15 |
| | 2 | 101 | A014 | RC1 | Dec. 14 | 1268 | A013 | RC1 | Feb. 15 |
| | 3 | 130 | A016 | RC3 | Jan. 14 | 1247 | A013 | RC2 | Nov. 15 |
| - Koh Saket | 1 | 145 | A003 | RI1 | Jan. 14 | 2204 | A006 | RI1 | Dec. 14 |
| | 2 | 207 | A003 | RI1 | Nov. 15 | 2203 | A022 | RI2 | Feb. 15 |
| | 3 | 320 | A002 | RI1 | May. 15 | 2184 | A004 | RI1 | Feb. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | 106 | A015 | CHI1 | Jan. 14 | 2821 | A004 | CHI2 | Nov. 15 |
| | 2 | 149 | A015 | CHI1 | Nov. 15 | 2792 | A002 | CHI1 | Jan. 14 |
| | 3 | 162 | A017, A015 | CHI1 | Oct. 14, May. 15 | 2748 | A027 | CHI2 | Nov. 15 |
| Hg | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | <0.007 | A017 | RC2, RC3 | Jan. 14 | 0.344 | A017 | RC1 | Feb. 15 |
| | 2 | 0.008 | A021 | RC1 | Oct. 14 | 0.171 | A006 | RC3 | May. 15 |
| | 3 | 0.011 | A017 | RC1 | Jan. 14 | 0.149 | A015 | RC1 | Feb. 15 |
| - Koh Saket | 1 | 0.020 | A022 | RI1 | Jan. 14 | 0.703 | A003 | RI2 | Dec. 14 |
| | 2 | 0.045 | A018 | RI2 | Jan. 14 | 0.561 | A003 | RI1 | Nov. 15 |
| | 3 | 0.061 | A022 | RI1 | Feb. 15 | 0.502 | A002 | RI2 | May. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | <0.007 | A001, A011, A017 | CHI1 | Jan. 14, Jan. 14, Oct. 14 | 0.241 | A026 | CHI2 | Feb. 15 |
| | 2 | 0.008 | A004 | CHI2 | Oct. 14 | 0.202 | A012 | CHI2 | Feb. 15 |
| | 3 | 0.009 | A025 | CHI1 | Oct. 14 | 0.155 | A004 | CHI2 | Feb. 15 |
| Ni | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 3.06 | A017 | RC1 | Feb. 15 | 41.9 | A013 | RC1 | Oct. 14 |
| | 2 | 4.01 | A011 | RC2 | Nov. 15 | 34.9 | A006 | RC3 | May. 15 |
| | 3 | 4.16 | A009 | RC3 | Nov. 15 | 33.9 | A011 | RC2 | Oct. 14 |
| - Koh Saket | 1 | 2.20 | A007 | RI1 | Jan. 14 | 41.9 | A003 | RI1 | Nov. 15 |
| | 2 | 4.81 | A007 | RI1 | Nov. 15 | 37.7 | A002 | RI2 | May. 15 |
| | 3 | 4.87 | A026 | RI1 | May. 15 | 36.6 | A003 | RI1 | Nov. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | 3.66 | A001 | CHI1 | Jan. 14 | 45.7 | A003 | CHI1 | Nov. 15 |
| | 2 | 3.80 | A025 | CHI2 | Feb. 15 | 40.3 | A006 | CHI2 | Oct. 14 |
| | 3 | 4.70 | A019 | CHI2 | Feb. 15 | 36.6 | A015 | CHI2 | Dec. 14 |

ตารางที่ 19 (ต่อ)

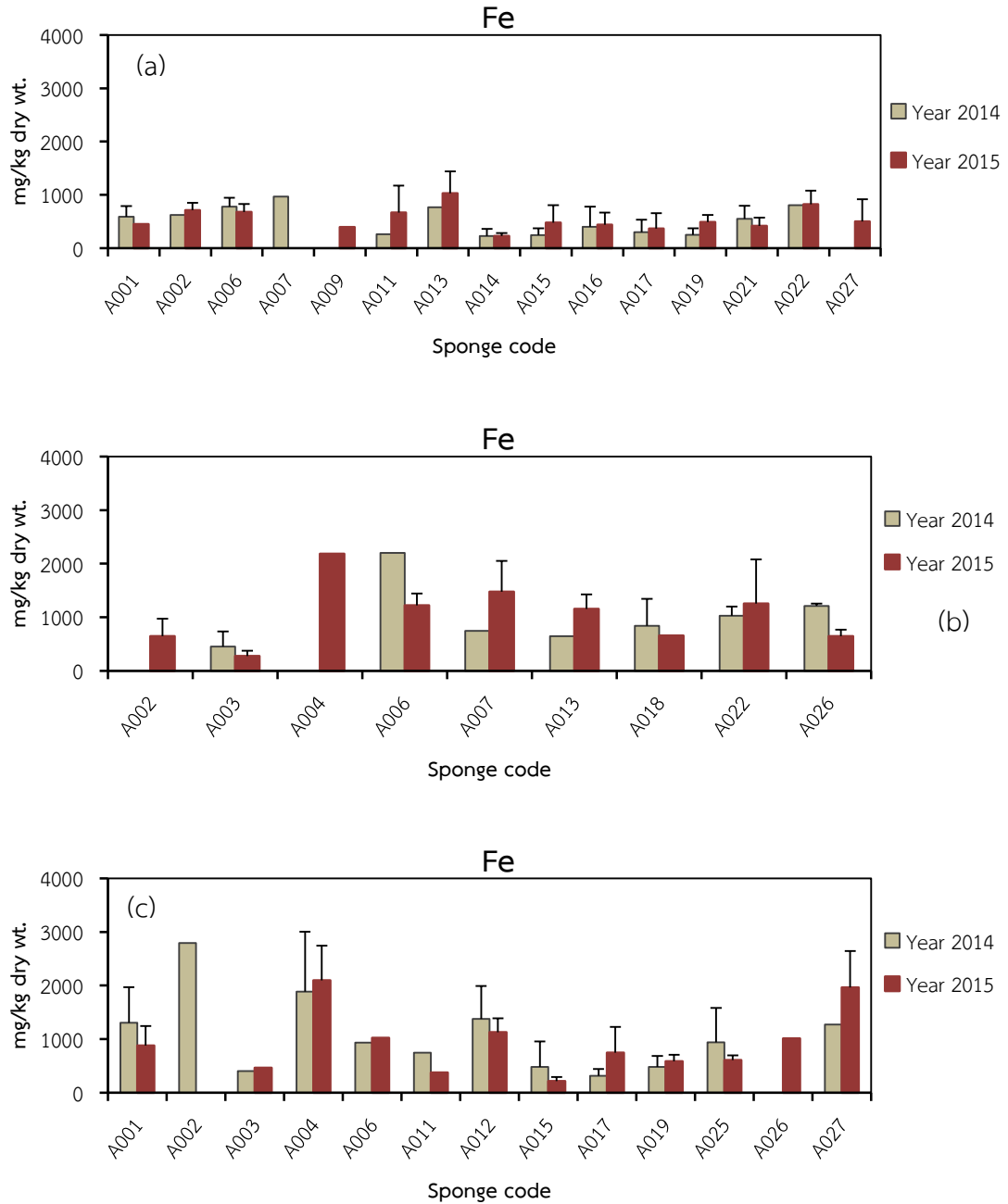
| Heavy metal | 3 Low concentrations (mg/kg dry wt.) | | | | 3 High concentrations (mg/kg dry wt.) | | | | |
|----------------|--------------------------------------|-------------|--------------|------|---------------------------------------|-------------|--------------|------|---------|
| | Conc. | Sponge code | Station code | Date | Conc. | Sponge code | Station code | Date | |
| Pb | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 0.137 | A015 | RC2 | Jan. 14 | 5.18 | A007 | RC2 | Oct. 14 |
| | 2 | 0.158 | A015 | RC3 | Oct. 14 | 4.14 | A013 | RC3 | May. 15 |
| | 3 | 0.234 | A014 | RC2 | May. 15 | 3.71 | A006 | RC2 | Oct. 14 |
| - Koh Saket | 1 | 0.266 | A003 | RI1 | Jan. 14 | 5.51 | A006 | RI1 | Nov. 15 |
| | 2 | 0.271 | A007 | RI1 | Jan. 14 | 4.24 | A022 | RI2 | Feb. 15 |
| | 3 | 0.377 | A003 | RI1 | Nov. 15 | 3.57 | A013 | RI1 | Nov. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | 0.137 | A015 | CHI1 | Jan. 14 | 20.3 | A027 | CHI2 | Nov. 15 |
| | 2 | 0.162 | A017 | CHI1 | Oct. 14 | 10.9 | A004 | CHI2 | Oct. 14 |
| | 3 | 0.172 | A015 | CHI2 | Feb. 15 | 5.07 | A004 | CHI2 | May. 15 |
| Zn | | | | | | | | | |
| - Koh Mun | 1 | 5.27 | A021 | RC3 | Oct. 14 | 597 | A014 | RC1 | Oct. 14 |
| | 2 | 9.60 | A016 | RC2 | Feb. 15 | 583 | A014 | RC2 | Oct. 14 |
| | 3 | 9.62 | A016 | RC1 | Nov. 15 | 401 | A011 | RC2 | Nov. 15 |
| - Koh Saket | 1 | 18.6 | A013 | RI1 | May. 15 | 489 | A026 | RI2 | May. 15 |
| | 2 | 18.7 | A003 | RI2 | Oct. 14 | 376 | A026 | RI1 | Feb. 15 |
| | 3 | 27.6 | A026 | RI1 | May. 15 | 341 | A026 | RI1 | Nov. 15 |
| - Koh Si Chang | 1 | 6.59 | A015 | CHI1 | Dec. 14 | 244 | A025 | CHI2 | Feb. 15 |
| | 2 | 6.73 | A015 | CHI1 | Oct. 14 | 221 | A011 | CHI2 | May. 15 |
| | 3 | 7.44 | A001 | CHI1 | Oct. 14 | 202 | A026 | CHI2 | Feb. 15 |



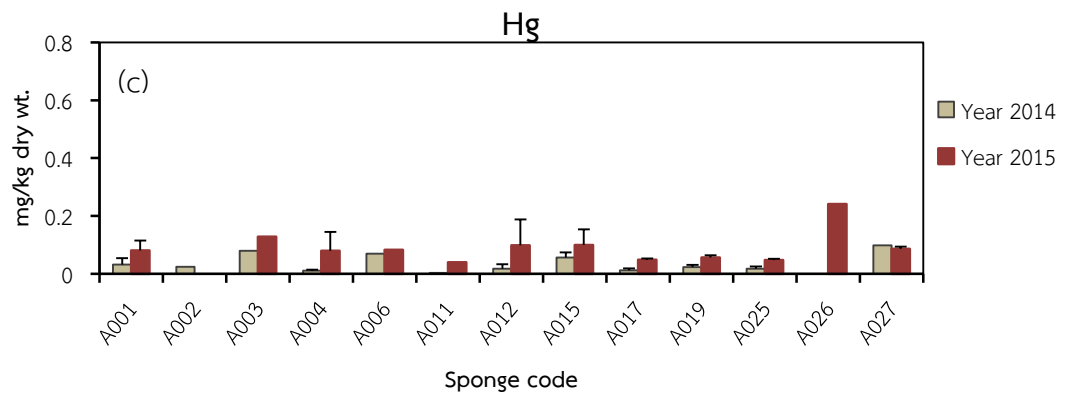
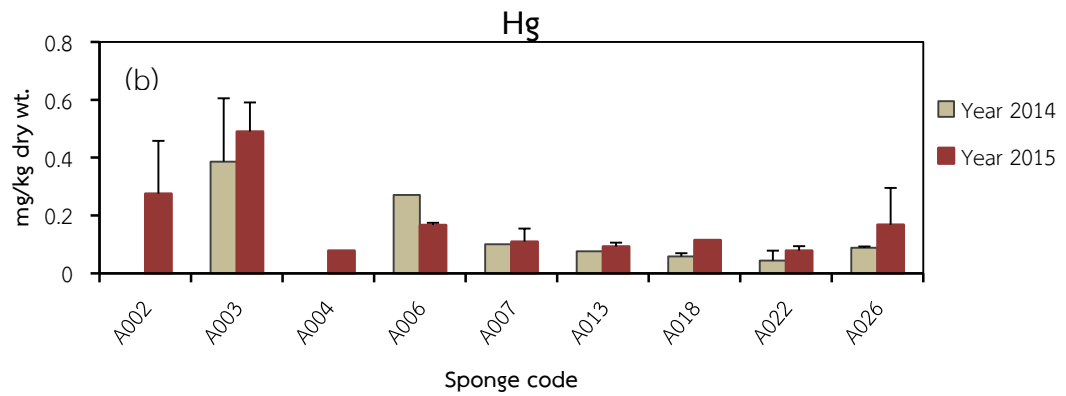
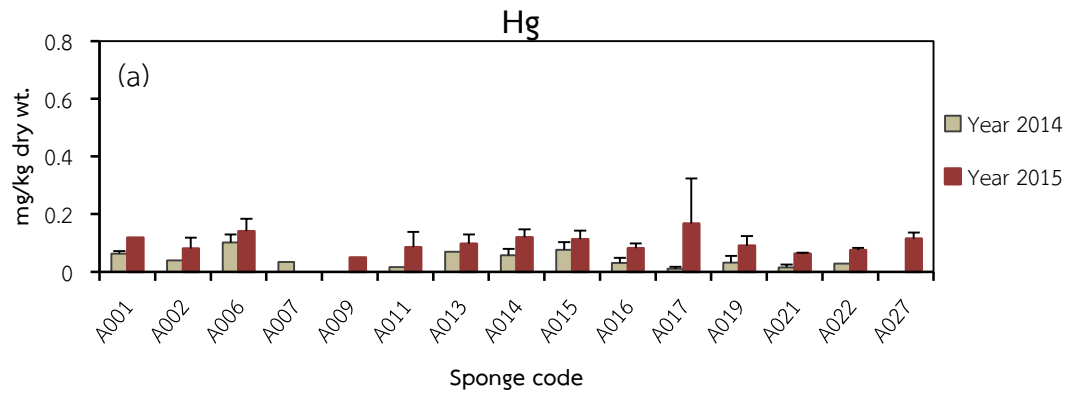
ภาพที่ 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



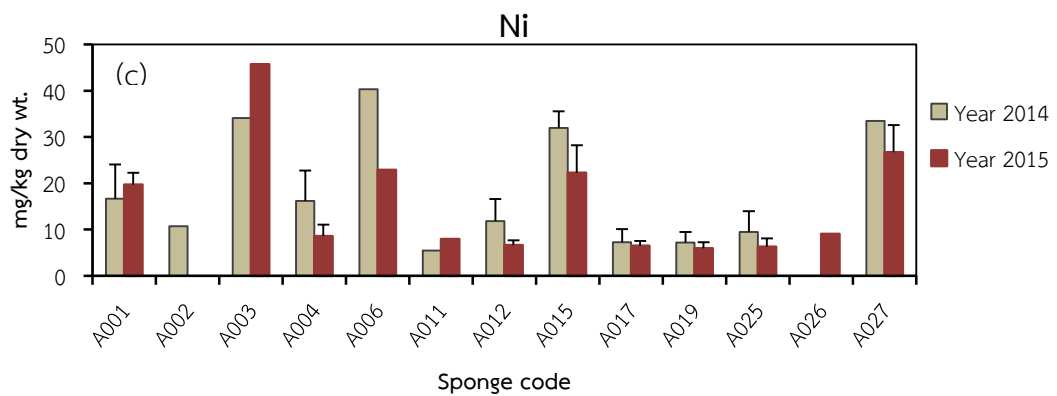
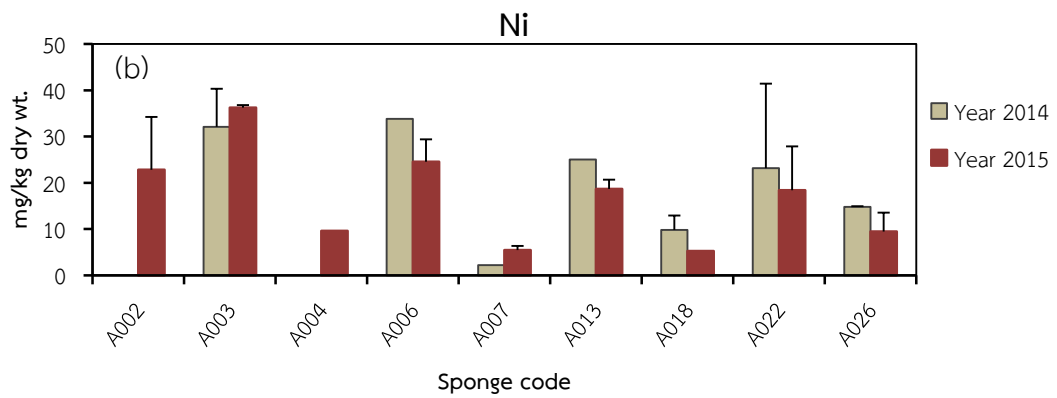
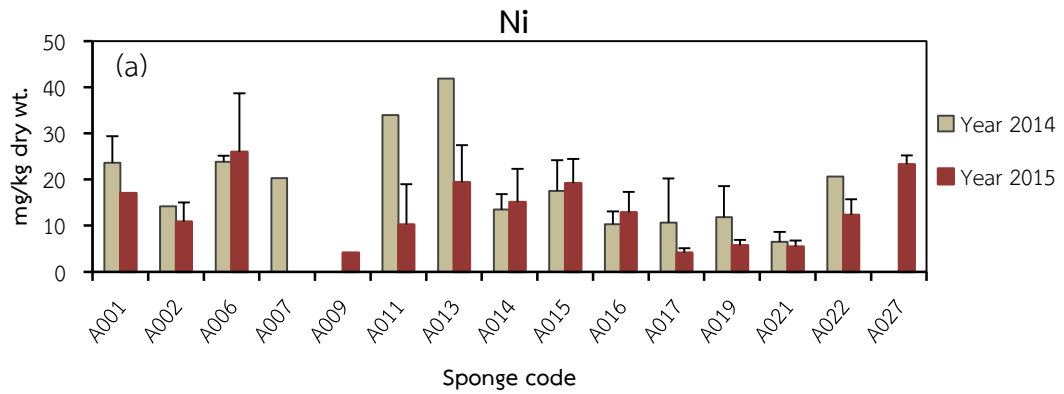
ภาพที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



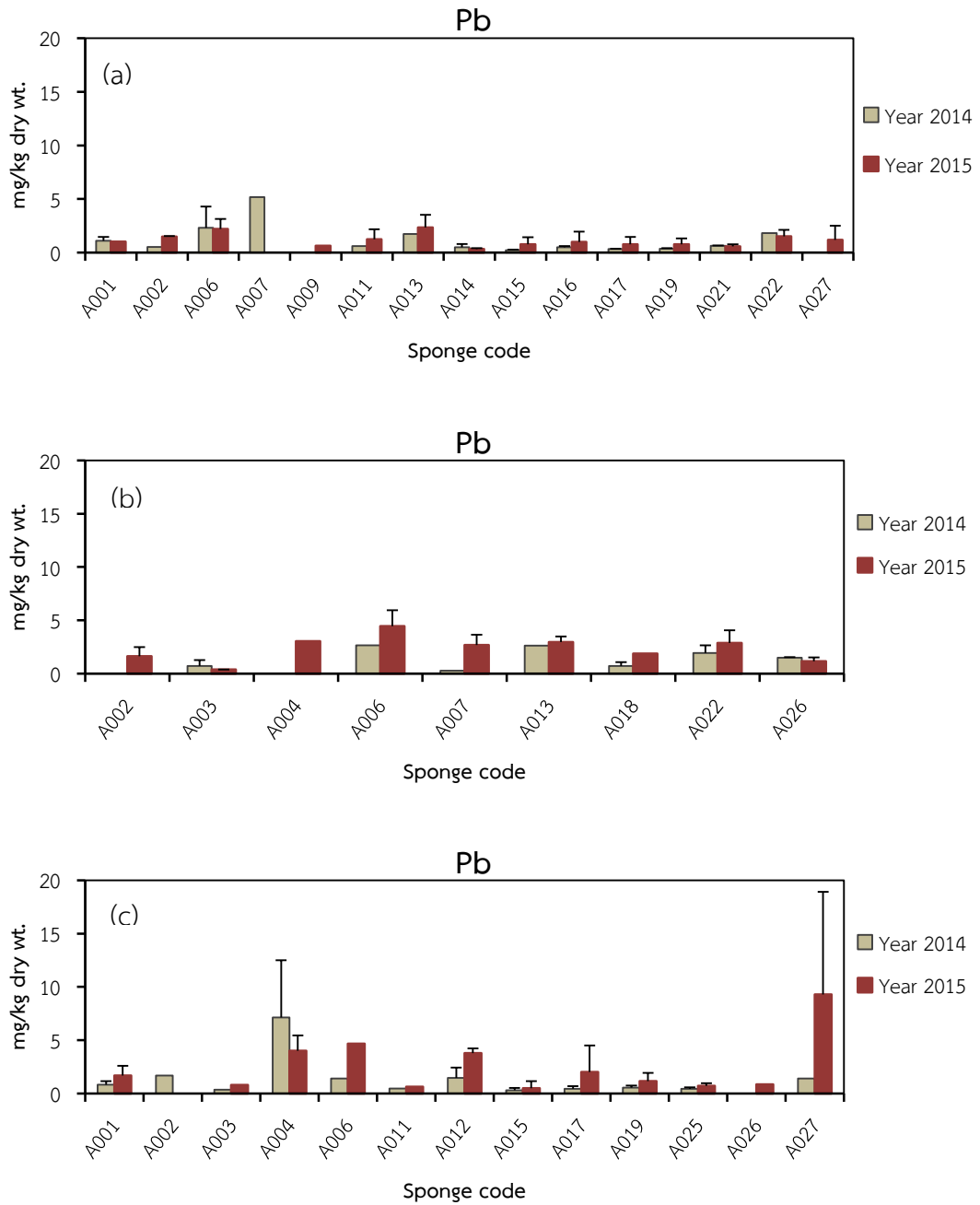
ภาพที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



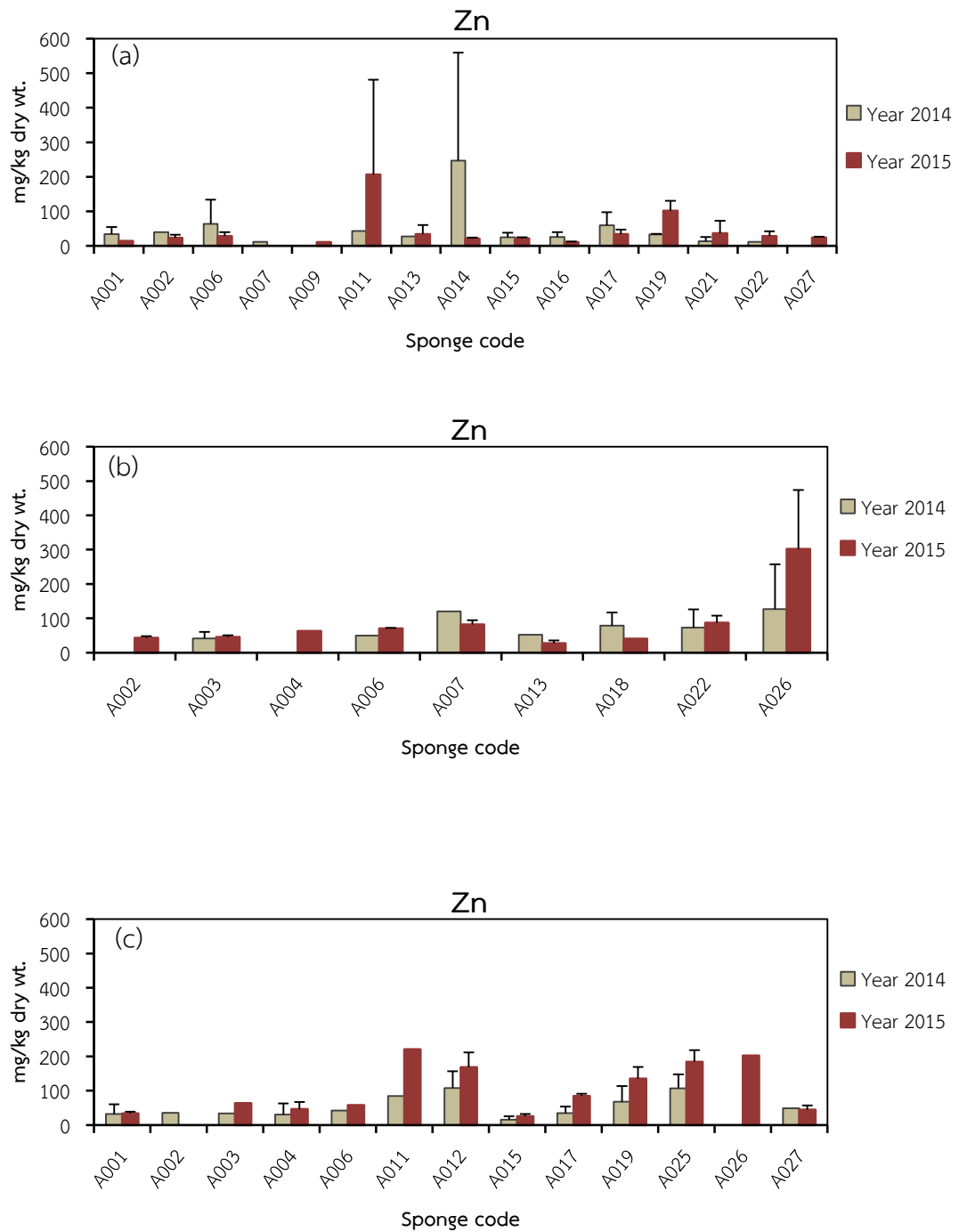
ภาพที่ 16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของนิเกิลในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



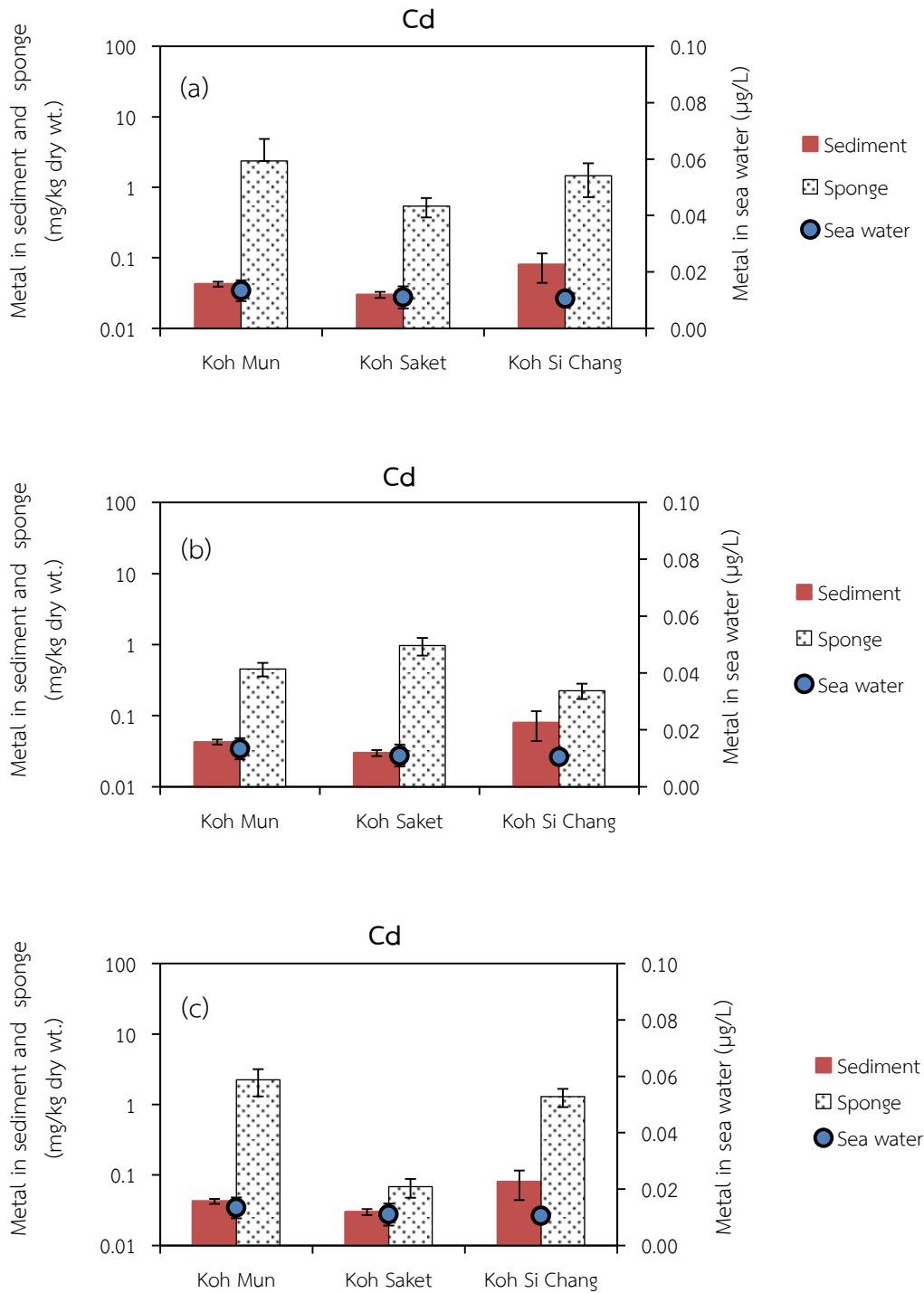
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง



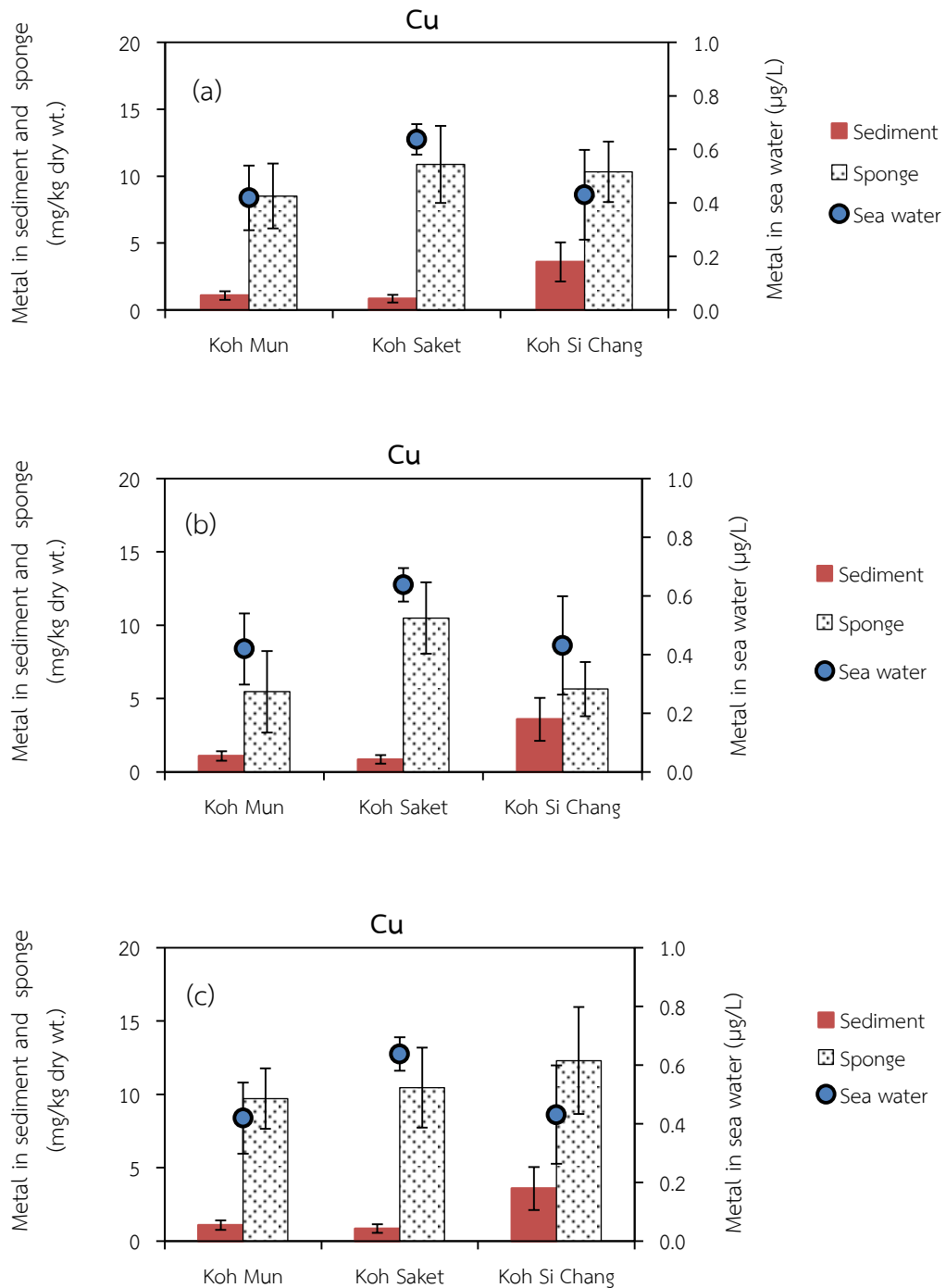
ภาพที่ 19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีในฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ (a) บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (b) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และ (c) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง

แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้พบว่าฟองน้ำทะเลแต่ละชนิดมีการสะสมโลหะหนักได้แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ แต่การจะชี้ชัดว่าฟองน้ำทะเลชนิดที่สะสมโลหะหนักไว้ในปริมาณมากๆ จะเป็นชนิดที่ดีและเหมาะสมกับการนำมาเป็นดัชนีชี้วัด (biomarker) ในการตรวจติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเล ก็ไม่น่าจะดีนัก เพราะว่าฟองน้ำทะเลที่สะสมโลหะหนักได้สูง ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของฟองน้ำเคลือบ คือ การเจริญเติบโตเป็นแบบเคลือบตามวัตถุเกาะติด (encrusting) เช่น ซากปะการัง และก้อนหินใต้ทะเล เป็นต้น การเก็บตัวอย่างค่อนข้างทำได้ยากลำบาก อาจจะมีการปนเปื้อนจากวัสดุที่ยึดเกาะได้ และถ้าเป็นชนิดที่เจริญอยู่บริเวณหน้าดินพื้นท้องทะเล มีโอกาสที่จะโดนตะกอนทับถมได้สูง ดังนั้นฟองน้ำทะเลที่น่าจะเหมาะสมกับการใช้เป็น biomarker จึงน่าจะเป็นชนิดที่มีการเจริญเติบโตแบบอื่น เช่น แบบกิ่งก้าน (branching) แบบก้อน (massive) แบบทรงกลม (sphere) หรือแบบฝังตัว (burrowing) ซึ่งการเจริญเติบโตจะสร้างท่อยึดยาวขึ้นจากลำตัวฟองน้ำ (Boury-Esnault and Rützler, 1997) การเก็บตัวอย่างจะทำได้ง่ายกว่าด้วย แต่ทั้งนี้ต้องเป็นฟองน้ำทะเลที่พบได้เป็นประจำในบริเวณนั้นๆ ด้วย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง ฟองน้ำทะเลที่พบได้บ่อยเป็นประจำ คือ ฟองน้ำครก; *Petrosia (Petrosia) sp.* “vase” รองลงมาคือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* ส่วนบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* และรองลงมาเป็นฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* ดังนั้นในการศึกษาเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเลทั้ง 3 บริเวณ คือ บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง และบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด นอกจากใช้ค่าเฉลี่ยโลหะหนักจากฟองน้ำทะเลทั้งหมดที่พบในบริเวณนั้นแล้ว ยังเลือกใช้ฟองน้ำทะเลชนิดที่พบบ่อยเป็นประจำของแต่ละพื้นที่อีกด้วย ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะใช้ค่าเฉลี่ยรวมของฟองน้ำทะเลทุกชนิด หรือฟองน้ำทะเลชนิดที่พบได้บ่อยก็ให้ผลเหมือนกัน และมีลักษณะเดียวกันทั้ง 3 บริเวณ คือ แคดเมียม ทองแดง ปรอท นิเกิล และสังกะสีพบความเข้มข้นในฟองน้ำทะเลสูงกว่าในดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 20 – ภาพที่ 21 ภาพที่ 23 และภาพที่ 25 – ภาพที่ 26) ตรงข้ามกับเหล็กและตะกั่ว พบในดินตะกอนสูงกว่าในฟองน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นกัน (ภาพที่ 22 และภาพที่ 24) การที่พบโลหะหนักในฟองน้ำทะเลสูงกว่าในดินตะกอนและในน้ำทะเล อาจเป็นไปได้ว่าฟองน้ำทะเลเป็นสัตว์อาศัยเกาะติดอยู่กับที่ กินอาหารโดยการกรองน้ำทะเลเข้าสู่ตัวตลอดเวลา ทำให้โลหะหนักซึ่งปนเปื้อนในน้ำทะเล และดินตะกอนเข้าสู่ตัวและสะสมในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลและในดินตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจากกระบวนการต่างๆทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นในทะเล เช่น การเจือจางด้วยน้ำทะเลจากนอกฝั่ง การจมตัว (sink) และการปลดปล่อย เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาของ Cebrian et al. (2007) ที่ได้สำรวจการสะสมโลหะ ทองแดง และตะกั่ว ในฟองน้ำทะเล 4 ชนิด บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และพบว่าฟองน้ำทะเลมีประสิทธิภาพในการสะสมทองแดงได้ดีกว่าตะกั่ว โดยพบทองแดงในฟองน้ำทะเลสูงกว่าในดินตะกอน แต่พบตะกั่วในดินตะกอนสูงกว่าในฟองน้ำทะเล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ โดยการศึกษาครั้งนี้นอกจากทองที่พบความเข้มข้นในฟองน้ำทะเลสูงกว่าในดินตะกอนแล้ว ยังมี แคดเมียม ปรอท นิเกิล และสังกะสี ส่วนโลหะที่พบความเข้มข้นในดินตะกอนสูงกว่าในฟองน้ำทะเลมี 2 ชนิด คือ ตะกั่วและเหล็ก ซึ่ง Rainbow and Phillips (1993) (อ้างใน Cebrian et al., 2007) ได้รายงานไว้ว่า กลไกในการสะสมโลหะหนักของ

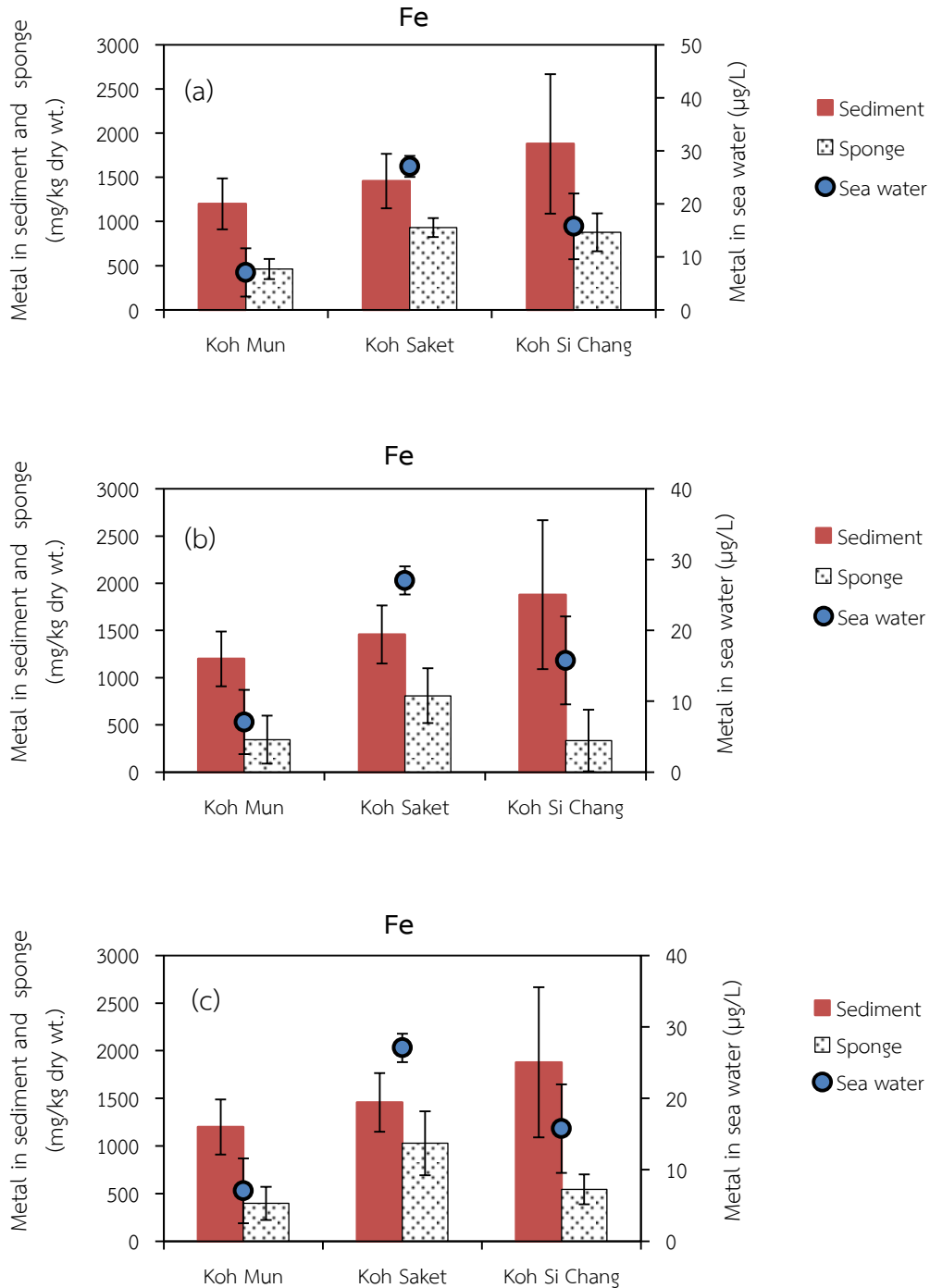
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการ คือ การควบคุม (regulation) และการสะสม (net accumulation) ซึ่งกระบวนการควบคุม เป็นความสามารถของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในการควบคุมเพื่อรักษาความเข้มข้นของโลหะในร่างกายให้อยู่ในระดับที่คงที่ บนพื้นฐานการเปลี่ยนแปลงของโลหะในสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวที่สามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้าง การสะสม จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการรับเข้า (uptake) โลหะสูงกว่าและไม่พอดีกัน (match) กับการขับออก (excretion) จึงเกิดการสะสมไว้ในร่างกาย ซึ่งจากการศึกษาของ Cebrian et al. (2007) พบว่าฟองน้ำ *Chondrosia reniformis*, *Phorbis tenacior* และ *Dysidea avara* สามารถรักษาหรือควบคุมระดับความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อเยื่อได้ดี คือไม่สะสมตะกั่วไว้สูงเกินกว่าระดับสูงสุดที่ปลอดภัย (threshold) โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม แต่ในขณะเดียวกันพวกมันกลับสามารถสะสมทองแดงได้ดี โดยเขาแนะนำว่าฟองน้ำทะเลที่จะนำมาใช้เป็นดัชนีตรวจติดตามโลหะหนักในทะเลได้ดี ควรจะเป็นชนิดที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณที่สอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม



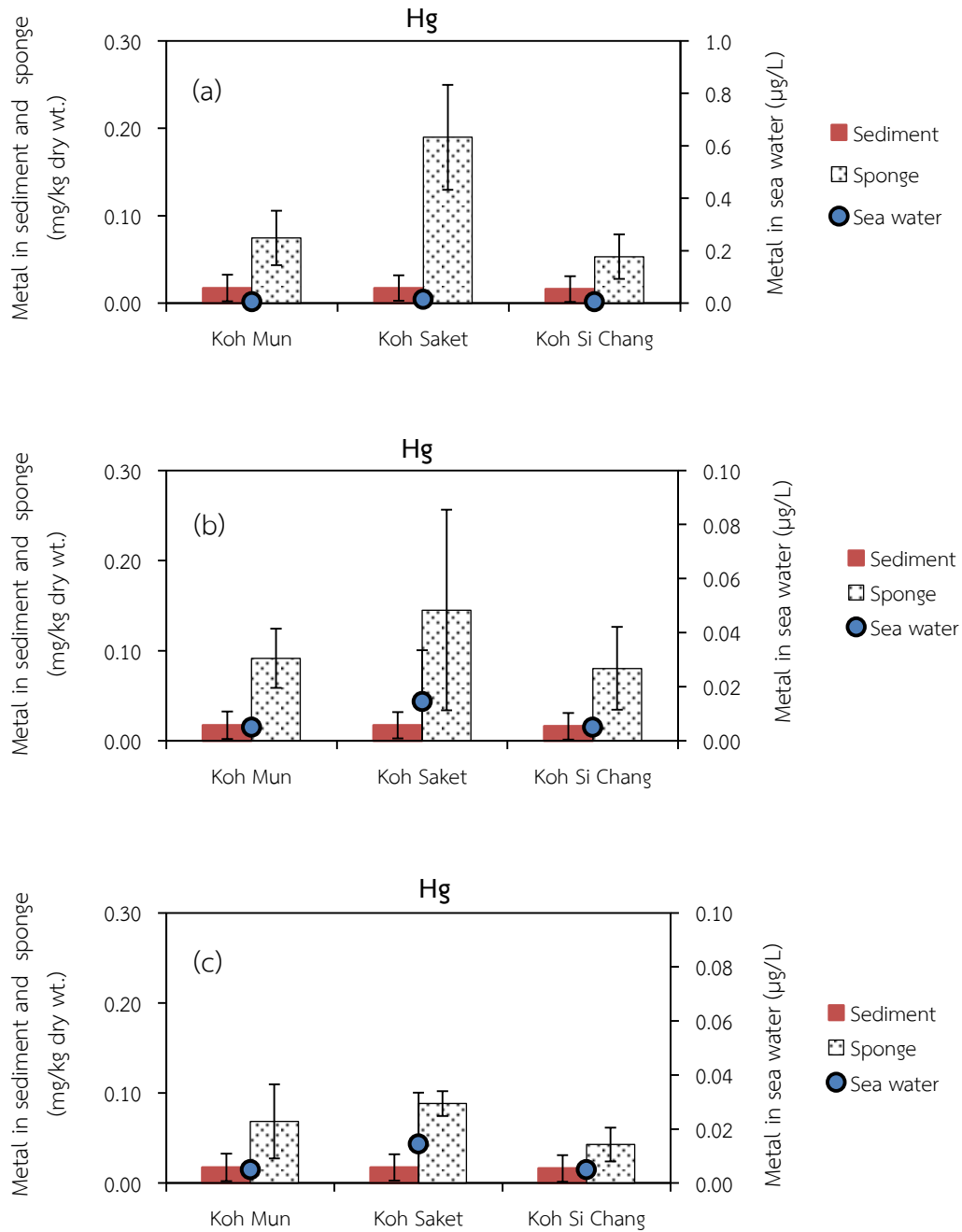
ภาพที่ 20 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิดในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia* (*Petrosia*) sp. และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria* (*Thalysias*) *reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)



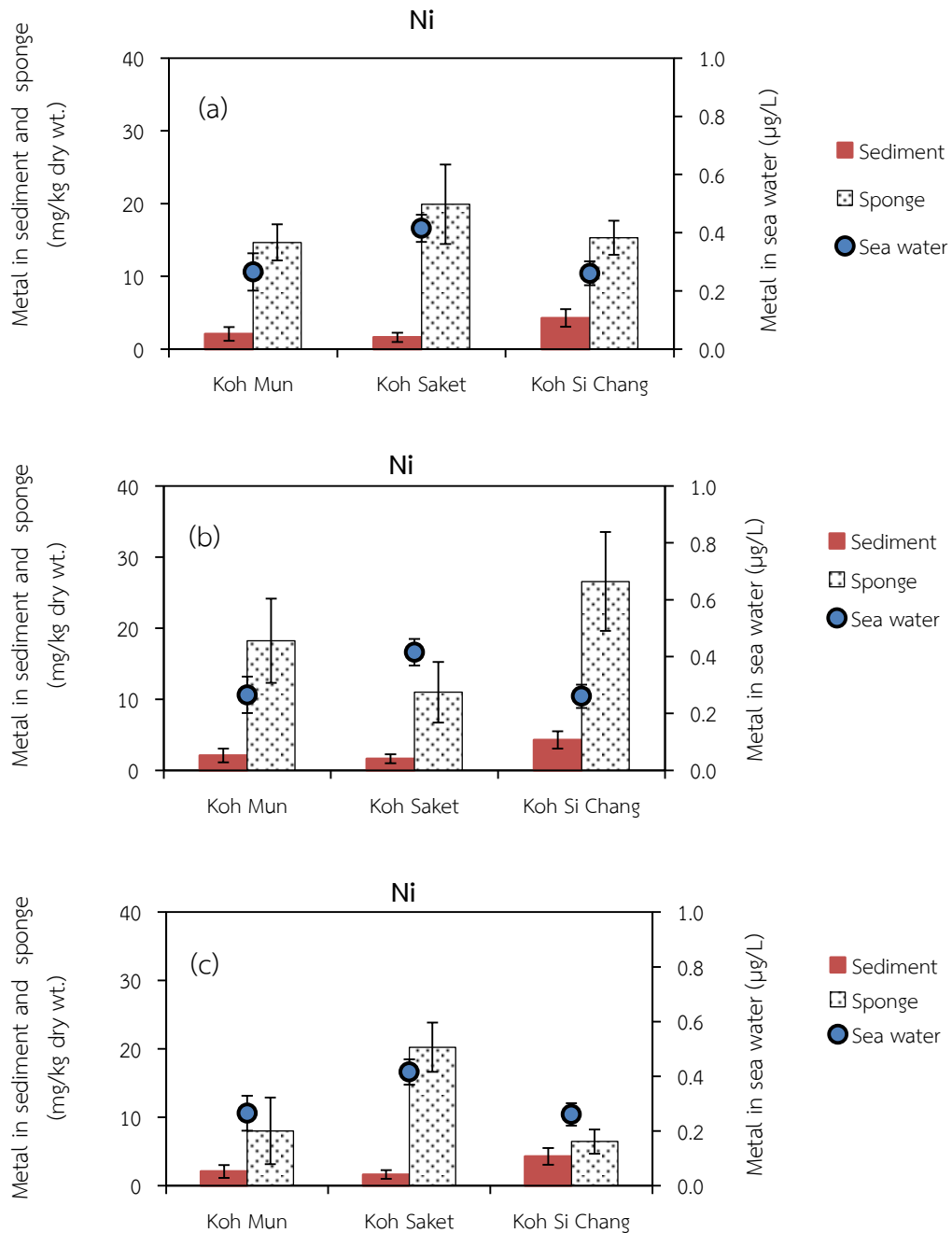
ภาพที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิดในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia (Petrosia) sp.* และเกาะสะเกิด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* และเกาะสะเกิด คือ ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)



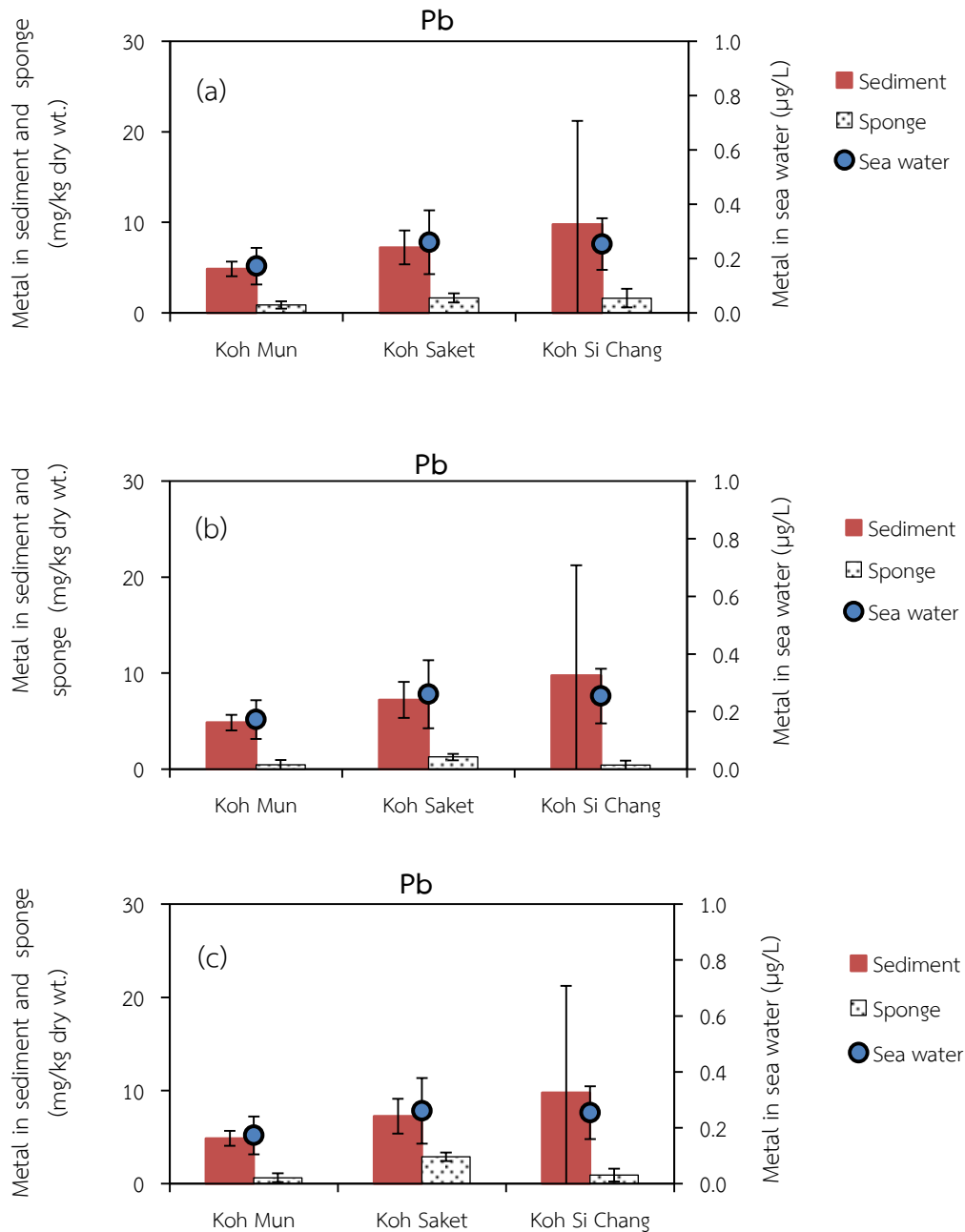
ภาพที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิด ในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia* (*Petrosia*) sp. และ เกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria* (*Thalysias*) *reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำ ท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)



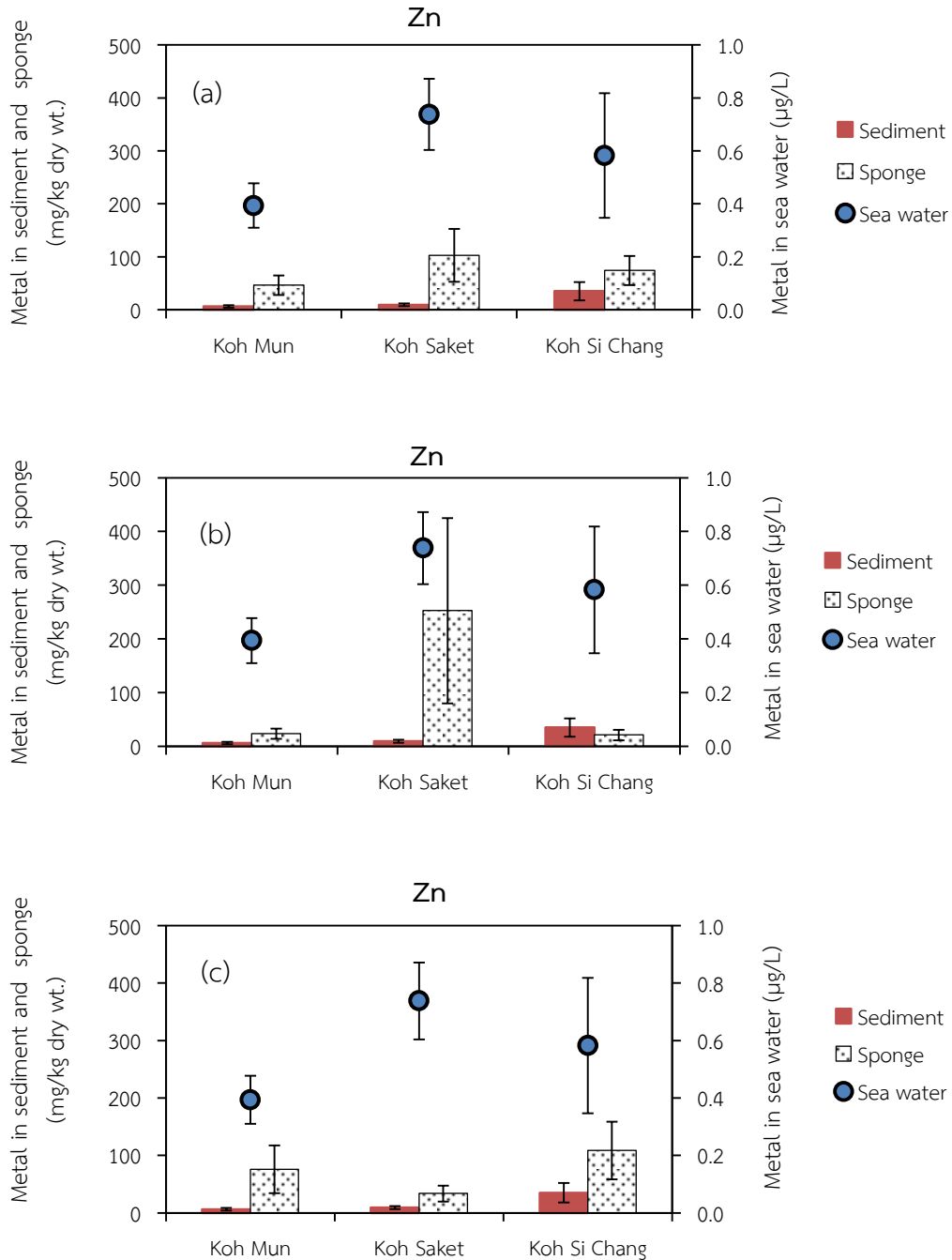
ภาพที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิด ในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia (Petrosia)* sp. และ เกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำ ท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของนิเกิลในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิด ในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia (Petrosia) sp.* และ เกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำ ท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)

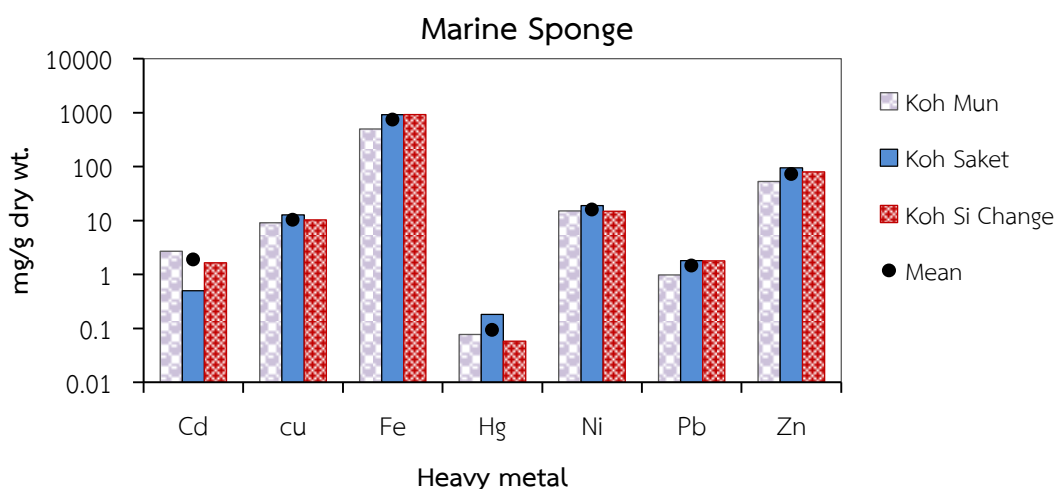


ภาพที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิด ในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia* (*Petrosia*) sp. และ เกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria* (*Thalysias*) *reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสีในฟองน้ำทะเล น้ำทะเล และดินตะกอน โดย (a) (b) และ (c) ต่างกันที่ชนิดของฟองน้ำทะเล โดย (a) ค่าเฉลี่ยจากฟองน้ำทะเลทุกชนิด ในบริเวณนั้น (b) เกาะมัน และเกาะสีซัง คือ ฟองน้ำครก, *Petrosia (Petrosia) sp.* และ เกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* (พบบ่อยที่สุด) และ (c) เกาะมัน เกาะสีซัง คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* และเกาะสะเก็ด คือ ฟองน้ำ ท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria* (พบบ่อยเป็นลำดับ 2)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก ปรอท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ดังแสดงในภาพที่ 27 พบว่า มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างพื้นที่ในส่วนของแคดเมียมและตะกั่ว คือ บริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน ฟองน้ำทะเลสามารถสะสม $Fe > Zn > Ni > Cu > Cd > Pb > Hg$ เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสีซัง มีลักษณะเหมือนกัน คือ $Fe > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg$ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของฟองน้ำทะเลทั้ง 3 บริเวณรวมกัน พบว่าฟองน้ำทะเลมีความสามารถในการสะสม $Fe > Zn > Ni > Cu > Cd > Pb > Hg$ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับที่พบในฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในฟองน้ำทะเล ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล

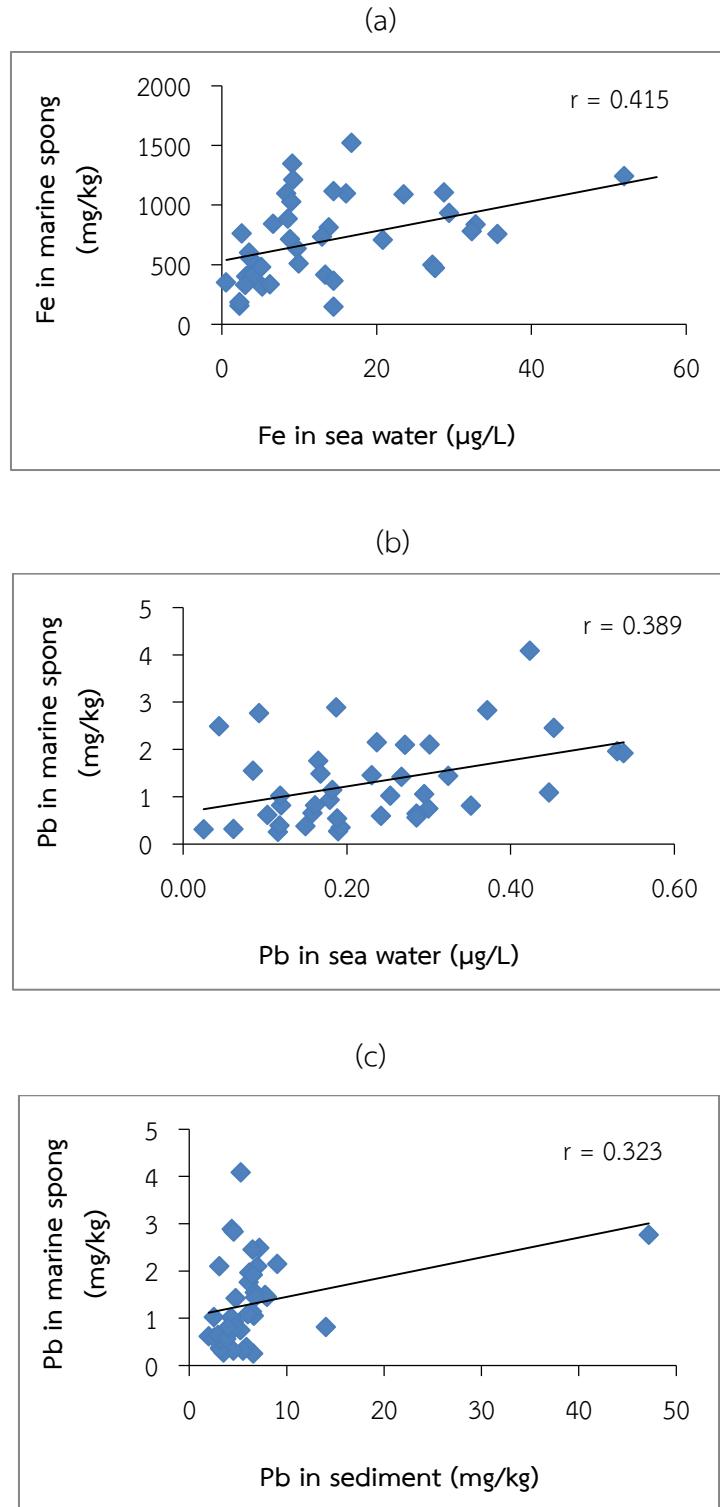
การศึกษาความสัมพันธ์ของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก ปรอท นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ระหว่างปริมาณที่พบในน้ำทะเล ในดินตะกอน และในฟองน้ำทะเล พบว่า แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่าง 3 ส่วน ($p > 0.05$) เหล็กและตะกั่ว ในน้ำทะเลไม่พบความสัมพันธ์กับในดินตะกอน ($p > 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับในฟองน้ำทะเล ($p < 0.05$) และตะกั่วในดินตะกอนยังมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับตะกั่วในฟองน้ำทะเลด้วย ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 28 แสดงว่าถ้าเหล็กมีความเข้มข้นสูงในน้ำทะเล ก็จะส่งผลต่อการสะสมเหล็กของฟองน้ำทะเลได้สูงเช่นกัน และในทำนองเดียวกันถ้าน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณนั้นมีการปนเปื้อนตะกั่วสูงก็ส่งผลให้ฟองน้ำทะเลมีความสามารถในการสะสมตะกั่วได้สูงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์กันทางบวกของโลหะหนักบางชนิดในฟองน้ำด้วย ได้แก่ ทองแดงกับเหล็ก ทองแดงกับนิกเกิล ทองแดงกับตะกั่ว เหล็กกับตะกั่ว เหล็กกับสังกะสี และปรอทกับนิกเกิล ซึ่งพบโลหะหนักเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันทางบวกในน้ำทะเลและดินตะกอนด้วย ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะถูกฟองน้ำทะเลรับเข้าสู่ตัวได้พร้อมกับเหล็กและตะกั่ว แต่อัตราการรับเข้าสู่สูงกว่าการขับออก จึงทำให้โลหะเหล่านี้ถูกสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อฟองน้ำได้สูงกว่าความเข้มข้นที่พบในสิ่งแวดล้อมรอบตัว ต่างจากเหล็กและตะกั่วซึ่งฟองน้ำทะเลอาจจะมีการขับออกได้ดีกว่าจึงทำให้ความเข้มข้นที่พบในฟองน้ำทะเลต่ำกว่าในความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวและมีความสัมพันธ์กันในทางบวกดังกล่าว

ตารางที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักระหว่างในน้ำทะเล ในดินตะกอนและในฟองน้ำทะเล

| | | Heavy metal in sea water | | | | | | Heavy metal in sediment | | | | | | Heavy metal in marine sponge | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|------------------------------|-------|--------|--------|--------|------|----|----|--|
| | | Cd | Cu | Fe | Ni | Pb | Zn | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn | |
| Heavy metal in sea water | Cd | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cu | .067 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fe | -.078 | .644** | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ni | -.034 | .414** | .100 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pb | .102 | .609** | .278 | .367* | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Zn | .040 | .478** | .216 | .248 | .275 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Heavy metal in sediment | Cd | .024 | -.211 | .420** | -.273 | .058 | -.082 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cu | -.039 | -.132 | .544** | -.175 | .103 | -.046 | .873** | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | Fe | .075 | .204 | .180 | .100 | .278 | .216 | .420** | .544** | 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Hg | .739** | .317* | .007 | .029 | .455** | .115 | .096 | .122 | .318* | 1 | | | | | | | | | | | |
| | Ni | -.217 | -.408 | -.100 | -.150 | -.137 | -.055 | .694** | .837** | .575** | -.151 | 1 | | | | | | | | | | |
| | Pb | -.120 | -.066 | .328* | -.020 | -.171 | -.056 | .511** | .612** | .009 | -.161 | .453** | 1 | | | | | | | | | |
| Zn | -.025 | -.035 | .174 | -.144 | .193 | .043 | .914** | .900** | .513** | .192 | .668** | .492** | 1 | | | | | | | | | |
| Heavy metal in marine sponge | Cd | .281 | -.118 | -.191 | -.135 | .167 | -.083 | .080 | -.022 | -.120 | .139 | -.074 | -.067 | -.016 | 1 | | | | | | | |
| | Cu | -.207 | .178 | .375* | .154 | .126 | .098 | .115 | .150 | .050 | -.058 | -.069 | .266 | .210 | -.175 | 1 | | | | | | |
| | Fe | -.054 | .242 | .415** | .109 | .319* | .262 | .147 | .138 | .104 | .055 | -.042 | .125 | .334* | -.104 | .343* | 1 | | | | | |
| | Hg | .061 | .415** | .358* | .478** | .126 | .218 | -.367* | -.278 | .051 | .261 | -.389* | -.022 | -.152 | -.143 | .205 | .134 | 1 | | | | |
| | Ni | -.344* | -.002 | .112 | .209 | -.215 | .215 | -.285 | -.106 | .052 | -.306 | -.021 | .095 | -.144 | -.216 | .386* | .180 | .582** | 1 | | | |
| | Pb | .041 | .414** | .530** | .201 | .389* | .212 | .449** | .331* | .335* | .176 | .042 | .323* | .481** | -.093 | .490** | .588** | .191 | .103 | 1 | | |
| Zn | -.069 | .369* | .456** | .107 | .174 | .282 | -.016 | -.005 | .184 | .078 | -.122 | -.061 | .111 | .104 | .140 | .330* | .234 | .133 | .259 | 1 | | |

** Correlation is significant at the 0.01 level

* Correlation is significant at the 0.05 level



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล (a) เหล็กในน้ำทะเลและฟองน้ำทะเล (b) ตะกั่วในน้ำทะเลและฟองน้ำทะเล (b) ตะกั่วในดินตะกอนและฟองน้ำทะเล

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การติดตามการสะสมของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของไทย พื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ เขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน (3 สถานี) เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด (2 สถานี) จังหวัดระยอง และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี (2 สถานี) โดยมีวิธีการศึกษา คือ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และฟองน้ำทะเล ใน 7 สถานี รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 7 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก ปรอท นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. น้ำทะเล มีการปนเปื้อน Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb และ Zn อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทย โดยความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่ ยกเว้น Zn มีความแตกต่างกันในบางสถานี ($p < 0.05$) บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ดมักพบโลหะหนักมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณอื่น โดยโลหะหนักส่วนใหญ่ ยกเว้น Cd มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง มีลักษณะเดียวกัน คือ $Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd$ (ไม่สามารถนำ Hg มาเทียบได้ เพราะค่าข้อมูลร้อยละ 98 มีค่าต่ำกว่าค่า MDL คือ $0.1 \mu\text{g/L}$)
2. ดินตะกอน พบ Cd, Cu, Hg, Ni, Pb และ Zn ในดินตะกอน มีค่าต่ำกว่า ERL (effect range low) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานดินตะกอนทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย และ Fe ซึ่งในมาตรฐานดังกล่าวไม่ได้กำหนดค่าไว้ แต่ค่าที่พบยังต่ำกว่าค่าของ average shale โดยความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันในบางสถานี ($p < 0.05$) ยกเว้น Hg มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 ปี ($p < 0.05$) คือ พบความเข้มข้นในปี พ.ศ. 2558 สูงกว่าในปี พ.ศ. 2557 โดยเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง สถานีด้านทิศเหนือ (CHI2) มักพบโลหะหนักมีความเข้มข้นสูงกว่าสถานีอื่น (ยกเว้น Hg) โลหะหนักส่วนใหญ่ มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันและกับสารอินทรีย์สูง ($p < 0.01$) ยกเว้นปรอท พบมีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำเฉพาะกับเหล็กเท่านั้น ($p < 0.05$) การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณเขตอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน เขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสีชัง มีลักษณะเดียวกัน คือ พบความเข้มข้น $Fe > Zn > Pb > Ni > Cu > Cd > Hg$
3. ฟองน้ำทะเล ที่นำมาศึกษามีจำนวน 20 ชนิด รวมทั้งสิ้น 184 ตัวอย่าง พบว่ามีการสะสมโลหะหนัก ได้แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ การเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในฟองน้ำทะเลกับความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม (ในน้ำทะเลและดินตะกอน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของฟองน้ำทั้งหมดและฟองน้ำทะเลที่พบได้บ่อยเป็นประจำในบริเวณนั้น พบว่ามีความสอดคล้องกัน คือ Cd, Cu, Hg, Ni, และ Zn พบความเข้มข้นในฟองน้ำทะเลสูงกว่าความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม ส่วน Fe และ Pb พบความเข้มข้นในดินตะกอนสูงกว่าในฟองน้ำทะเล ดังนั้นในการเลือกชนิดของฟองน้ำทะเลเพื่อเป็นดัชนีชี้วัด (biomarker) ในการตรวจ

- ติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเล ฟองน้ำทะเลที่พบได้บ่อยเป็นประจำในพื้นที่นั้นๆจึงน่าจะมีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในการศึกษาพบว่า บริเวณเขตอนุรักษั ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือหมู่เกาะสี่ซัง ฟองน้ำทะเลที่พบได้บ่อยเป็นประจำเป็นฟองน้ำชนิดเดียวกัน คือ ฟองน้ำครก; *Petrosia (Petrosia) sp. "vase"* รองลงมา คือ ฟองน้ำเชือก, *Clathria (Thalysias) reinwardti* ส่วนบริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด เป็นฟองน้ำลูกกอล์ฟ, *Paratetilla bacca* และรองลงมาเป็นฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง, *Oceanapia sagittaria*
4. การสะสมแคดเมียม ทองแดง เหล็ก ปรอท นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในฟองน้ำทะเล พบว่าบริเวณเขตอนุรักษั ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน ฟองน้ำทะเลสามารถสะสม $Fe > Zn > Ni > Cu > Cd > Pb > Hg$ บริเวณเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสะเก็ด และเขตอุตสาหกรรมและท่าเรือเกาะสี่ซัง พบ $Fe > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg$ และเมื่อรวมทั้ง 3 บริเวณ พบในลักษณะเดียวกับที่พบในฟองน้ำทะเลบริเวณเขตอนุรักษั ทรัพยากรธรรมชาติหมู่เกาะมัน คือ $Fe > Zn > Ni > Cu > Cd > Pb > Hg$

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้เปรียบเสมือนเป็นการ Pre-test ของการศึกษาการสะสมโลหะหนักใน ฟองน้ำทะเลชนิดต่างๆ เนื่องจากยังไม่พบว่ามีรายงานการศึกษาในประเทศไทยมาก่อนหน้านี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นพื้นฐานที่ดีกับการศึกษาต่อไปในอนาคต
2. ควรจะได้มีการศึกษาในลักษณะเช่นนี้ซ้ำในพื้นที่อื่นๆด้วย เพื่อจะได้เป็นฐานข้อมูล สำหรับประเทศไทย
3. การศึกษาติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของสารใดสารหนึ่งในฟองน้ำครั้งต่อไป ควร เลือเฉพาะฟองน้ำชนิดที่พบได้บ่อยเป็นประจำ 2-3 ชนิด เท่านั้น และควรทำซ้ำให้มาก ขึ้น เพื่อถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูล

ผลผลิต

การตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการอยู่ระหว่างดำเนินการ

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ชนิษฐ พานชูวงศ์. 2550. พรอท ตะกั่ว สารหนู โลหะหนักภัยใกล้ตัว. นิตยสารหมอชาวบ้าน เล่ม:334; 02/2550.
- ชนิษฐา ดีประหลาด. 2540. สารเคมีจากฟองน้ำทะเลของไทย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. เกษ์ชกรรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 99 น.
- ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ อาวุธ หมั่นหาผล และแววตา ทองระอา. 2552. การประเมินความเสี่ยงของสารมลพิษทางทะเล ในพื้นที่อุตสาหกรรมชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 101 น.
- ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ อาวุธ หมั่นหาผล และแววตา ทองระอา. 2548. การสำรวจคุณภาพน้ำทะเลในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 51 น.
- ปิยะวรรณ ศรีวิลาศ รวีวรรณ วัฒนดิถก และกานต์พิชชา ใจดี. 2550. การตรวจหาชนิดและปริมาณกรดไขมันในฟองน้ำและแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในฟองน้ำทะเลบางชนิด. รายงานการวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา. 94 น.
- ผู้จัดการออนไลน์. 2547. โลกของฟองน้ำ. ค้นได้จาก <http://www.manager.co.th/Travel/ViewNews.aspx?NewsID=9470000000778> เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2554.
- เพชร เพ็ชรประดับ, ม.ป.ป. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพจากทรัพยากรฟองน้ำในทะเลอันดามัน. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง. 7 น.
- พรพรรณ พนาปวุฒิกุล, 2549. โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. ค้นได้จาก <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7>. เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2554.
- พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล. ม.ป.ป. โลหะหนัก : สถานะภาพการปนเปื้อนในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ของไทย. ค้นได้จาก <http://www.fisheries.go.th/industry/news/art2Cadmium.htm> เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2554.
- รวีวรรณ วัฒนดิถก และวรรณภา กสิฤกษ์. 2552. ฟองน้ำทะเลจากอ่าวไทยแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ. รายงานการวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา. 83 น.
- ฤทธิรงค์ พรหมมาศ. 2550. สารยับยั้งจุลชีพจากฟองน้ำทะเลและแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 128 น.
- แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ และอาวุธ หมั่นหาผล. 2552. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะหนักในอาหารทะเลในพื้นที่อุตสาหกรรมชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 87 น.
- แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ และอาวุธ หมั่นหาผล. 2549. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 117 น.

- แหวดตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุตาวรรณ และอาวูธ หมั่นทาผล. 2548. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารปรอทในดินตะกอนและน้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 71 น.
- สุเมตต์ ปุจฉากการ และสุชา มั่นคงสมบูรณ์. 2550. ฟองน้ำทะเล เอกโคโนเดิร์ม และเพรียงหัวหอม บริเวณเกาะครามและเกาะใกล้เคียง. โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี. บริษัทเวิร์ค สแควร์ จำกัด. กรุงเทพฯ. 74 น.
- สุเมตต์ ปุจฉากการ สุชา มั่นคงสมบูรณ์ กิติธร สรพานิช และชุติวรรณ เดชสกุลวัฒนา. 2551. ความหลากหลายทางชีวภาพของฟองน้ำจากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย: จังหวัดชลบุรีและระยอง. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 74 น.
- สหรัฐ ธีระคัมพร. 2548. ฟองน้ำทะเลในอันดับ Haplosclerida ในแนวปะการังบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- American Public Health Association - APHA. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater including Sediment and Sludge (18th ed.)*. American Public Health Association, American Water Works Association and the Water Environment Federation, Washington DC., USA.
- Berthet, B., Mouneyrac, C., Pérez, T. and Amiard-Triquet, C. 2005. Metallothionein concentration in sponge (*Spongia officinalis*) as a biomarker of metal contamination. Available online at www.sciencedirect.com
- Boury-Esnault, N. and Rützler. (eds.) 1997. Thesaurus of sponge morphology. *Smithsonian Contributions to Zoology* No. 596. 55 p.
- Carballo, J.L., Naranjo, S.A. and Gómez-García, J.C. 1996. Use of marine sponges as stress indicators in marine ecosystems at Algeciras Bay (Southern Iberian Peninsula). *Mar Ecol Prog Ser.* 135: 109-122.
- Cebrian, E., Uriz, M.J. and Turon, X. 2007. Sponges as biomonitors of heavy metals in spatial and temporal surveys in northwestern Mediterranean: multispecies comparison. *Environ Toxicol and Chem* 26(11): 2430-2439.
- Cebrian, E., Agell, G. Martí, R. and Uria, M.J. 2006. Response of the Mediterranean sponge *Chondrosia reniformis* Nardo to copper pollution. *Environmental Pollution* 141, 452-458.
- Hansen, I.V., Weeks, J.M., and Depledge, M.H. 1995. Accumulation of copper, zinc, cadmium and chromium by the marine sponge *Halichondria panacea* Pallas and the implications for biomonitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 31 (Nos 1-3) 133-138.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press.
- Huizenga, D.L. 1981. *The cobalt-APDC coprecipitation technique for the preconcentration of trace metal sample*. Rhode Island: Graduate school of oceanography, University of Rhode Island.

- Loring, D.H. and Rantala, R.T.T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Sci. Rev.* 32: 235-283.
- Müller, W. E. G. and Müller, I. 1998. Sponge cells and tissue *in vitro*: useful biomarkers of aquatic pollution. In: Wells, P. G., Lee, K. and Blaise, C. (Eds.), *Microscale aquatic toxicology-advances, techniques and practice*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 97-112.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.). *Method of soil analysis, Part II. Chemical and microbiological properties*. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Publishers, Madison, Wisconsin, USA. p. 539-579.
- Pan, K., Lee, O.O., Qian, P. and Wang, W. 2011. Sponges and sediments as monitoring tools of metal contamination in the eastern coast of the Red Sea, Saudi Arabia. *Marine Pollution Bulletin* 62(2011) 1140-1146.
- Pérez, et al., 2005. Effects of 12 years' operation of a sewage treatment plant on trace metal occurrence within a Mediterranean commercial sponge (*Spongia officinalis*, Demospongiae) *Mar. Pollut. Bull.* 50:301-309
- Pollution Control Department. 2006. *Proposed marine and coastal sediment quality guidelines*. Pollution Control Department, Bangkok.
- Pujol, E.C. 2007. *Sublethal effects of metal contamination on marine sponges: responses at different biological levels*. Tesi doctor of Universitat de Barcelona.
- Quémerais, B. and Cossa, D. 1997. Procedures for sampling and analysis of mercury in natural waters. Environment Canada – Quebec Region, Environmental Conservation, St. Lawrence Centre. *Scientific and Technical Report ST-31E*, 34 pages.
- Rainbow, P.S. and Phillips, D.J.H. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Mar Pollut Bull* 26:593-601.
- Sará, M. and Vacelet, J. 1973. Ecologie des Démosponges, *Traité de Zoologie: Spongiaires*. In: Grassé, P. P. (Ed.), *Tome III (1)*. Masson, Paris, pp. 462-576.
- Sheldrick, B.H. and Wang, C. 1993. Particle size distribution. In: *Carter, M.R. (ed.). Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton: Lewis Publishers. p. 499-511.
- Thongra-ar, W., Musika, C., Wongsudawan, W. and Munhapol, A. 2008. Heavy metals contamination in sediments along the eastern coast of the Gulf of Thailand. *EnvironmentAsia*, 1:37-45.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America*, 72:175-192.

- Venkateswara Rao, J., Srikanth, K., Pallela, R. and Gnaneshwar Rao, T. 2009. The use of marine sponge, *Haliclona tenuiramosa* as bioindicator to monitor heavy metal pollution in the coasts of Gulf of Mannar, India. *Environ Monit Assess.* 156:451-459.
- Venkateswara Rao, J., Kavitha, P., Chakra Reddy, N. and Gnaneshwar Rao, T. 2006. *Petrosia testudinaria* as a biomarker for metal contamination at Gulf of Mannar, southeast coast of India. *Chemosphere*, 65, 634-638.
- Verdenal, B., Diana, C., Arnoux, A. and Vacelet, J. 1990. Pollutant levels in Mediterranean commercial sponges. In: Rützler, K. (Ed.), *New perspectives in sponge biology*. Smithsonian Institute Press, Washington, DC, pp. 516-524.
- Vogel, S. 1977. Current-induced flow through living sponges in nature. *Proceedings of National Academy of Science of the USA* 74, 2069-2071.
- Wagner, C., Steffen, R., Koziol, C., Batel, R., Lacorn, M., Steinhart, H., Simat, T. and Müller, W.E.G. 1998. Apoptosis in marine sponges: a biomarker for environmental stress (cadmium and bacteria) *Marine Biology*, 131: 411-421.
- Waldichuk, M. 1985. Biological availability of metals to marine organisms. *Mar. Pollut. Bull.* 16: 7-11.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 คุณภาพน้ำทะเลบางประการ ในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557

| Date | Station | Depth (m) | Water quality | | | | |
|-----------|---------|--------------|---------------|--------------------|-----|--------------|--------------|
| | | | Temp. (°C) | Salinity (ppt.) | pH | DO (mg/L) | SS (mg/L) |
| Jan. 2014 | RC 1 | 10.6 | 25.6 | 31 | 8.3 | 7.0 | 13 |
| | RC 2 | 8.7 | 25.0 | 31 | 8.3 | 7.1 | 12 |
| | RC 3 | 5.2 | 25.1 | 31 | 8.3 | 7.2 | 12 |
| | RI 1 | 3.3 | 24.9 | 32 | 8.3 | 7.4 | 13 |
| | RI 2 | 4.5 | 25.4 | 32 | 8.3 | 7.5 | 15 |
| | CHI 1 | 4.1 | 25.6 | 31 | 8.3 | 6.2 | 14 |
| | CHI 2 | - | - | - | - | - | - |
| Oct. 2014 | RC 1 | 9.3 | 30.8 | 30 | 8.3 | 5.7 | 13 |
| | RC 2 | 4.3 | 30.8 | 30 | 8.3 | 5.9 | 12 |
| | RC 3 | 5.3 | 31.0 | 30 | 8.3 | 6.3 | 10 |
| | RI 1 | 4.5 | 30.0 | 30 | 8.3 | 6.3 | 15 |
| | RI 2 | 5.1 | 30.3 | 30 | 8.3 | 6.9 | 18 |
| | CHI 1 | 5.0 | 30.1 | 30 | 8.3 | 8.2 | 12 |
| | CHI 2 | 4.9 | 29.9 | 33 | 8.2 | 6.1 | 13 |
| Dec. 2014 | RC 1 | 4.3 | 29.0 | 30 | 8.4 | 7.1 | 12 |
| | RC 2 | 2.6 | 29.0 | 30 | 8.4 | 7.6 | 11 |
| | RC 3 | 5.6 | 28.5 | 30 | 8.4 | 6.9 | 10 |
| | RI 1 | 5.2 | 28.4 | 28 | 8.4 | 6.4 | 16 |
| | RI 2 | 4.1 | 28.0 | 28 | 8.4 | 6.3 | 16 |
| | CHI 1 | 7.2 | 27.3 | 30 | 8.4 | 6.3 | 16 |
| | CHI 2 | 5.0 | 27.5 | 30 | 8.4 | 6.3 | 13 |

หมายเหตุ: * ทะเลมึลึ้นลมแรง ไม่สามารถออกเรือเก็บตัวอย่างได้

ตารางที่ ก2 คุณภาพน้ำทะเลบางประการ ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ.
2558

| Date | Station | Depth (m) | Water quality | | | | |
|-----------|---------|--------------|---------------|--------------------|-----|--------------|--------------|
| | | | Temp. (°C) | Salinity (ppt.) | pH | DO (mg/L) | SS (mg/L) |
| Feb. 2015 | RC 1 | 4.9 | 29 | 30 | 8.3 | 6.5 | 11 |
| | RC 2 | 1.8 | 29 | 30 | 8.3 | 6.9 | 12 |
| | RC 3 | 2.8 | 29 | 30 | 8.3 | 6.4 | 16 |
| | RI 1 | 2.5 | 30 | 30 | 8.2 | 5.9 | 14 |
| | RI 2 | 1.3 | 30 | 30 | 8.3 | 6.2 | 14 |
| | CHI 1 | 4.8 | 28 | 31 | 8.3 | 6.3 | 10 |
| | CHI 2 | 5.1 | 28 | 31 | 8.3 | 6.9 | 10 |
| May 2015 | RC 1 | 4.7 | 32 | 30 | 8.6 | 5.6 | 12 |
| | RC 2 | 3.6 | 32 | 30 | 8.6 | 5.6 | 14 |
| | RC 3 | 4.2 | 32 | 30 | 8.6 | 5.9 | 14 |
| | RI 1 | 3.2 | 32 | 30 | 8.6 | 5.3 | 18 |
| | RI 2 | 2.7 | 32 | 30 | 8.6 | 5.2 | 17 |
| | CHI 1 | 4.2 | 31 | 30 | 8.6 | 5.9 | 14 |
| | CHI 2 | 3.8 | 31 | 30 | 8.6 | 6.0 | 15 |
| Nov. 2015 | RC 1 | 4.9 | 31 | 30 | 8.2 | 5.3 | 27 |
| | RC 2 | 3.5 | 31 | 30 | 8.2 | 5.4 | 27 |
| | RC 3 | 3.8 | 32 | 30 | 8.3 | 5.9 | 22 |
| | RI 1 | 1.7 | 32 | 30 | 8.3 | 6.7 | 26 |
| | RI 2 | 1.5 | 32 | 30 | 8.3 | 6.9 | 28 |
| | CHI 1 | 5.1 | 30 | 31 | 8.3 | 6.1 | 23 |
| | CHI 2 | 4.4 | 31 | 31 | 8.3 | 6.4 | 20 |

ตารางที่ ก3 คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557

| Date | Station | pH | Organic matter (%) | Particle size distribution | | | Texture Class |
|-----------|---------|---------|--------------------|----------------------------|----------|----------|---------------|
| | | | | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | |
| Jan. 2014 | RC 1 | 8.5±0.2 | 1.67±0.20 | 87.8±4.4 | 6.2±4.3 | 6.0±0.6 | loamy sand |
| | RC 2 | 8.6±0.2 | 1.02±0.37 | 90.8±3.6 | 3.2±3.2 | 6.1±0.5 | Sand |
| | RC 3 | 8.9±0.0 | 0.66±0.11 | 92.1±2.1 | 1.8±1.9 | 6.1±0.2 | Sand |
| | RI 1 | 9.0±0.0 | 0.43±0.03 | 94.8±1.0 | 0.04±0.9 | 5.2±0.1 | Sand |
| | RI 2 | 8.6±0.1 | 0.87±0.39 | 86.8±3.5 | 5.9±2.9 | 7.3±0.6 | loamy sand |
| | CHI 1 | 8.1±0.7 | 0.99±0.05 | 90.8±1.0 | 3.5±1.2 | 5.7±0.2 | Sand |
| | CHI 2* | - | - | - | - | - | - |
| Oct. 2014 | RC 1 | 9.0±0.0 | 0.46±0.05 | 96.7±0.6 | 1.7±0.6 | 1.7±0.6 | sand |
| | RC 2 | 8.9±0.1 | 0.43±0.09 | 96.4±0.6 | 1.7±0.6 | 2.0±0.0 | sand |
| | RC 3 | 8.9±0.2 | 0.48±0.26 | 95.7± 2.0 | 3.0±2.0 | 1.3±0.6 | sand |
| | RI 1 | 8.8±0.1 | 0.42±0.02 | 97.3±0.6 | 1.7±0.6 | 1.0±0.0 | sand |
| | RI 2 | 8.6±0.1 | 0.38±0.05 | 96.7±0.6 | 2.3±0.6 | 1.0±0.0 | sand |
| | CHI 1 | 8.8±0.1 | 0.81±0.25 | 94.8±1.9 | 2.4±1.3 | 2.8±0.7 | sand |
| | CHI 2 | 8.6±0.1 | 2.10±0.5 | 97.7±0.6 | 1.3±0.6 | 1.0±0.0 | sand |
| Dec. 2014 | RC 1 | 8.8±0.2 | 0.50±0.39 | 93.7±2.1 | 3.0±1.0 | 3.3±1.2 | sand |
| | RC 2 | 9.2±0.1 | 0.72±0.34 | 96.4±0.6 | 1.7±0.6 | 2.0±0.0 | sand |
| | RC 3 | 9.2±0.1 | 0.23±0.08 | 96.0±1.0 | 1.7±1.5 | 2.3±0.6 | sand |
| | RI 1 | 9.0±0.0 | 0.18±0.04 | 95.0±0.0 | 2.7±1.2 | 2.3±1.2 | sand |
| | RI 2 | 8.8±0.0 | 0.32±0.23 | 95.3±0.6 | 1.7±0.6 | 3.0±0.0 | sand |
| | CHI 1 | 9.0±0.1 | 0.60±0.55 | 94.3±0.6 | 2.7±0.6 | 3.0±0.0 | sand |
| | CHI 2 | 8.9±0.1 | 0.97±0.39 | 93.3±0.6 | 4.0±1.0 | 2.7±0.6 | sand |

หมายเหตุ: * ทะเลมึล้นลมแรง ไม่สามารถออกเรือเก็บตัวอย่างได้

ตารางที่ ก4 คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน
พ.ศ. 2558

| Date | Station | pH | Organic matter (%) | Particle size distribution | | | Texture Class |
|-----------|---------|---------|--------------------|----------------------------|----------|----------|---------------|
| | | | | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | |
| Feb. 2015 | RC 1 | 8.7±0.1 | 0.54±0.03 | 94.7±1.5 | 2.0±1.0 | 3.3±0.6 | sand |
| | RC 2 | 8.7±0.0 | 0.69±0.14 | 95.0±1.8 | 2.0±1.7 | 3.0±0.0 | sand |
| | RC 3 | 8.7±0.1 | 0.56±0.10 | 94.0±1.8 | 2.0±1.0 | 4.0±1.0 | sand |
| | RI 1 | 8.6±0.1 | 0.49±0.10 | 93.0±1.7 | 4.0±1.7 | 3.0±0.0 | sand |
| | RI 2 | 8.7±0.1 | 0.55±0.04 | 96.0±0.0 | 1.0±0.0 | 3.0±0.0 | sand |
| | CHI 1 | 8.4±0.2 | 1.56±0.03 | 90.0±5.2 | 6.7±5.5 | 3.3±0.6 | sand |
| | CHI 2 | 8.6±0.0 | 1.35±0.27 | 92.7±2.3 | 4.0±1.7 | 3.3±0.6 | sand |
| May. 2015 | RC 1 | 8.5±0.1 | 0.65±0.23 | 94.7±2.3 | 3.0±1.7 | 2.3±0.6 | sand |
| | RC 2 | 8.7±0.1 | 0.59±0.17 | 95.0±1.7 | 2.7±1.2 | 2.3±0.6 | sand |
| | RC 3 | 8.4±0.1 | 0.58±0.21 | 92.3±3.1 | 5.3±2.5 | 2.3±0.6 | sand |
| | RI 1 | 8.5±0.1 | 0.50±0.07 | 95.0±1.0 | 2.7±0.6 | 2.3±0.6 | sand |
| | RI 2 | 8.4±0.1 | 0.52±0.07 | 94.7±0.6 | 3.3±0.6 | 2.0±0.0 | sand |
| | CHI 1 | 8.3±0.0 | 1.17±0.64 | 89.3±4.2 | 7.3±4.0 | 3.3±0.6 | sand |
| | CHI 2 | 8.4±0.2 | 0.98±0.31 | 94.7±1.2 | 2.7±1.5 | 2.7±0.6 | sand |
| Nov. 2015 | RC 1 | 8.6±0.1 | 0.48±0.04 | 95.0±1.0 | 3.0±1.0 | 2.0±0.0 | sand |
| | RC 2 | 8.5±0.0 | 0.67±0.04 | 94.0±1.7 | 4.0±1.7 | 2.0±0.0 | sand |
| | RC 3 | 8.5±0.1 | 0.33±0.09 | 95.7±0.6 | 2.3±0.6 | 2.0±0.0 | sand |
| | RI 1 | 8.5±0.1 | 0.36±0.08 | 96.3±1.2 | 1.0±1.0 | 2.7±0.6 | sand |
| | RI 2 | 8.4±0.0 | 0.33±0.04 | 96.0±1.0 | 1.0±1.0 | 3.0±0.0 | sand |
| | CHI 1 | 8.4±0.1 | 0.85±0.20 | 91.7±1.5 | 5.7±1.5 | 2.7±0.6 | sand |
| | CHI 2 | 8.5±0.0 | 1.02±0.04 | 94.7±0.6 | 2.3±0.6 | 3.0±0.0 | sand |

ตารางที่ ก5 ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ของเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557

| Date | Station | Heavy metal (µg/L) | | | | | | |
|-----------|---------|--------------------|---------------|-------------|-------|---------------|---------------|---------------|
| | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| Jan. 2014 | RC 1 | 0.014 ± 0.004 | 0.396 ± 0.117 | 14.4 ± 3.70 | <0.1 | 0.390 ± 0.160 | 0.189 ± 0.105 | 0.572 ± 0.228 |
| | RC 2 | 0.013 ± 0.001 | 0.308 ± 0.038 | 2.27 ± 0.77 | <0.1 | 0.232 ± 0.025 | 0.116 ± 0.034 | <0.25 |
| | RC 3 | 0.011 ± 0.002 | 0.345 ± 0.041 | 3.18 ± 0.48 | <0.1 | 0.239 ± 0.030 | 0.118 ± 0.023 | 0.545 ± 0.182 |
| | RI 1 | 0.009 ± 0.000 | 0.483 ± 0.045 | 9.69 ± 2.11 | 0.119 | 0.331 ± 0.015 | 0.158 ± 0.020 | <0.25 |
| | RI 2 | 0.008 ± 0.001 | 0.416 ± 0.022 | 8.55 ± 0.48 | <0.1 | 0.342 ± 0.014 | 0.120 ± 0.048 | 0.829 ± 0.160 |
| | CHI 1 | 0.009 ± 0.001 | 0.248 ± 0.052 | 8.34 ± 1.48 | <0.1 | 0.226 ± 0.009 | 0.103 ± 0.049 | 0.337 ± 0.115 |
| | CHI 2* | - | - | - | - | - | - | - |
| Oct. 2014 | RC 1 | 0.008 ± 0.001 | 0.296 ± 0.059 | 0.56 ± 0.10 | <0.1 | 0.527 ± 0.523 | 0.150 ± 0.069 | <0.25 |
| | RC 2 | 0.010 ± 0.003 | 0.286 ± 0.019 | 2.57 ± 0.28 | <0.1 | 0.218 ± 0.004 | 0.044 ± 0.017 | 0.731 ± 0.594 |
| | RC 3 | 0.008 ± 0.002 | 0.290 ± 0.015 | 2.27 ± 0.28 | <0.1 | 0.226 ± 0.010 | <0.03 | 0.859 ± 1.06 |
| | RI 1 | 0.010 ± 0.004 | 0.947 ± 0.162 | 52.0 ± 4.27 | <0.1 | 0.388 ± 0.009 | 0.230 ± 0.080 | 1.76 ± 1.14 |
| | RI 2 | 0.008 ± 0.001 | 0.757 ± 0.039 | 56.2 ± 6.59 | <0.1 | 0.360 ± 0.011 | 0.154 ± 0.035 | 0.434 ± 0.142 |
| | CHI 1 | 0.009 ± 0.003 | 0.307 ± 0.061 | 5.23 ± 1.34 | <0.1 | 0.230 ± 0.019 | 0.061 ± 0.010 | <0.25 |
| | CHI 2 | 0.009 ± 0.003 | 0.323 ± 0.050 | 35.6 ± 4.15 | <0.1 | 0.254 ± 0.014 | 0.093 ± 0.029 | <0.25 |
| Dec. 2014 | RC 1 | 0.008 ± 0.001 | 0.256 ± 0.005 | 3.98 ± 0.08 | <0.1 | 0.252 ± 0.025 | 0.179 ± 0.049 | <0.25 |
| | RC 2 | 0.008 ± 0.001 | 0.270 ± 0.032 | 3.95 ± 0.35 | <0.1 | 0.232 ± 0.004 | 0.118 ± 0.084 | 0.291 ± 0.155 |
| | RC 3 | 0.009 ± 0.000 | 0.446 ± 0.091 | 3.71 ± 0.45 | <0.1 | 0.228 ± 0.002 | 0.192 ± 0.126 | <0.25 |
| | RI 1 | 0.007 ± 0.001 | 0.448 ± 0.012 | 23.5 ± 2.33 | <0.1 | 0.375 ± 0.007 | 0.165 ± 0.021 | 0.573 ± 0.393 |
| | RI 2 | 0.006 ± 0.000 | 0.574 ± 0.038 | 20.8 ± 2.35 | <0.1 | 0.514 ± 0.022 | 0.168 ± 0.035 | 0.813 ± 0.093 |
| | CHI 1 | 0.008 ± 0.000 | 0.300 ± 0.016 | 9.13 ± 0.97 | <0.1 | 0.230 ± 0.016 | 0.300 ± 0.098 | 0.572 ± 0.233 |
| | CHI 2 | 0.008 ± 0.001 | 0.257 ± 0.013 | 9.24 ± 0.12 | <0.1 | 0.194 ± 0.008 | 0.295 ± 0.061 | 0.666 ± 0.311 |

หมายเหตุ: * ทะเลมึลโคลนแรงไม่สามารถออกเรือเก็บตัวอย่างได้

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ของเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558

| Date | Station | Heavy metal ($\mu\text{g/L}$) | | | | | | |
|-----------|---------|---------------------------------|-------------------|-----------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| Feb. 2015 | RC 1 | 0.030 ± 0.006 | 0.414 ± 0.044 | 6.65 ± 0.37 | <0.1 | 0.242 ± 0.006 | 0.085 ± 0.039 | 0.452 ± 0.226 |
| | RC 2 | 0.026 ± 0.013 | 0.412 ± 0.044 | 13.4 ± 0.60 | <0.1 | 0.268 ± 0.019 | 0.188 ± 0.020 | 0.398 ± 0.319 |
| | RC 3 | 0.027 ± 0.004 | 0.386 ± 0.042 | 6.23 ± 0.11 | <0.1 | 0.369 ± 0.160 | 0.242 ± 0.046 | 0.720 ± 0.271 |
| | RI 1 | 0.021 ± 0.001 | 0.691 ± 0.341 | 16.1 ± 1.74 | <0.1 | 0.320 ± 0.005 | 0.237 ± 0.076 | 0.659 ± 0.165 |
| | RI 2 | 0.013 ± 0.004 | 0.497 ± 0.021 | 16.8 ± 0.58 | <0.1 | 0.302 ± 0.011 | 0.187 ± 0.048 | 0.569 ± 0.056 |
| | CHI 1 | 0.012 ± 0.002 | 0.457 ± 0.120 | 8.83 ± 0.40 | <0.1 | 0.306 ± 0.112 | 0.285 ± 0.162 | 0.386 ± 0.249 |
| | CHI 2 | 0.015 ± 0.004 | 0.392 ± 0.057 | 8.99 ± 0.55 | <0.1 | 0.246 ± 0.013 | 0.267 ± 0.098 | 0.344 ± 0.148 |
| May 2015 | RC 1 | 0.010 ± 0.000 | 0.580 ± 0.152 | 5.12 ± 4.13 | <0.1 | 0.238 ± 0.016 | 0.253 ± 0.148 | 0.570 ± 0.150 |
| | RC 2 | 0.011 ± 0.001 | 0.427 ± 0.091 | 14.5 ± 0.27 | <0.1 | 0.227 ± 0.006 | 0.161 ± 0.084 | 0.259 ± 0.018 |
| | RC 3 | 0.013 ± 0.001 | 0.624 ± 0.046 | 13.8 ± 0.30 | <0.1 | 0.235 ± 0.005 | 0.271 ± 0.047 | <0.25 |
| | RI 1 | 0.016 ± 0.004 | 0.707 ± 0.030 | 32.8 ± 2.05 | <0.1 | 0.402 ± 0.020 | 0.530 ± 0.304 | 1.193 ± 0.343 |
| | RI 2 | 0.011 ± 0.000 | 0.649 ± 0.051 | 27.2 ± 1.33 | <0.1 | 0.345 ± 0.017 | 0.182 ± 0.063 | 0.574 ± 0.100 |
| | CHI 1 | 0.012 ± 0.004 | 0.653 ± 0.059 | 27.5 ± 1.60 | <0.1 | 0.319 ± 0.021 | 0.301 ± 0.239 | 0.435 ± 0.224 |
| | CHI 2 | 0.013 ± 0.003 | 0.549 ± 0.027 | 29.4 ± 7.30 | <0.1 | 0.319 ± 0.033 | 0.371 ± 0.327 | 0.367 ± 0.539 |
| Nov. 2015 | RC 1 | 0.011 ± 0.001 | 0.716 ± 0.324 | 3.05 ± 0.38 | <0.1 | 0.198 ± 0.007 | 0.285 ± 0.099 | 0.382 ± 0.207 |
| | RC 2 | 0.013 ± 0.002 | 0.569 ± 0.057 | 3.51 ± 0.36 | <0.1 | 0.199 ± 0.005 | 0.447 ± 0.152 | <0.25 |
| | RC 3 | 0.010 ± 0.001 | 0.663 ± 0.085 | 13.0 ± 2.03 | <0.1 | 0.228 ± 0.009 | 0.324 ± 0.196 | <0.25 |
| | RI 1 | 0.011 ± 0.001 | 0.754 ± 0.014 | 32.3 ± 1.03 | <0.1 | 0.712 ± 0.017 | 0.453 ± 0.210 | 0.710 ± 0.071 |
| | RI 2 | 0.012 ± 0.003 | 0.723 ± 0.083 | 28.7 ± 1.37 | <0.1 | 0.596 ± 0.054 | 0.538 ± 0.218 | 0.565 ± 0.039 |
| | CHI 1 | 0.012 ± 0.002 | 0.713 ± 0.053 | 9.96 ± 0.93 | <0.1 | 0.304 ± 0.075 | 0.351 ± 0.024 | 1.882 ± 0.914 |
| | CHI 2 | 0.011 ± 0.001 | 0.680 ± 0.039 | 14.4 ± 4.22 | <0.1 | 0.271 ± 0.005 | 0.423 ± 0.243 | 1.149 ± 0.024 |

ตารางที่ ก7 ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินในแต่ละสถานี ของเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557

| Date | Station | Heavy metal ($\mu\text{g/g}$ dry wt.) | | | | | | |
|-----------|---------|--|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| Jan. 2014 | RC 1 | 0.050 \pm 0.011 | 3.50 \pm 1.59 | 3690 \pm 2072 | 0.019 \pm 0.002 | 6.09 \pm 2.73 | 3.54 \pm 3.02 | 9.65 \pm 4.02 |
| | RC 2 | 0.045 \pm 0.002 | 1.67 \pm 0.28 | 2150 \pm 692 | 0.009 \pm 0.002 | 4.35 \pm 0.40 | 6.59 \pm 1.59 | 5.69 \pm 1.62 |
| | RC 3 | 0.043 \pm 0.008 | 0.87 \pm 0.19 | 1096 \pm 259 | 0.003 \pm 0.003 | 2.81 \pm 0.05 | 5.88 \pm 0.43 | 3.15 \pm 0.82 |
| | RI 1 | 0.032 \pm 0.019 | 0.35 \pm 0.07 | 774 \pm 40 | 0.004 \pm 0.001 | 1.83 \pm 0.25 | 3.95 \pm 0.27 | 4.15 \pm 0.25 |
| | RI 2 | 0.041 \pm 0.009 | 1.93 \pm 1.39 | 2073 \pm 947 | 0.016 \pm 0.012 | 4.19 \pm 1.03 | 14.0 \pm 6.83 | 16.2 \pm 8.22 |
| | CHI 1 | 0.040 \pm 0.010 | 2.06 \pm 1.19 | 844 \pm 340 | <0.003 | 3.66 \pm 0.60 | 2.00 \pm 0.40 | 15.8 \pm 11.5 |
| | CHI 2* | - | - | - | - | - | - | - |
| Oct. 2014 | RC 1 | 0.047 \pm 0.009 | 0.40 \pm 0.04 | 470 \pm 107 | <0.003 | 2.71 \pm 0.84 | 3.16 \pm 0.79 | 3.37 \pm 3.31 |
| | RC 2 | 0.056 \pm 0.030 | 0.72 \pm 0.20 | 1287 \pm 428 | <0.003 | 2.29 \pm 0.36 | 7.21 \pm 3.27 | 8.12 \pm 6.49 |
| | RC 3 | 0.042 \pm 0.005 | 0.58 \pm 0.68 | 1189 \pm 639 | 0.003 \pm 0.001 | 2.39 \pm 0.70 | 5.51 \pm 0.51 | 5.23 \pm 2.54 |
| | RI 1 | 0.026 \pm 0.005 | 0.44 \pm 0.01 | 1378 \pm 297 | 0.004 \pm 0.002 | 1.05 \pm 0.05 | 7.99 \pm 1.65 | 7.53 \pm 0.83 |
| | RI 2 | 0.018 \pm 0.006 | 0.35 \pm 0.02 | 1333 \pm 280 | 0.003 \pm 0.001 | 0.93 \pm 0.15 | 7.79 \pm 1.32 | 6.96 \pm 1.13 |
| | CHI 1 | 0.063 \pm 0.024 | 2.40 \pm 1.03 | 1478 \pm 396 | 0.003 \pm 0.002 | 3.67 \pm 0.47 | 4.54 \pm 1.95 | 22.6 \pm 10.6 |
| | CHI 2 | 0.147 \pm 0.045 | 8.04 \pm 1.94 | 1183 \pm 232 | <0.003 | 7.30 \pm 1.08 | 47.2 \pm 49.9 | 65.6 \pm 23.0 |
| Dec. 2014 | RC 1 | 0.036 \pm 0.001 | 0.76 \pm 0.35 | 937 \pm 331 | <0.003 | 2.01 \pm 0.68 | 4.60 \pm 1.51 | 2.62 \pm 1.09 |
| | RC 2 | 0.034 \pm 0.004 | <0.25 | 448 \pm 85 | <0.003 | 1.55 \pm 0.39 | 4.32 \pm 0.71 | <1.0 |
| | RC 3 | 0.037 \pm 0.003 | 0.75 \pm 0.89 | 291 \pm 54 | <0.003 | 1.48 \pm 0.12 | 3.23 \pm 0.35 | <1.0 |
| | RI 1 | 0.023 \pm 0.005 | 0.47 \pm 0.06 | 1005 \pm 96 | 0.003 \pm 0.005 | 1.61 \pm 0.11 | 6.12 \pm 0.58 | 5.32 \pm 0.85 |
| | RI 2 | 0.024 \pm 0.003 | 0.87 \pm 0.24 | 1920 \pm 111 | 0.006 \pm 0.001 | 2.58 \pm 0.21 | 7.80 \pm 3.93 | 8.03 \pm 1.14 |
| | CHI 1 | 0.043 \pm 0.024 | 1.78 \pm 1.51 | 889 \pm 453 | 0.007 \pm 0.003 | 2.81 \pm 0.92 | 5.26 \pm 3.73 | 23.1 \pm 25.7 |
| | CHI 2 | 0.067 \pm 0.021 | 2.76 \pm 1.20 | 1804 \pm 247 | 0.005 \pm 0.003 | 4.78 \pm 0.82 | 6.64 \pm 2.78 | 26.5 \pm 16.2 |

หมายเหตุ: * ทะเลมึลึ้นลมแรงไม่สามารถออกเรือเก็บตัวอย่างได้

ตารางที่ ๘ ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอน ในแต่ละสถานี ของเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน 2558

| Date | Station | Heavy metal (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| Feb. 2015 | RC 1 | 0.037 ± 0.003 | 0.85 ± 0.003 | 1215 ± 312 | 0.047 ± 0.027 | 1.04 ± 0.22 | 6.74 ± 0.44 | 7.13 ± 2.08 |
| | RC 2 | 0.044 ± 0.004 | 0.78 ± 0.004 | 896 ± 116 | 0.060 ± 0.062 | 1.29 ± 0.60 | 3.10 ± 0.66 | 6.87 ± 1.07 |
| | RC 3 | 0.045 ± 0.015 | 0.85 ± 0.015 | 770 ± 459 | 0.024 ± 0.015 | 1.37 ± 0.79 | 2.59 ± 0.22 | 7.15 ± 1.65 |
| | RI 1 | 0.040 ± 0.005 | 1.09 ± 0.005 | 2048 ± 490 | 0.042 ± 0.032 | 1.39 ± 0.25 | 9.03 ± 1.81 | 13.9 ± 2.63 |
| | RI 2 | 0.043 ± 0.032 | 0.68 ± 0.032 | 922 ± 74 | 0.014 ± 0.004 | 0.86 ± 0.05 | 4.38 ± 0.52 | 6.34 ± 4.71 |
| | CHI 1 | 0.041 ± 0.021 | 3.20 ± 0.021 | 2447 ± 1755 | 0.033 ± 0.013 | 4.40 ± 3.03 | 2.96 ± 1.33 | 22.3 ± 5.97 |
| | CHI 2 | 0.120 ± 0.045 | 4.92 ± 0.045 | 2587 ± 539 | 0.049 ± 0.034 | 3.98 ± 0.69 | 4.78 ± 0.74 | 64.2 ± 33.9 |
| May. 2015 | RC 1 | 0.032 ± 0.004 | 1.08 ± 0.004 | 1070 ± 498 | 0.030 ± 0.017 | 1.70 ± 0.76 | 2.52 ± 0.42 | 7.93 ± 1.46 |
| | RC 2 | 0.040 ± 0.012 | 0.82 ± 0.012 | 883 ± 408 | 0.018 ± 0.003 | 0.86 ± 0.29 | 4.72 ± 2.66 | 7.51 ± 2.51 |
| | RC 3 | 0.046 ± 0.007 | 2.11 ± 0.007 | 1926 ± 372 | 0.023 ± 0.000 | 1.56 ± 0.47 | 7.00 ± 0.52 | 11.0 ± 1.93 |
| | RI 1 | 0.029 ± 0.006 | 0.92 ± 0.006 | 1413 ± 248 | 0.046 ± 0.004 | 1.17 ± 0.22 | 6.19 ± 1.09 | 11.4 ± 1.12 |
| | RI 2 | 0.025 ± 0.004 | 0.97 ± 0.004 | 1642 ± 151 | 0.025 ± 0.002 | 1.29 ± 0.13 | 6.44 ± 0.63 | 12.2 ± 3.23 |
| | CHI 1 | 0.055 ± 0.015 | 2.73 ± 0.015 | 2233 ± 1305 | 0.028 ± 0.004 | 3.56 ± 1.94 | 3.08 ± 1.19 | 20.8 ± 2.66 |
| | CHI 2 | 0.100 ± 0.040 | 2.96 ± 0.040 | 2780 ± 1160 | 0.014 ± 0.002 | 3.68 ± 1.29 | 4.58 ± 1.49 | 39.8 ± 23.4 |
| Nov. 2015 | RC 1 | 0.040 ± 0.003 | 0.88 ± 0.003 | 866 ± 116 | 0.018 ± 0.006 | 1.28 ± 0.25 | 3.82 ± 0.83 | 9.21 ± 4.16 |
| | RC 2 | 0.051 ± 0.003 | 1.54 ± 0.003 | 1397 ± 65 | 0.038 ± 0.023 | 1.81 ± 0.18 | 6.02 ± 0.44 | 8.94 ± 0.76 |
| | RC 3 | 0.040 ± 0.002 | 1.18 ± 0.002 | 993 ± 119 | 0.011 ± 0.004 | 0.93 ± 0.17 | 6.79 ± 0.22 | 7.30 ± 1.74 |
| | RI 1 | 0.030 ± 0.004 | 1.01 ± 0.004 | 1301 ± 441 | 0.021 ± 0.012 | 1.17 ± 0.34 | 6.50 ± 0.62 | 10.1 ± 3.58 |
| | RI 2 | 0.029 ± 0.004 | 1.12 ± 0.004 | 1666 ± 270 | 0.024 ± 0.004 | 1.44 ± 0.24 | 6.55 ± 1.34 | 10.1 ± 1.83 |
| | CHI 1 | 0.050 ± 0.010 | 2.44 ± 0.010 | 1483 ± 375 | 0.022 ± 0.001 | 2.77 ± 0.63 | 3.40 ± 0.65 | 17.5 ± 1.72 |
| | CHI 2 | 0.122 ± 0.045 | 4.35 ± 0.045 | 3317 ± 1517 | 0.029 ± 0.016 | 4.75 ± 1.88 | 5.28 ± 0.64 | 55.4 ± 23.8 |

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฟองน้ำทะเลในเดือนมกราคม ตุลาคม และธันวาคม พ.ศ. 2557

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|--------------|---------|------------------------|-------------|---|--------|------|--------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| January 2014 | RC 1 | ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู | A010* | 0.236 | 10.089 | 689 | 0.018 | 7.04 | 0.475 | 37.2 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.515 | 4.83 | 134 | 0.055 | 28.7 | 0.164 | 22.0 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.098 | 5.73 | 157 | 0.011 | 7.46 | 0.366 | 103 |
| | RC 2 | ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู | A010* | 0.161 | 8.736 | 227 | <0.007 | 9.27 | 0.267 | 23.9 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.627 | 7.39 | 221 | 0.025 | 14.6 | 0.208 | 29.6 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.319 | 3.83 | 118 | 0.030 | 22.2 | 0.137 | 21.2 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.105 | 4.55 | 175 | <0.007 | 5.50 | 0.316 | 86.4 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.25 | 8.24 | 103 | 0.009 | 4.32 | 0.342 | 31.3 |
| | | ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | A002 | 1.21 | 9.47 | 623 | 0.039 | 14.2 | 0.527 | 39.8 |
| | RC 3 | ฟองน้ำท่อสีเทา | A008* | 2.107 | 8.123 | 3303 | 0.049 | 4.82 | 1.072 | 54.0 |
| | | ฟองน้ำท่อสีเหลือง | A009* | 1.262 | 5.620 | 1803 | 0.032 | 4.74 | 1.048 | 53.2 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.613 | 4.29 | 171 | 0.059 | 20.4 | 0.220 | 29.2 |
| | | ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | A016 | 0.126 | 8.60 | 130 | 0.019 | 12.2 | 0.425 | 15.9 |
| | | | | | | | | | | |

หมายเหตุ: *ข้อมูลนี้ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลโลหะหนักรวมกับฟองน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างได้เพียง 1-2 ตัวอย่างเท่านั้น

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|---------------------|----------------|---|-------|------|--------|------|-------|-------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.119 | 6.11 | 679 | <0.007 | 4.68 | 0.374 | 91.5 |
| | | ฟองน้ำสีม่วง | A029* | 1.263 | 7.487 | 834 | 0.018 | 6.36 | 0.762 | 238.9 |
| | RI 1 | ฟองน้ำหนังสือดำลาย | A003 | 0.475 | 7.81 | 145 | 0.356 | 23.3 | 0.266 | 31.8 |
| | | ฟองน้ำแฉกกันสีดำ | A007 | 0.782 | 5.31 | 746 | 0.101 | 2.20 | 0.271 | 120.2 |
| | | ฟองน้ำลูกบอล | A018 | 1.087 | 5.83 | 495 | 0.064 | 6.78 | 0.616 | 50.9 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.183 | 3.09 | 1149 | 0.020 | 10.2 | 1.45 | 111 |
| | RI 2 | ฟองน้ำหนังสือดำลาย | A003 | 0.366 | 9.53 | 351 | 0.260 | 28.0 | 0.504 | 57.5 |
| | | ฟองน้ำลูกบอล | A018 | 1.495 | 5.61 | 1420 | 0.045 | 13.0 | 1.12 | 64.4 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.135 | 5.02 | 1600 | <0.007 | 3.66 | 0.621 | 74.1 |
| | | ฟองน้ำหนังสือน้ำตาล | A002 | 0.392 | 8.26 | 2792 | 0.025 | 10.7 | 1.68 | 36.0 |
| | | ฟองน้ำหนังสือดำลาย | A003 | 0.448 | 9.01 | 401 | 0.079 | 34.1 | 0.362 | 33.6 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | A011 | 19.162 | 3.66 | 748 | <0.007 | 5.47 | 0.470 | 84.6 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.326 | 4.48 | 106 | 0.060 | 29.0 | 0.137 | 27.9 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.129 | 4.61 | 923 | 0.020 | 6.33 | 0.408 | 70.6 |

หมายเหตุ: *ข้อมูลนี้ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลโลหะหนักรวมกับฟองน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างได้เพียง 1-2 ตัวอย่างเท่านั้น

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|----------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| October 2014 | RC 1 | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.793 | 7.35 | 164 | 0.043 | 14.7 | 0.431 | 14.1 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.559 | 5.23 | 333 | 0.102 | 11.9 | 0.193 | 15.5 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.059 | 5.46 | 184 | 0.014 | 5.46 | 0.244 | 28.0 |
| | | ฟองน้ำสีส้มหม่น | A021 | 0.178 | 2.73 | 722 | 0.008 | 4.97 | 0.613 | 5.27 |
| | RC 2 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.358 | 8.72 | 418 | 0.063 | 17.5 | 1.36 | 10.0 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.660 | 25.3 | 896 | 0.121 | 24.7 | 0.924 | 14.4 |
| | | ฟองน้ำแจกันสีดำ | A007 | 0.680 | 8.79 | 966 | 0.034 | 20.3 | 5.18 | 11.8 |
| | RC 3 | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.501 | 9.03 | 207 | 0.076 | 15.2 | 0.430 | 10.3 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.463 | 4.55 | 160 | 0.075 | 14.6 | 0.182 | 14.1 |
| | RI 1 | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 0.845 | 10.5 | 1242 | 0.091 | 14.7 | 1.45 | 219 |
| | RI 2 | ฟองน้ำฝั้วตัวสีแดง | A020* | 0.558 | 4.03 | 20.0 | 0.019 | 18.5 | 0.508 | 8.26 |
| | | ฟองน้ำสีเทา | A024* | 0.854 | 3.92 | 1339 | 0.019 | 10.0 | 4.03 | 10.7 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.289 | 10.2 | 529 | 0.017 | 20.6 | 0.420 | 7.44 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.198 | 7.00 | 176 | 0.031 | 32.9 | 0.281 | 6.73 |

หมายเหตุ: *ข้อมูลนี้ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลโลหะหนักรวมกับฟองน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างได้เพียง 1-2 ตัวอย่างเท่านั้น

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|---------------|---------|---------------------|----------------|---|------|------|--------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.047 | 4.51 | 162 | <0.007 | 6.15 | 0.162 | 17.8 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 0.831 | 7.90 | 186 | 0.016 | 5.28 | 0.293 | 43.1 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.204 | 9.33 | 521 | 0.009 | 7.34 | 0.401 | 85.5 |
| | CHI 2 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.421 | 13.8 | 659 | 0.036 | 21.1 | 0.752 | 11.4 |
| | | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.376 | 5.25 | 1093 | 0.008 | 11.6 | 10.9 | 7.78 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.391 | 28.5 | 937 | 0.070 | 40.3 | 1.40 | 42.6 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | A012 | 4.63 | 19.3 | 946 | 0.007 | 8.40 | 2.14 | 73.5 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.068 | 5.02 | 387 | 0.016 | 5.22 | 0.558 | 33.0 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.15 | 16.3 | 510 | 0.016 | 5.16 | 0.774 | 55.6 |
| December 2014 | RC 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.494 | 6.21 | 812 | 0.054 | 24.5 | 1.25 | 46.2 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.165 | 10.9 | 768 | 0.069 | 41.9 | 1.74 | 27.0 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.334 | 7.32 | 101 | 0.066 | 15.5 | 0.999 | 597 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.363 | 5.91 | 316 | 0.091 | 19.2 | 0.310 | 14.6 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.053 | 5.56 | 78.3 | 0.013 | 11.4 | 0.302 | 26.2 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 3.25 | 13.2 | 334 | 0.055 | 17.3 | 0.317 | 34.9 |

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|------------------------|----------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำสีส้มหม่น | A021 | 0.161 | 2.81 | 373 | 0.022 | 8.01 | 0.658 | 21.7 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.365 | 3.85 | 808 | 0.029 | 20.6 | 1.83 | 11.7 |
| | RC 2 | ฟองน้ำตันไม้สีดำ | A001 | 0.34 | 8.92 | 528 | 0.071 | 28.9 | 0.722 | 44.7 |
| | | ฟองน้ำยืดหยุ่นสีดำ | A006 | 1.07 | 34.1 | 657 | 0.083 | 22.9 | 3.71 | 113 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | A011 | 30.1 | 6.61 | 259 | 0.016 | 33.9 | 0.600 | 43.1 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.481 | 7.67 | 449 | 0.075 | 7.60 | 0.385 | 583 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.47 | 6.65 | 234 | 0.106 | 7.03 | 0.270 | 32.4 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 2.08 | 10.2 | 306 | 0.033 | 13.9 | 0.409 | 33.1 |
| | RC 3 | ฟองน้ำครก | A015 | 0.37 | 5.35 | 482 | 0.090 | 16.2 | 0.158 | 51.6 |
| | | ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | A016 | 0.11 | 9.92 | 667 | 0.043 | 8.31 | 0.566 | 35.3 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.05 | 4.74 | 505 | 0.021 | 29.6 | 0.304 | 19.6 |
| | | ฟองน้ำท่อสีดำ | A030* | 1.44 | 6.15 | 1766 | 0.042 | 18.0 | 2.48 | 20.7 |
| | RI 1 | ฟองน้ำหนังสีดำลาย | A003 | 0.354 | 11.6 | 809 | 0.227 | 41.9 | 1.534 | 57.7 |
| | | ฟองน้ำยืดหยุ่นสีดำ | A006 | 0.443 | 72.3 | 2204 | 0.271 | 33.8 | 2.65 | 49.9 |

หมายเหตุ: *ข้อมูลนี้ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลโลหะหนักรวมกับฟองน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างได้เพียง 1-2 ตัวอย่างเท่านั้น

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|---------------------|----------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.075 | 7.97 | 649 | 0.076 | 25.1 | 2.63 | 51.9 |
| | | ฟองน้ำลูกบอล | A018 | 1.29 | 7.28 | 606 | 0.066 | 9.73 | 0.431 | 122 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 1.47 | 15.4 | 1176 | 0.085 | 14.9 | 1.53 | 34.8 |
| | | ฟองน้ำก้อนสีม่วง | A028* | 0.071 | 10.4 | 907 | 0.044 | 13.8 | 1.21 | 62.8 |
| | | ฟองน้ำกึ่งน้ำตาล | A031* | 0.123 | 9.64 | 1736 | 0.076 | 8.63 | 1.21 | 49.9 |
| | RI 2 | ฟองน้ำหนังสือดำลาย | A003 | 0.459 | 10.8 | 509 | 0.703 | 35.2 | 0.525 | 18.7 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.130 | 4.97 | 905 | 0.068 | 36.0 | 2.44 | 35.8 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.277 | 15.8 | 1783 | 0.058 | 16.8 | 1.23 | 19.4 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.193 | 8.05 | 1140 | 0.072 | 29.3 | 0.606 | 6.6 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.39 | 10.5 | 611 | 0.032 | 8.41 | 0.518 | 39.3 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.145 | 7.62 | 1855 | 0.016 | 16.1 | 0.626 | 110 |
| | CHI 2 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.229 | 8.89 | 1956 | 0.045 | 21.0 | 1.12 | 48.6 |
| | | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.329 | 5.50 | 2677 | 0.013 | 20.8 | 3.34 | 53.5 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีขาว | A005* | 2.105 | 23.0 | 396 | 0.100 | 42.7 | 0.391 | 40.0 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | A012 | 17.9 | 22.4 | 1812 | 0.028 | 15.2 | 0.796 | 142 |

หมายเหตุ: *ข้อมูลนี้ไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลโลหะหนักรวมกับฟองน้ำชนิดอื่นๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างได้เพียง 1-2 ตัวอย่างเท่านั้น

ตารางที่ ก9 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|---------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.200 | 8.48 | 507 | 0.062 | 36.6 | 0.212 | 20.6 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.179 | 7.22 | 389 | 0.017 | 10.5 | 0.630 | 54.4 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.67 | 15.6 | 616 | 0.028 | 9.80 | 0.574 | 136 |
| | | ฟองน้ำกระชาย | A023* | 0.724 | 3.67 | 556 | 0.012 | 22.2 | 0.374 | 61.2 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.142 | 6.95 | 472 | 0.027 | 8.11 | 0.299 | 163 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.919 | 21.3 | 1272 | 0.099 | 33.4 | 1.41 | 48.6 |

ตารางที่ ก10 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฟองน้ำทะเลในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2558

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|---------------|---------|------------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| February 2015 | RC 1 | ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | A011 | 0.153 | 7.68 | 1021 | 0.123 | 16.4 | 1.91 | 11.7 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.187 | 4.60 | 1268 | 0.117 | 10.1 | 2.05 | 26.9 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.300 | 2.90 | 307 | 0.140 | 25.8 | 0.435 | 17.1 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.433 | 14.5 | 904 | 0.149 | 22.8 | 1.77 | 27.2 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.085 | 3.42 | 699 | 0.344 | 3.06 | 1.55 | 17.6 |
| | RC 2 | ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | A016 | 0.087 | 6.09 | 273 | 0.080 | 9.15 | 0.427 | 9.60 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 3.93 | 9.99 | 440 | 0.070 | 4.49 | 0.454 | 85.9 |
| | | ฟองน้ำสีส้มหม่น | A021 | 0.076 | 2.27 | 527 | 0.061 | 4.51 | 0.719 | 10.8 |
| | RC 3 | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 69.0 | 3.21 | 375 | 0.070 | 10.1 | 0.653 | 86.9 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.526 | 3.38 | 207 | 0.108 | 13.3 | 0.420 | 18.7 |
| | | ฟองน้ำสีส้มหม่น | A021 | 0.073 | 6.19 | 308 | 0.065 | 6.40 | 0.428 | 61.8 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.172 | 7.70 | 578 | 0.084 | 16.2 | 1.17 | 11.6 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.926 | 4.98 | 203 | 0.100 | 21.9 | 0.261 | 21.6 |
| | RI 1 | ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | A002 | 0.365 | 11.8 | 831 | 0.109 | 18.6 | 2.38 | 49.5 |
| | | ฟองน้ำหนังสีดำลาย | A003 | 0.466 | 15.4 | 348 | 0.419 | 35.8 | 0.386 | 42.2 |

ตารางที่ ก10 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|---------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.308 | 10.2 | 2184 | 0.079 | 9.64 | 3.05 | 62.7 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.615 | 22.1 | 1378 | 0.162 | 21.1 | 3.38 | 69.0 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.091 | 11.3 | 1391 | 0.103 | 17.6 | 2.70 | 30.9 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.086 | 4.29 | 863 | 0.061 | 13.5 | 2.21 | 70.3 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 0.942 | 9.84 | 684 | 0.106 | 11.8 | 0.911 | 376 |
| | RI 2 | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.096 | 7.67 | 2203 | 0.081 | 29.3 | 4.24 | 82.1 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 0.731 | 7.85 | 836 | 0.109 | 6.83 | 1.53 | 279 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.314 | 14.8 | 1167 | 0.086 | 23.6 | 1.10 | 36.8 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.218 | 3.36 | 258 | 0.083 | 28.3 | 0.238 | 22.4 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.02 | 12.2 | 750 | 0.055 | 7.22 | 0.732 | 142 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.172 | 9.17 | 673 | 0.050 | 9.05 | 0.486 | 184 |
| | CHI 2 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.404 | 11.5 | 1373 | 0.138 | 17.9 | 1.88 | 35.2 |
| | | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.643 | 8.03 | 1886 | 0.155 | 11.4 | 2.35 | 32.5 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | A012 | 13.0 | 27.1 | 1426 | 0.202 | 7.72 | 3.45 | 216 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.288 | 5.36 | 327 | 0.190 | 29.0 | 0.172 | 18.5 |

ตารางที่ ก10 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|----------|---------|---------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.047 | 5.26 | 434 | 0.051 | 5.35 | 0.501 | 80.1 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.55 | 16.3 | 502 | 0.060 | 4.70 | 0.503 | 168 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.390 | 8.42 | 652 | 0.048 | 3.80 | 0.542 | 244 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 1.79 | 7.84 | 1011 | 0.241 | 9.04 | 0.843 | 202 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.467 | 14.6 | 1625 | 0.095 | 25.2 | 2.52 | 39.4 |
| May 2015 | RC 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.409 | 6.45 | 446 | 0.118 | 17.1 | 1.02 | 14.2 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.155 | 8.95 | 790 | 0.107 | 26.1 | 1.66 | 17.3 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.050 | 4.78 | 200 | 0.112 | 4.96 | 0.378 | 38.9 |
| | RC 2 | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.528 | 46.0 | 575 | 0.109 | 17.0 | 1.52 | 20.6 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.573 | 7.41 | 197 | 0.146 | 13.3 | 0.234 | 24.7 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.556 | 4.13 | 300 | 0.134 | 21.2 | 0.470 | 21.1 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 2.34 | 10.9 | 385 | 0.129 | 6.56 | 1.03 | 112 |
| | RC 3 | ฟองน้ำหนังสือน้ำตาล | A002 | 0.484 | 10.9 | 612 | 0.124 | 15.7 | 1.44 | 27.2 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.387 | 81.9 | 783 | 0.171 | 34.9 | 2.85 | 36.1 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.176 | 11.6 | 1524 | 0.146 | 26.2 | 4.14 | 26.8 |

ตารางที่ ก10 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|------------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.313 | 3.31 | 292 | 0.112 | 22.8 | 0.297 | 20.4 |
| | | ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | A016 | 0.489 | 13.0 | 694 | 0.099 | 17.8 | 2.09 | 12.6 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.98 | 10.3 | 698 | 0.124 | 7.36 | 1.64 | 147 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.237 | 5.65 | 1087 | 0.071 | 11.0 | 2.21 | 35.6 |
| | RI 1 | ฟองน้ำหนังสือน้ำตาล | A002 | 0.392 | 12.8 | 320 | 0.440 | 31.9 | 0.611 | 39.7 |
| | | ฟองน้ำแจกันสีดำ | A007 | 0.105 | 8.93 | 1884 | 0.142 | 6.12 | 3.36 | 90.8 |
| | | ฟองน้ำพู่กันสีแดง | A013 | 0.043 | 8.60 | 858 | 0.077 | 17.4 | 2.64 | 18.6 |
| | | ฟองน้ำลูกบอล | A018 | 0.549 | 4.72 | 657 | 0.115 | 5.27 | 1.88 | 41.0 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.123 | 6.41 | 705 | 0.092 | 12.3 | 2.14 | 110 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 0.681 | 11.0 | 587 | 0.395 | 4.87 | 1.12 | 27.6 |
| | RI 2 | ฟองน้ำหนังสือน้ำตาล | A002 | 0.396 | 12.5 | 367 | 0.502 | 37.7 | 0.741 | 42.6 |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 1.14 | 8.51 | 630 | 0.132 | 8.42 | 1.53 | 489 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.284 | 9.25 | 625 | 0.066 | 17.0 | 3.22 | 26.5 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.158 | 5.74 | 162 | 0.105 | 18.7 | 1.68 | 21.0 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.01 | 10.1 | 559 | 0.063 | 7.59 | 2.68 | 105 |

ตารางที่ ก10 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|---------------|---------|------------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.286 | 8.51 | 538 | 0.053 | 7.37 | 0.814 | 146 |
| | CHI 2 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.505 | 2.68 | 619 | 0.059 | 20.0 | 1.16 | 30.7 |
| | | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.547 | 2.46 | 1590 | 0.045 | 6.80 | 5.07 | 37.5 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | A011 | 10.2 | 3.62 | 375 | 0.040 | 7.92 | 0.647 | 221 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | A012 | 6.28 | 20.7 | 1019 | 0.049 | 5.73 | 4.28 | 130 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.120 | 2.69 | 1300 | 0.043 | 6.79 | 4.91 | 81.3 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.97 | 16.9 | 547 | 0.066 | 6.12 | 0.831 | 182 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง | A025 | 0.206 | 6.24 | 483 | 0.048 | 5.04 | 0.662 | 162 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.565 | 6.97 | 1519 | 0.082 | 21.7 | 5.05 | 34.9 |
| November 2015 | RC 1 | ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | A002 | 0.399 | 5.99 | 642 | 0.060 | 8.24 | 1.52 | 13.3 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.413 | 7.23 | 189 | 0.100 | 10.1 | 0.266 | 17.7 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.495 | 4.99 | 267 | 0.112 | 23.3 | 0.238 | 21.7 |
| | | ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง | A016 | 0.102 | 6.99 | 348 | 0.067 | 11.7 | 0.421 | 9.62 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.039 | 4.80 | 201 | 0.046 | 4.32 | 0.346 | 43.8 |

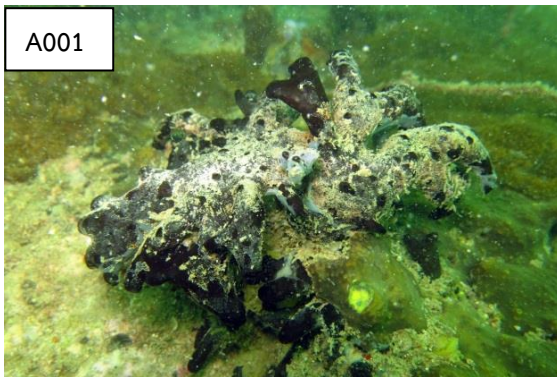
ตารางที่ ก10 (ต่อ)

| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|--------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | RC 2 | ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | A002 | 0.201 | 4.20 | 872 | 0.056 | 8.59 | 1.52 | 29.9 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า | A011 | 71.8 | 3.99 | 306 | 0.047 | 4.01 | 0.581 | 401 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.242 | 7.94 | 1247 | 0.063 | 16.9 | 2.57 | 15.2 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำตาล | A014 | 0.585 | 7.90 | 203 | 0.091 | 11.1 | 0.352 | 21.3 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.79 | 6.22 | 366 | 0.064 | 5.36 | 0.381 | 72.3 |
| | RC 3 | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.135 | 11.5 | 972 | 0.077 | 26.7 | 2.91 | 28.6 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.340 | 5.45 | 891 | 0.059 | 11.6 | 1.44 | 19.3 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.26 | 8.68 | 545 | 0.065 | 4.83 | 0.380 | 88.7 |
| | | ฟองน้ำไฟ | A022 | 0.185 | 4.13 | 807 | 0.069 | 9.82 | 1.14 | 36.5 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.456 | 21.0 | 793 | 0.130 | 24.7 | 2.12 | 25.7 |
| | RI 1 | ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล | A002 | 0.286 | 10.1 | 605 | 0.200 | 14.0 | 2.44 | 45.9 |
| | | ฟองน้ำหนังสีดำลาย | A003 | 0.472 | 16.5 | 207 | 0.561 | 36.6 | 0.377 | 49.2 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.234 | 58.3 | 1070 | 0.173 | 28.0 | 5.51 | 71.5 |
| | | ฟองน้ำแฉกกันสีดำ | A007 | 0.052 | 11.0 | 1069 | 0.078 | 4.81 | 2.03 | 74.1 |
| | | ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง | A013 | 0.063 | 13.9 | 1216 | 0.097 | 21.0 | 3.57 | 33.2 |

ตารางที่ ก10 (ต่อ)

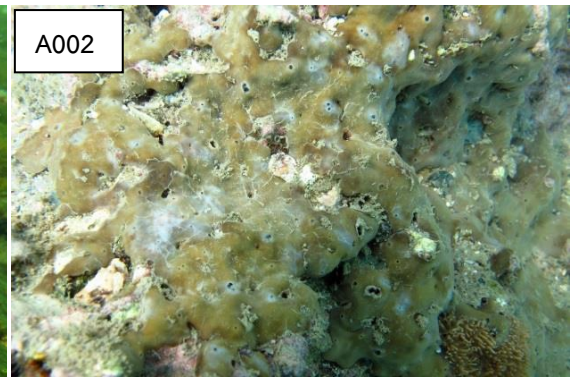
| Date | Station | Common name | Sponge code | Heavy metal concentration (mg/kg dry wt.) | | | | | | |
|------|---------|----------------------|-------------|---|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | Cd | Cu | Fe | Hg | Ni | Pb | Zn |
| | | ฟองน้ำลูกกอล์ฟ | A026 | 0.973 | 10.3 | 511 | 0.097 | 15.3 | 0.772 | 341 |
| | RI 2 | ฟองน้ำหนังสือน้ำตาล | A002 | 0.182 | 9.27 | 1105 | 0.126 | 11.8 | 1.91 | 37.9 |
| | CHI 1 | ฟองน้ำต้นไม้สีดำ | A001 | 0.193 | 12.3 | 613 | 0.057 | 20.3 | 1.10 | 40.3 |
| | | ฟองน้ำหนังสือดำลาย | A003 | 0.688 | 16.7 | 462 | 0.128 | 45.7 | 0.789 | 63.7 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.188 | 4.48 | 149 | 0.069 | 19.1 | 0.175 | 32.2 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 0.889 | 9.71 | 720 | 0.045 | 4.33 | 1.30 | 113 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมื่อกม่วง | A025 | 0.314 | 7.39 | 595 | 0.047 | 6.31 | 0.664 | 199 |
| | CHI 2 | ฟองน้ำหนามสีชมพู | A004 | 0.322 | 4.45 | 2821 | 0.039 | 7.46 | 4.57 | 70.3 |
| | | ฟองน้ำยัดหุ่ยสีดำ | A006 | 0.703 | 28.8 | 1023 | 0.083 | 22.9 | 4.69 | 57.8 |
| | | ฟองน้ำเคลือบสีม่วง | A012 | 8.78 | 21.2 | 948 | 0.045 | 6.48 | 3.62 | 160 |
| | | ฟองน้ำครก | A015 | 0.263 | 3.81 | 182 | 0.051 | 16.3 | 0.173 | 33.7 |
| | | ฟองน้ำสีน้ำเงิน | A017 | 0.137 | 5.61 | 505 | 0.051 | 7.40 | 0.603 | 92.0 |
| | | ฟองน้ำเชือก | A019 | 1.40 | 7.54 | 440 | 0.047 | 5.90 | 0.838 | 102 |
| | | ฟองน้ำสีดำเมื่อกม่วง | A025 | 0.283 | 6.44 | 712 | 0.040 | 6.13 | 1.17 | 169 |
| | | ฟองน้ำเปลี่ยนสี | A027 | 0.761 | 16.4 | 2748 | 0.082 | 33.2 | 20.3 | 59.2 |

ภาคผนวก ข



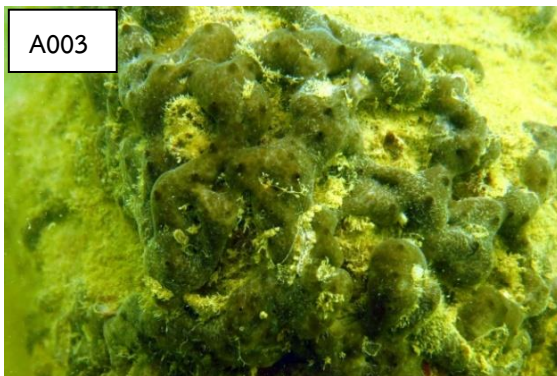
A001

ฟองน้ำต้นไม้สีดำ *Penares nux* (de Laubenfels, 1954)



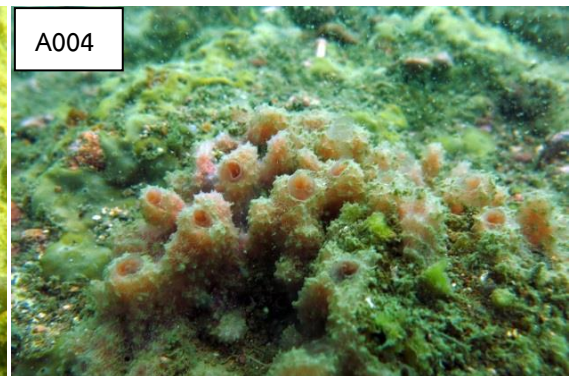
A002

ฟองน้ำหนังสีน้ำตาล *Chondrilla australiensis* (Carter, 1873)



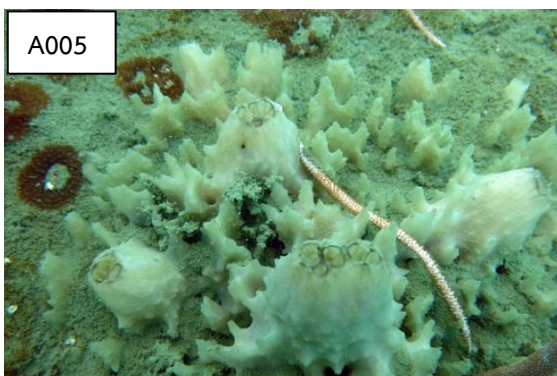
A003

ฟองน้ำหนังสีน้ำตาลลาย *Chondrosia reticulata* (Carter, 1886)



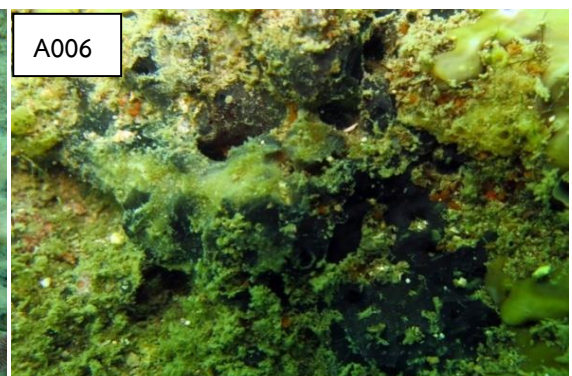
A004

ฟองน้ำหนามสีชมพู *Dysidea arenaria* Bergquist, 1965



A005

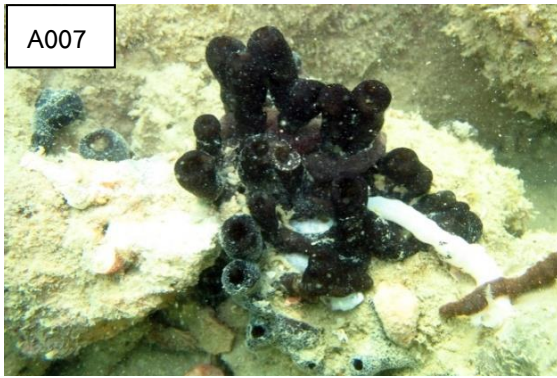
ฟองน้ำยึดหยุ่นสีขาว *Ircinia mutans* (Wilson, 1925)



A006

ฟองน้ำยึดหยุ่นสีดำ *Cacospongia* sp. "black"

ภาพที่ ข1 ภาพถ่ายใต้น้ำของฟองน้ำทะเลที่นำมาวิเคราะห์โลหะหนัก



A007

ฟองน้ำแฉกกันสีดำ *Haliclona* sp. "black"



A008

ฟองน้ำท่อสีเทา *Chalinula* sp. "black"



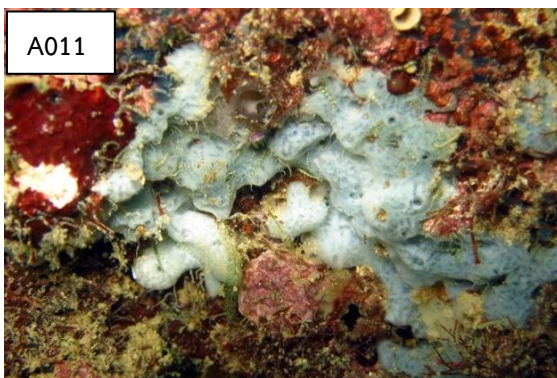
A009

ฟองน้ำท่อสีเหลือง *Chalinula* sp. "yellow"



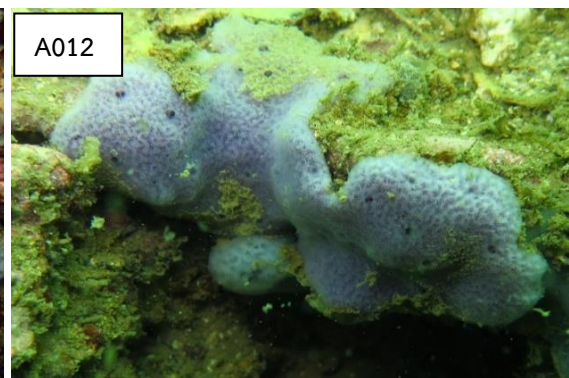
A010

ฟองน้ำเคลือบหนามสีชมพู *Dasychalina fragilis*
Ridley & Dendy, 1886



A011

ฟองน้ำเคลือบสีฟ้า *Gelliodes petrosioides* Dendy,
1905



A012

ฟองน้ำเคลือบสีม่วง *Gelliodes* sp. "purple"

ภาพที่ ข1 (ต่อ)



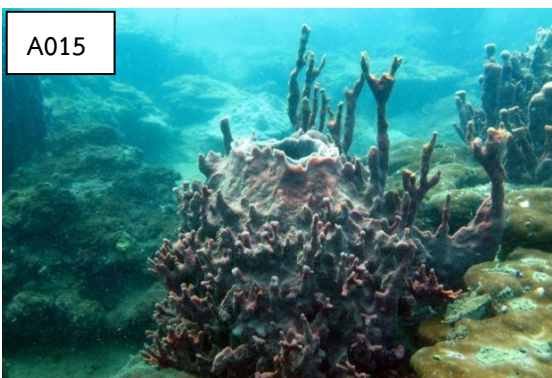
A013

ฟองน้ำท่อพุ่มสีแดง *Oceanapia sagittaria* (Sollas, 1902)



A014

ฟองน้ำสีน้ำตาล *Neopetrosia exigua* (Kirkpatrick, 1900)



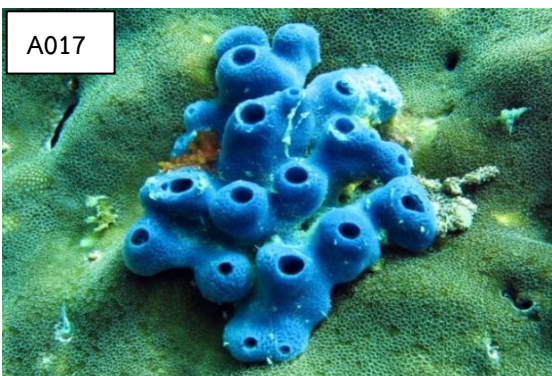
A015

ฟองน้ำครก *Petrosia (Petrosia) sp.* "vase"



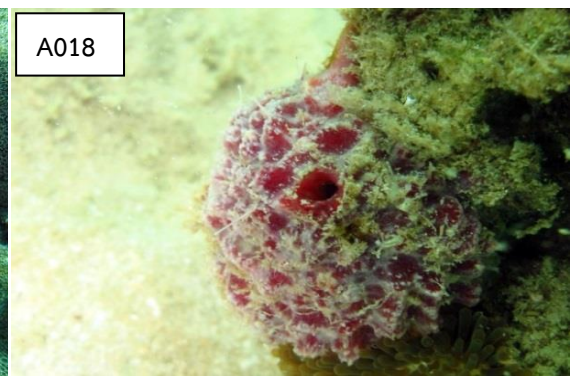
A016

ฟองน้ำเคลือบแข็งสีม่วง *Xestospongia sp.* "purple"



A017

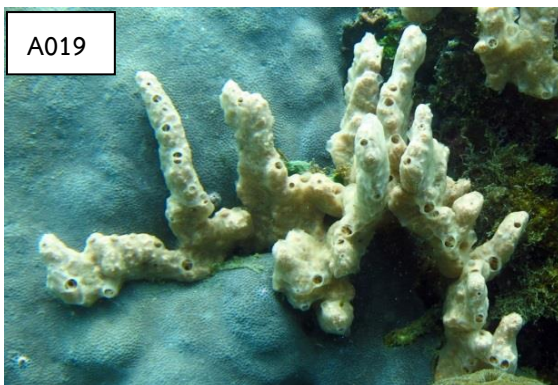
ฟองน้ำสีน้ำเงิน *Neopetrosia sp.* "blue"



A018

ฟองน้ำลูกบอล *Tethya aff. robusta* Bowerbank, 1872

ภาพที่ ข1 (ต่อ)



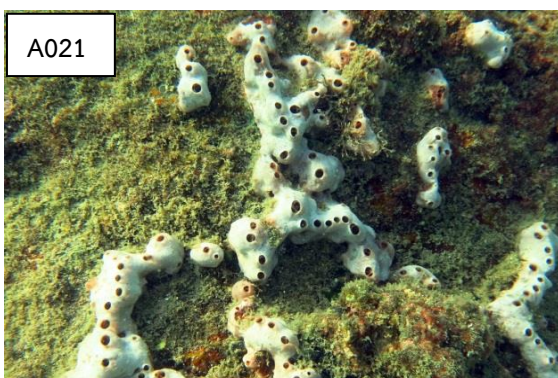
A019

ฟองน้ำเชือก *Clathria (Thalysias) reinwardti*
Vosmaer, 1880



A020

ฟองน้ำฝิ่งตัวสีแดง *Mycale (Mycale) grandis* Gray,
1867



A021

ฟองน้ำสีส้มหม่น *Desmapsamma vervoorti* van
Soest, 1997



A022

ฟองน้ำไฟ *Biemna fortis* (Topsent, 1897)



A023

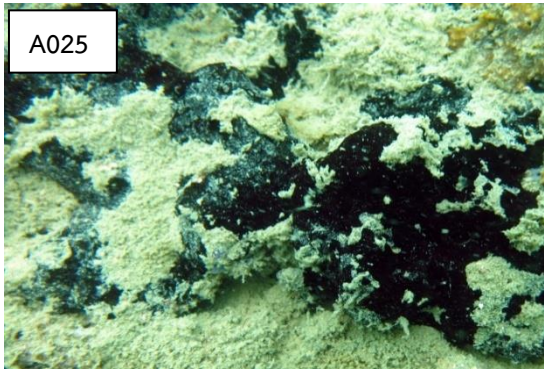
ฟองน้ำกระชาย *Coelocarteria singaporensis*
(Carter, 1883)



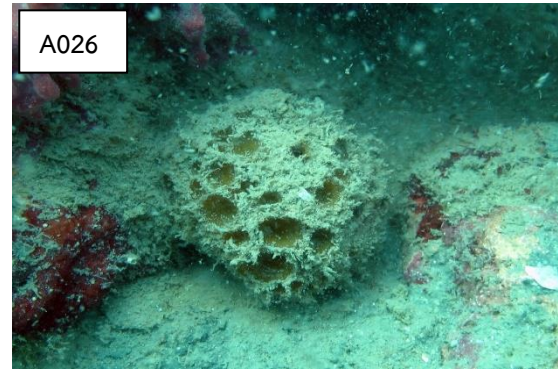
A024

ฟองน้ำสีเทา *Mycale (Zygomycale) parishii*
(Bowerbank, 1875)

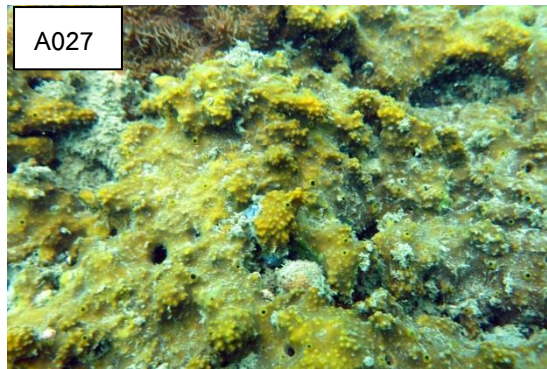
ภาพที่ ข1 (ต่อ)



ฟองน้ำสีดำเมือกม่วง *Iotrochota baculifera* Ridley,
1884



ฟองน้ำลูกกอล์ฟ *Paratetilla bacca* (Selenka, 1867)



ฟองน้ำเปลี่ยนสี *Pseudoceratina purpurea* (Carter, 1880)

ภาพที่ ข1 (ต่อ)