

ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณเรือจมมัตโปน จังหวัดชลบุรี

The Quantity of Heavy Metals in Sediments around Mattapon Shipwreck, Chonburi Province

ชนกพร คำพระ¹, สุชาย วรชนะนันท์¹, ภาสินี วรชนะนันท์² และ จิตรภรณ์ พักโสภา^{1*}

Chanokporn Khamphra¹, Suchai Worachananant¹, Pasinee Worachananant² and Jitraporn Phaksopa^{1*}

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹ Marine science Department, Faculty of fisheries, Kasetsart University

² Environmental Technology and Management Department, Faculty of Environment, Kasetsart University

Received : 5 January 2019

Revised : 11 March 2019

Accepted : 5 April 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณเรือจมมัตโปน ซึ่งตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะล้าน จ.ชลบุรี ที่ระดับความลึกน้ำประมาณ 22 เมตร จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 12 จุด ได้แก่ ด้านใน กลาง และด้านนอกของปะการังเทียมแต่ละด้าน และจุดอ้างอิงห่างจากฝั่งอีกประมาณ 700 เมตร โดยโลหะหนักที่ทำการศึกษาทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี และทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ครั้งในเดือนมิถุนายน ตุลาคม ธันวาคม พ.ศ. 2560 มีนาคมและมิถุนายน พ.ศ.2561 ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณทองแดง 0.08-0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแมงกานีสอยู่ระหว่าง 28.21-45.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเหล็ก 609.79-1213.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม 0.21-0.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่ว 9.08-13.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสังกะสี 1.72-4.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่พบส่วนใหญ่ยกเว้นแมงกานีสจะมีค่าสูงกว่าบริเวณจุดอ้างอิง ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามเวลาพบว่าปริมาณโลหะหนักเกือบทุกตัวมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่ใกล้เคียง 2 บริเวณ (บางละมุงและมาบตาพุด) ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ทางทะเลเช่นกัน พบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษามีปริมาณตะกั่วสูงกว่าทั้งสองพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักที่พบทั้งหมดยังไม่เกินค่ามาตรฐานที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศในทะเล

คำสำคัญ : ดินตะกอน, โลหะหนัก, เรือจมมัตโปน

*Corresponding author. E-mail : jitraporn133@gmail.com

Abstract

This research was studied on some heavy metals in sediment around Mattaponi Shipwreck, mounted at 22m depth, located in Northeast of Koh Lan, Chonburi Province from 12 stations including the near, middle and outer aspects of each side and one reference point (700 meters from the shore). Sediments were acid digested and analyzed for the following six selected heavy metals: Copper (Cu), Manganese (Mn), Iron (Fe), Cadmium (Cd), Lead (Pb), and Zinc (Zn). The study was conducted 5 times in June, October and December in 2017, March and June in 2018. The results showed that the average amount of Copper was 0.08-0.49 mg/kg, Manganese 28.21-45.18 mg/kg, Iron 609.79-1213.75 mg/kg, Cadmium 0.21-0.70 mg/kg, and Lead 9.08-13.94 mg/kg. The concentrations of these heavy metals except Manganese were higher than the reference point. However, the concentration of heavy metals were gradually decreased by time. In comparison with other two areas – Banglamung and Maptaphut, the concentration of Lead in the study area was higher than both areas. However, the mean concentrations of these heavy metals in sediment did not exceed the critical concentrations levels that will affect the organisms and marine ecosystem.

Keywords : sediment, heavy metal, Mattaponi Shipwreck

บทนำ

ในปัจจุบันความตระหนักของกระแสสังคมด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้ทรัพยากรและแสวงหาประโยชน์ทางทะเลเพิ่มขึ้นทำให้ทรัพยากรธรรมชาติทางทะเลลดลงหรือเสื่อมโทรมลงไปอย่างชัดเจน ดังนั้นหลายหน่วยงานจึงหาแนวทางในการลดการใช้ประโยชน์จากปะการังธรรมชาติ และสร้างที่อยู่ของสัตว์น้ำเพิ่มโดยนำปะการังเทียมรูปแบบต่างๆ ไปวางบนพื้นท้องทะเล เพื่อเป็นการอนุรักษ์ควบคู่กับการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรทางทะเลอย่างมั่นคงและยั่งยืน

ส่วนอนุรักษ์และฟื้นฟู สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ได้จัดทำโครงการฟื้นฟูระบบนิเวศทางทะเลจังหวัดชลบุรีเพื่อเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯ สยามมกุฎราชกุมาร เนื่องในวโรกาสทรงเจริญพระชนมายุ 60 พรรษา โดยการจัดวางเรือมัตโพน เรือมัตโพนมีความยาวประมาณ 35 เมตร ความกว้าง 10 เมตร อยู่ในน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 22-25 เมตร เพื่อใช้ประโยชน์ในการสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำแหล่งใหม่และเป็นสถานที่ท่องเที่ยวดำน้ำลึก ต่อมามีการนำปะการังเทียมลูกบาศก์ล้อมรอบตัวเรือ 4 ด้าน ด้านละ 3 กอง โดยมีระยะห่างประมาณ 2-3 เมตร เพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างของ ความเข้มข้นของออกซิเจนบนผิวของโลหะที่ขึ้นจนกระทั่งเกิดการออกซิไดซ์ การกัดกร่อนประเภทนี้มักเกิดกับโลหะที่เกิดการออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยที่ไม่ได้มีการเคลือบสารป้องกันไว้ เช่น เหล็ก (Fe) ในการวางปะการังเทียม สันฐานวิทยาหรือพื้นดินใต้ท้องทะเลก็มีความสำคัญต่อการไหลเวียนของมวลสารบริเวณวัตถุที่วางลงสู่พื้นทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ลักษณะของดินตะกอน อีกทั้งโครงสร้างเหล็กเมื่อเกิดกระบวนการออกซิไดซ์จะทำให้ดินมีปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น Neerattanapan (2011) ได้กล่าวว่า การปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมจนเกินขีดความสามารถของธรรมชาติที่จะย่อยสลายได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข การรั่วไหลหรือการปนเปื้อน

ของโลหะหนักในแหล่งน้ำเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มทรานซิชัน ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และ Alkesh (2017) ยังกล่าวอีกว่า ความเป็นพิษของโลหะหนักมีผลต่อระบบนิเวศ โภชนาการ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยของผู้บริโภคเบื้องต้น (สัตว์น้ำดิน) ในห่วงโซ่อาหารที่จะนำมาสู่มนุษย์ การนำวัตุดิบสูงพื้นที่ท่องเที่ยวเลควรรศึกษาผลกระทบที่จะเกิดกับสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาต่อไป

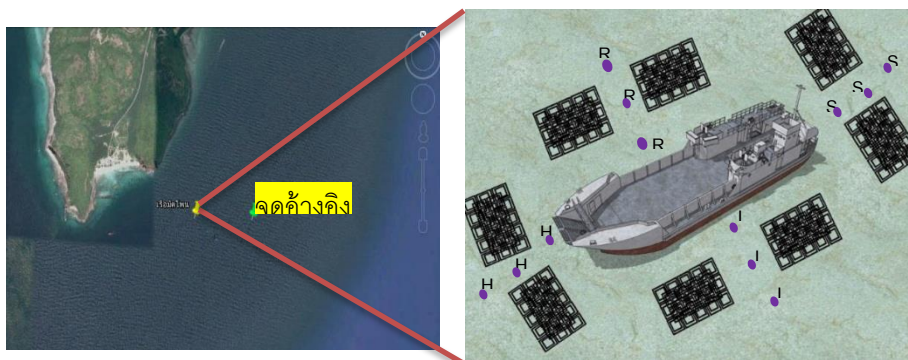
ดังนั้นการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่เรือมัตโปนตามช่วงเวลาในครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงแนวโน้มปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการวางปะการังเทียมโครงสร้างเหล็กในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

ศึกษาบริเวณจุดที่มีการจัดวางเรือจมัตโปน ซึ่งอยู่บริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะล้าน (12°53'48.78"N และ 100°47'0.90"E) เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี โดยทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่รอบเรือมัตโปน กำหนดจุดเก็บข้อมูลทั้งหมด 12 จุด (ภาพที่ 1) รวมถึงจุดอ้างอิง (12°53'51.00"N และ 100°47'12.00"E) ซึ่งอยู่ห่างจากหน้าหาดนวลประมาณ 700 เมตร

การกำหนดจุดอ้างอิง โดยเลือกพื้นที่ที่มีความลึกและสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่าง เพราะความลึกมีผลทำให้เกิดลักษณะตะกอนมีความแตกต่างกันตามพื้นฐานทางธรณีวิทยา อย่างไรก็ตาม ทิศทางของกระแสน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดเดาการไหลเวียนของกระแสน้ำรอบตัวเรือ แต่การวัดกระแสน้ำบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากช่องการไหลของกระแสน้ำบริเวณรอบตัวเรือมาได้หลายทิศทาง เกิดจากปะการังเทียมทรงลูกบาศก์ที่อยู่รอบตัวเรือ ซึ่งเป็นไปได้ยากต่อการวัดกระแสน้ำในเวลาใกล้เคียงกัน และจำกัดด้วยเวลาการดำน้ำเก็บตัวอย่างของนักวิจัย



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บข้อมูลการตกตะกอนดินและขนาดอนุภาคของดินตะกอน

หมายเหตุ	H1= หัวเรือด้านใน	H2= หัวเรือตอนกลาง	H3= หัวเรือด้านนอก
	S1= ท้ายเรือด้านใน	S2= ท้ายเรือตอนกลาง	S3= ท้ายเรือด้านนอก
	L1= กราบซ้ายเรือด้านใน	L2= กราบซ้ายเรือตอนกลาง	L3= กราบซ้ายเรือด้านนอก
	R1= กราบขวาเรือด้านใน	R2= กราบขวาเรือตอนกลาง	R3= กราบขวาเรือด้านนอก

2. ช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ครั้ง คือ ช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธันวาคม พ.ศ. 2560) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561) และช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561)

3. การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินตะกอนแบบท่อด้วยมือ (Hand core sampler) ซึ่งเป็นท่ออะครีลิคใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ดัดแปลงจาก Mudroch and MacKnight (1994) เก็บดินตะกอนโดยวิธี SCUBA diving โดยแต่ละจุดจะทำการกดท่อในแนวตั้งและตั้งฉากกับพื้นท้องน้ำ ที่ความลึก 3 เซนติเมตร จากนั้นตัดดินชั้นละ 1 เซนติเมตร ทั้งหมด 3 ชั้น จากการศึกษาอัตราการตกตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน ของ Srisuksawad *et al.*, (1996) ได้ทำการศึกษารอบการทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่า อัตราการทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่พิกัด 13°20'N ถึง 100°30'E มีค่าระหว่าง 0.270 – 0.490 โดยมีค่าเฉลี่ย 0.330+0.100 g/cm²/yr รวมถึงการศึกษาของ Srisuksawad *et al.*, (2013) ซึ่งได้ศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอัตราการทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่า ค่าอัตราการทับถมของตะกอนสูงสุดมีค่า 0.490 g/cm²/yr จากกล่าวมา ดังนั้นเรือมัดโพนถูกจมได้เพียง 5 ปี จึงศึกษาชั้นดินตะกอนที่ความลึก 3 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างเก็บตัวอย่างไปแช่น้ำแข็งก่อนนำไปแช่ในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

4. การเตรียมดินก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก (Cu, Mn, Fe, Cd, Pb and Zn)

นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากตู้อบแล้วปล่อยให้เย็นลง จากนั้นนำเปลือกหอยออกตัวอย่างดินและนำไปบดร่อนผ่านตะแกรงที่ทำจากสแตนเลสรูขนาดช่องตา 63 ไมครอน (Pollution Control Department, 2015) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักดินตะกอน 2 กรัม ก่อนนำไปเข้าเครื่องย่อยไมโครเวฟต่อไป

5. การเตรียม Calibration curve

เป็นการหาค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่นำไปหักลบค่าดูดกลืนแสงของ blank โดยเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยใช้ความเข้มข้น 1,000 ppm ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดประจุ (distilled deionized water) ให้ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอนจำนวน 5 ค่า และรวมค่าของน้ำกลั่นปลอดประจุ ซึ่งแสดงค่าเป็นศูนย์ โดยให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ทำการเจือจางจำนวน 6 ค่า เพื่อให้ครอบคลุมค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดิน (Cu, Mn, Fe, Cd, Pb and Zn)

การวิเคราะห์โลหะหนักในดินตะกอน ทำการย่อยตัวอย่างดิน 2 กรัม โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เข้มข้น 5 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 3 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก (HCL) เข้มข้น 1 มิลลิลิตร (กรดที่นำมาใช้เป็น Lab grade ที่มีความบริสุทธิ์สูง) เติมน้ำในบีกเกอร์ที่ฟล้อนที่เป็นอุปกรณ์ของเครื่องไมโครเวฟ จากนั้นทำการย่อยดินตามวิธีการของเครื่องไมโครเวฟ (CEM The MAR6 One Touch Technology) กรองเอาเฉพาะสารละลายด้วยกระดาษกรอง Standard grade Whatman No.4 (อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก เก็บกระดาษกรองไว้ในเดสิคเคเตอร์จนกว่าจะใช้ในการทดลอง) ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นปลอดประจุ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) แบบ Flame ซึ่งเป็นวิธีการที่กรมควบคุมมลพิษให้การยอมรับในการทดสอบโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี (Pollution Control Department, n.d.) และการศึกษาของ Thongra-ar (2017) ใช้วิธีทดสอบความเข้มข้นของโลหะหนัก

ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) แบบ Flame ได้แก่ สังกะสี ทองแดง และเหล็ก รวมถึงวิธีของ Channual (2007) ทำการวิเคราะห์โลหะหนักในดิน ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง และ Silarat (2015) มีการศึกษาโลหะหนักในดิน ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส แคดเมียม เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี เช่นกัน

ผลการวิจัย

เนื่องจากบริเวณเรือจมน้ำมีกระบวนการกัดกร่อนแบบ Erosion Corrosion พบได้มากในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำ เช่น ใบพัดเรือ และใบพัดของเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น การกัดกร่อนรูปแบบนี้เกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ Electrochemical Corrosion และแรงกระแทกของของไหลหรือจากเศษผงอื่นๆ ในของไหล ซึ่งโลหะบางชนิดอาจจะสามารถสร้าง Oxide Film เพื่อปกป้องได้ดีแต่เมื่ออยู่ในสภาพน้ำไหลแรง หรือมีแรงกระแทก ก็จะทำให้ Oxide Film นั้นถูกทำลายไปโลหะก็จะกัดกร่อนและไหลไปตามกระแส น้ำ หรือตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำได้ และสะสมในดินตะกอนต่อไป

การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำและตะกอนดิน ที่มีรายงานพบ ได้แก่ สารหนู (Arsenic: As) แคดเมียม (Cadmium: Cd) โคบอลต์ (Cobalt: Co) โครเมียม (Chromium: Cr) ทองแดง (Copper: Cu) เหล็ก (Ferrous: Fe)ปรอท (Mercury: Hg) ตะกั่ว (Lead: Pb) แมกนีเซียม (Magnesium: Mg) แมงกานีส (Manganese: Mn) โมลิบดีนัม (Molybdenum: Mo) นิกเกิล (Nickel: Ni) แวนาเดียม (Vanadium: V) และสังกะสี (Zinc: Zn) (Keepax et al., 2011) โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกโลหะหนักที่น่าจะเกิดจากการกัดกร่อนของเรือจมน้ำท้องทะเล และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนของใน และต่างประเทศ โดยปริมาณโลหะหนักที่พบบริเวณเรือจมน้ำมีดังนี้

ทองแดง (Cu)

ปริมาณทองแดงที่พบอยู่ในช่วง 0-1.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 2) โดยปริมาณของทองแดงลดลงอย่างชัดเจนตามช่วงเวลาโดยพบมากที่สุดในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 บริเวณ L2 และ L3 และต่ำที่สุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 แทบทุกจุดเก็บตัวอย่าง และหากเปรียบเทียบปริมาณทองแดงตามพื้นที่พบว่าปริมาณทองแดงค่อนข้างสูงบริเวณหัวเรือเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น สำหรับจุดอ้างอิงนั้นปริมาณทองแดงลดลงตามระยะเวลาเช่นกัน โดยปริมาณทองแดงที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาสูงกว่าจุดอ้างอิงเฉพาะในมิถุนายนและเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณทองแดงในทุกเดือนพบสูงสุดไม่เกินค่ามาตรฐานไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (Pollution Control Department, 2016)

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณทองแดงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บริเวณ H1, H2, H3, S1, S2, S3, L1, L2 และ R2 ทั้งนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ บริเวณ R1, R3 และ Ref. ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของทองแดงกับช่วงเวลา

		One - Way ANOVA											
	Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3
F	3.691	10.875	10.774	12.308	21.260	10.453	38.288	7.335	15.947	15.184	2.152	24.927	0.561
P	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	>0.05

หมายเหตุ: หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แมงกานีส (Mn)

จากสำรวจพบว่าปริมาณเฉลี่ยของแมงกานีสในดินตะกอนอยู่ในช่วง 19 - 71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 3) โดยพบมากที่สุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 บริเวณจุด Ref. และ H3 มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และไม่มี ความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสในแต่ละจุดมากนัก สำหรับจุดอ้างอิงนั้นปริมาณแมงกานีสลดลงตามระยะเวลาเช่นกัน โดยปริมาณแมงกานีสที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาต่ำกว่าจุดอ้างอิง และคงที่ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561 อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานค่ามาตรฐานของแมงกานีสในดินตะกอนชายฝั่งในประเทศไทย แต่ยังคงถือว่าพบในปริมาณที่น้อยมาก



ภาพที่ 3 ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยในดินตะกอน

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณแมงกานีสในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บริเวณ H1, H2, H3, S1, S2, S3, L1, L2, L3 และ R2 ทั้งนี้พบว่าบริเวณ R1, R3 และ Ref ไม่พบความแตกต่างทางสถิติดังตารางที่ 2

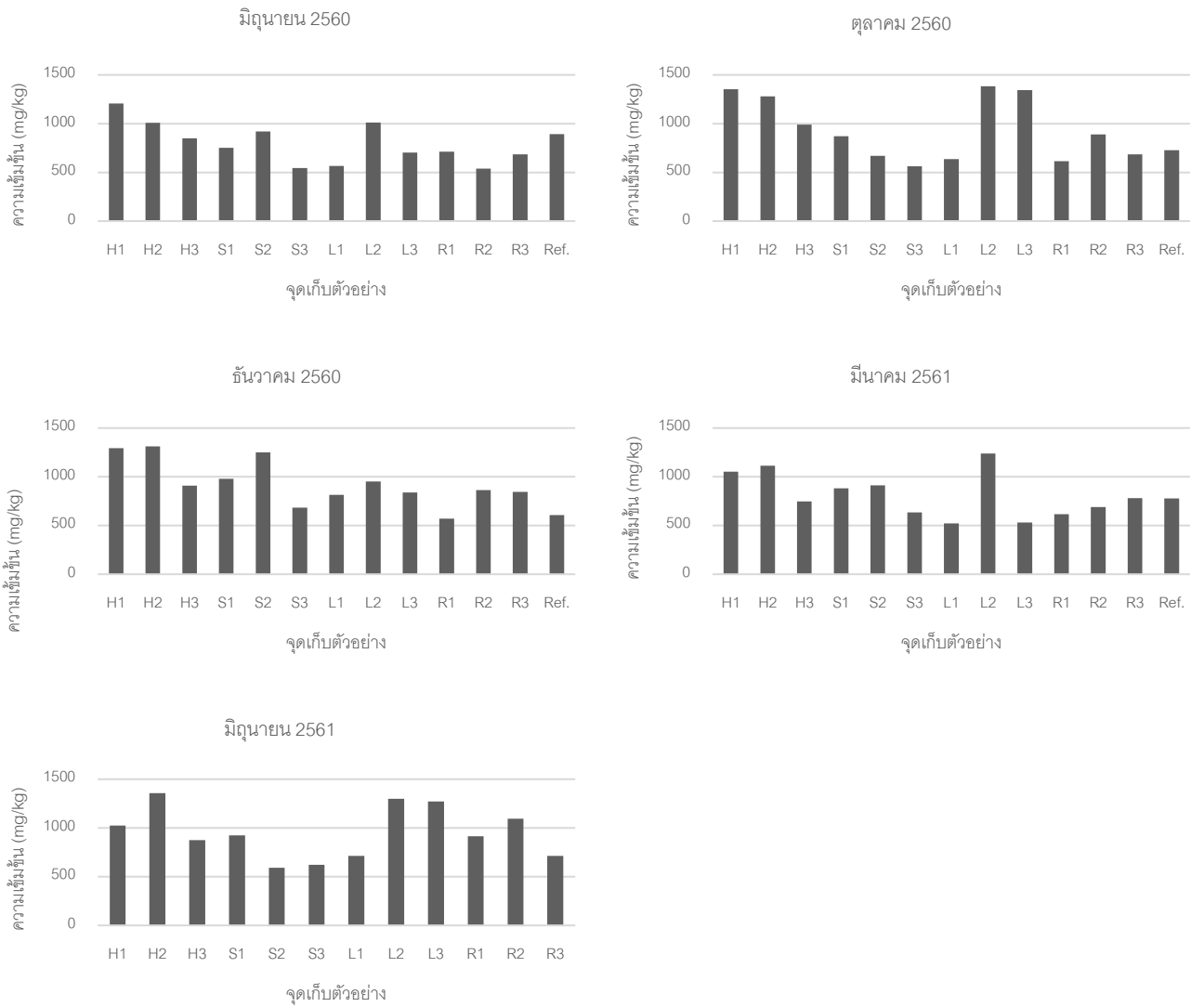
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของแมงกานีสกับช่วงเวลา

		One - Way ANOVA											
	Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3
F	3.691	10.875	10.774	12.308	21.260	10.453	38.288	7.335	15.947	15.184	2.152	24.927	0.561
P	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	>0.05

หมายเหตุ: ** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เหล็ก (Fe)

จากภาพที่ 4 พบว่าปริมาณเหล็กในดินตะกอนอยู่ในช่วง 520-1400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณเหล็กค่อนข้างแปรปรวนในแต่ละเดือน และหากเปรียบเทียบปริมาณเหล็กตามพื้นที่พบว่าปริมาณเหล็กค่อนข้างสูงบริเวณหัวเรือเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น สำหรับจุดอ้างอิงนั้นปริมาณเหล็ก ค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกเดือนที่ทำการศึกษาไม่เกิน 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานค่ามาตรฐานของแมงกานีสในดินตะกอนชายฝั่งในประเทศไทย แต่ยังคงถือว่าพบในปริมาณที่น้อยมาก



ภาพที่ 4 ปริมาณเหล็กเฉลี่ยในดินตะกอน

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณเหล็กในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บริเวณ H1, H2, S1, S2, L1, L2, L3, R1, R2 และ R3 ทั้งนี้พบว่าบริเวณ H3, S3, และ Ref ไม่พบความแตกต่างทางสถิติดังตารางที่ 3

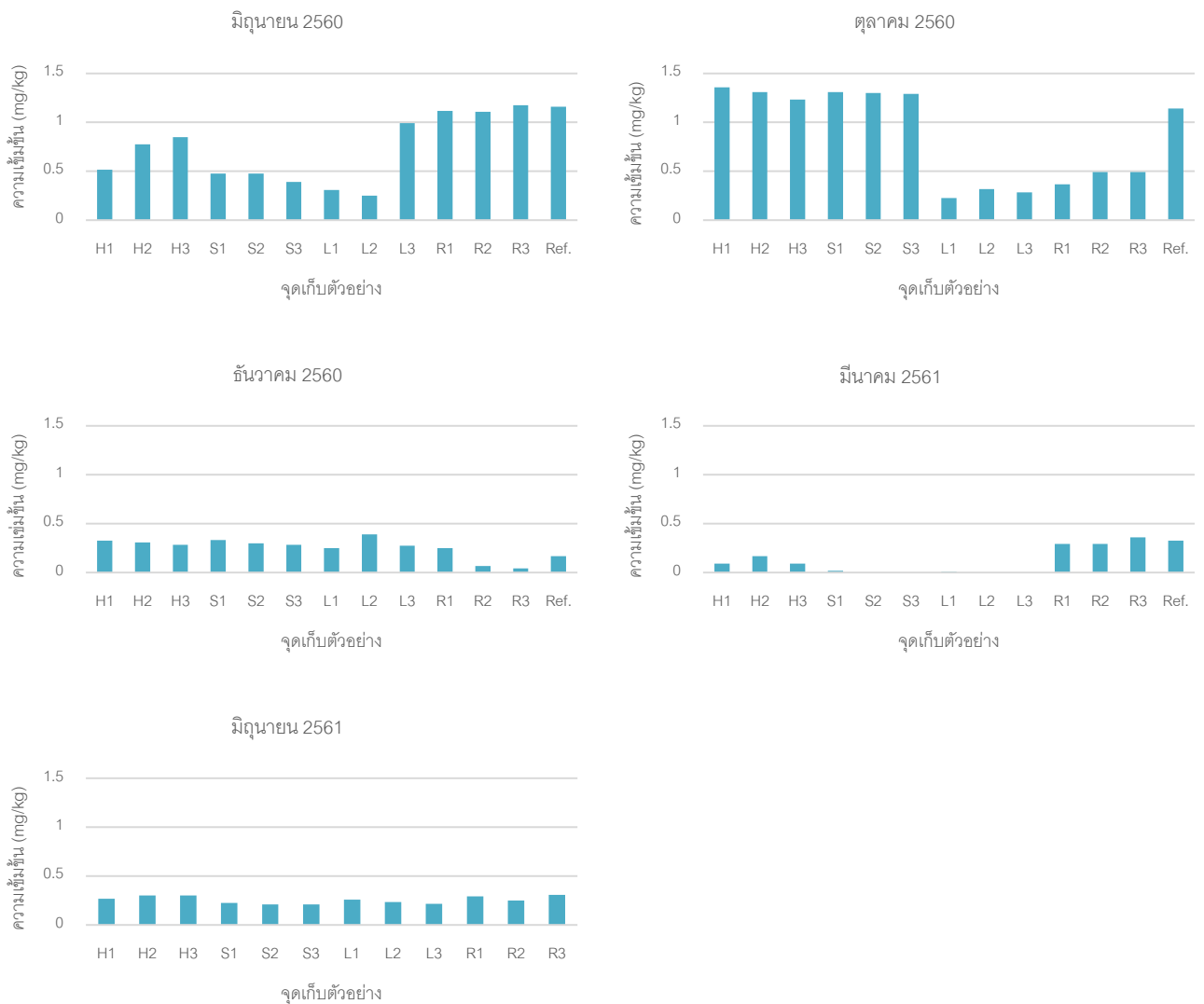
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของเหล็กกับช่วงเวลา

		One - Way ANOVA											
	Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3
F	3.142	11.960	6.667	2.566	6.917	32.563	1.718	16.956	16.306	43.555	11.826	9.035	4.278
P	>0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

หมายเหตุ: หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แคดเมียม (Cd)

โดยปริมาณแคดเมียมที่พบอยู่ในช่วง 0-1.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 5) พบมากที่สุดในเดือนมิถุนายน และ ตุลาคม พ.ศ. 2560 และลดลงเรื่อยๆ ตามเวลา และหากเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมตามพื้นที่พบว่าปริมาณแคดเมียมในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 พบมากบริเวณกราบขวาเรือ และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 พบว่ามีค่ามากที่สุดในทุกเดือน ส่วนใหญ่พบบริเวณหัวเรือ และท้ายเรือ สำหรับจุดอ้างอิงนั้นปริมาณแคดเมียมลดลงตามระยะเวลาเช่นกัน และปริมาณแคดเมียมในพื้นที่ศึกษาที่ค่าใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตามค่าแคดเมียมมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Pollution Control Department, 2016)



ภาพที่ 5 ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในดินตะกอน

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด รวมถึงจุดอ้างอิงเช่นกัน ดังตารางที่ 4

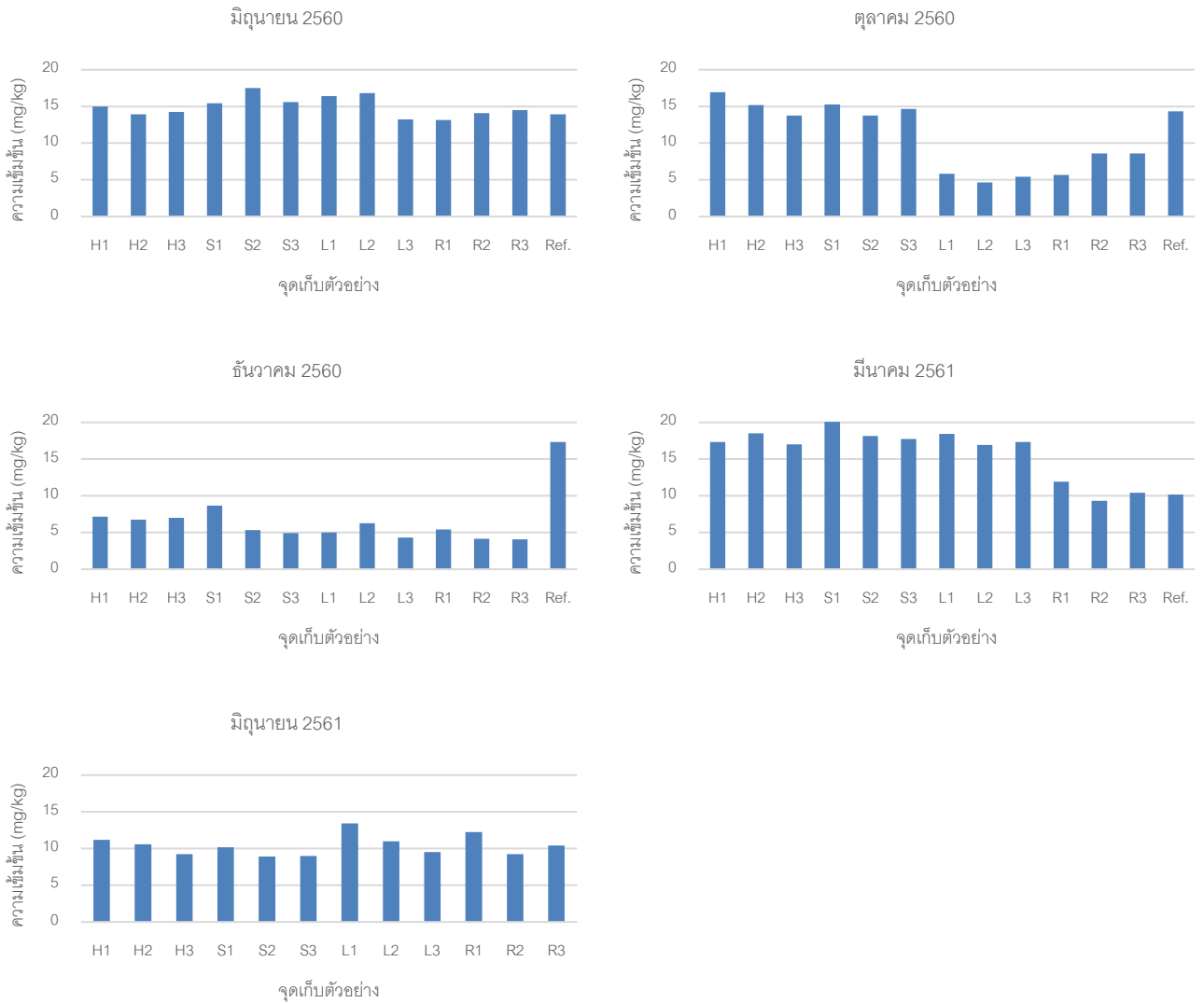
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของแคดเมียมกับช่วงเวลา

		One - Way ANOVA											
	Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3
F	139.822	254.093	109.126	284.404	118.443	181.135	160.612	29.727	37.119	67.443	43.060	116.425	139.822
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

หมายเหตุ: หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตะกั่ว (Pb)

ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 4 – 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6) โดยปริมาณของตะกั่วแปรผันตามช่วงเวลา ซึ่งพบมากที่สุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 และต่ำที่สุดในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 และหากเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วตามพื้นที่พบว่าปริมาณตะกั่วค่อนข้างใกล้เคียงกันเกือบทุกจุดเก็บตัวอย่าง ยกเว้นบริเวณกราบเรือด้านขวาเรือที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่าแต่ก็มีเฉพาะเพียงในช่วงเดือนมีนาคม 2561 เท่านั้น สำหรับจุดอ้างอิงนั้นพบว่าปริมาณตะกั่วลดลงตามระยะเวลา โดยปริมาณตะกั่วที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาสูงกว่าจุดอ้างอิงเฉพาะในเดือนมีนาคมเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามค่าจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดในทุกเดือนไม่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน 52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pollution Control Department, 2016)



ภาพที่ 6 ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในดินตะกอน

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกจุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษารวมถึงจุดอ้างอิง ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของตะกั่วกับช่วงเวลา

		One - Way ANOVA											
	Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3
F	25.379	66.094	44.011	68.816	24.100	94.310	191.062	65.815	202.491	108.649	31.283	47.660	52.984
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

หมายเหตุ: หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สังกะสี (Zn)

ปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง 0.9 - 6.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 7) โดยปริมาณของตะกั่วค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในช่วงเวลาที่ทำกรเก็บข้อมูล ซึ่งจะพบปริมาณสังกะสีมากที่สุดในตุลาคม พ.ศ. 2560 และหากเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีตามพื้นที่พบว่าปริมาณสังกะสีค่อนข้างใกล้เคียงกันเกือบทุกจุดเก็บตัวอย่าง สำหรับจุดอ้างอิงนั้นพบว่าปริมาณสังกะสีใกล้เคียงกันในทุกเดือน แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดลองไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 102 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pollution Control Department, 2016)



ภาพที่ 7 ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในดินตะกอน

เมื่อนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้ความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) บริเวณ H1, H2, H3, S2, L2, L3, R1 และ R2 ทั้งนี้พบว่าบริเวณ S1, S3, L1, R3 และ Ref. ไม่พบความแตกต่างทางสถิติดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของสังกะสีกับช่วงเวลา

One - Way ANOVA													
Ref	H1	H2	H3	S1	S2	S3	L1	L2	L3	R1	R2	R3	
F	4.088	24.331	3.789	19.093	3.250	10.194	2.818	2.081	8.277	38.044	7.068	32.118	3.213
P	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05

หมายเหตุ: หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบจากการทดลองในแต่ละฤดูกาล และจุดเก็บตัวอย่างไม่คงที่ อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของพื้นที่ และช่วงฤดูกาล รวมถึงทิศทางการไหลของกระแสน้ำที่ค่อนข้างเป็นไปได้ในหลายทิศทางในแต่ละช่วงฤดูกาล

วิจารณ์ผลการวิจัย

ในอดีตที่ผ่านมาในประเทศไทยยังไม่เคยมีการศึกษาถึงปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณปะการังเทียมประเภทเรือจมมาก่อน ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่พบบริเวณจุดเก็บตัวอย่างรอบตัวเรือมัตโพนกับบริเวณใกล้เคียงที่มีการศึกษาโลหะหนัก ได้แก่ บริเวณบางละมุง ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวและขนส่งสินค้าที่สำคัญของจังหวัดชลบุรีและยังตั้งใกล้กับท่าเรือแหลมฉบัง (Bureau of Geotechnical Technology, 2012) และบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (Silarat, 2015) เนื่องจากข้อมูลของพื้นที่ใกล้บริเวณจุดเก็บตัวอย่างมากที่สุด พบว่าปริมาณโลหะหนักบริเวณพื้นที่บางละมุงสูงกว่าบริเวณพื้นที่ศึกษา ในทางตรงกันข้ามปริมาณโลหะหนักที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษาลับสูงกว่าบริเวณพื้นที่มาบตาพุดซึ่งเป็นแหล่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของประเทศซึ่งอาจเนื่องมาจากมีการจัดการน้ำเสียก่อนลงสู่ทะเลอย่างมีระบบ

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักบริเวณเรือจมน้ำตโปน บางละมุง และมาบตาพุด

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในของจุดเก็บตัวอย่างในรอบปี (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)					
	Cu	Mn	Fe	Cd	Pb	Zn
H1 (หัวเรือด้านใน)	0.45	32.13	1185.98	0.51	13.52	3.32
H2 (หัวเรือตอนกลาง)	0.49	29.86	1213.75	0.57	12.98	4.13
H3 (หัวเรือด้านนอก)	0.17	38.54	874.37	0.55	12.25	1.97
S1 (ท้ายเรือด้านใน)	0.23	28.58	881.73	0.47	13.92	4.04
S2 (ท้ายเรือตอนกลาง)	0.34	28.71	868.49	0.46	12.73	2.65
S3 (ท้ายเรือด้านนอก)	0.08	28.21	609.79	0.44	12.38	1.86
L1 (กราบซ้ายเรือด้านใน)	0.11	31.26	649.84	0.21	11.82	2.47
L2 (กราบซ้ายเรือตอนกลาง)	0.26	31.91	1176.55	0.24	11.13	3.60
L3 (กราบซ้ายเรือด้านนอก)	0.22	31.08	937.79	0.35	9.97	2.79
R1 (กราบขวาเรือด้านใน)	0.10	31.32	685.77	0.46	9.68	2.52
R2 (กราบขวาเรือตอนกลาง)	0.14	33.12	814.82	0.44	9.08	2.29
R3 (กราบขวาเรือด้านนอก)	0.13	34.60	741.78	0.48	9.60	2.20
Ref. (จุดอ้างอิง)	0.12	45.18	751.58	0.70	13.94	1.72
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด (เรือมัตโปน)	0.22	32.65	876.33	0.45	11.77	2.73
บางละมุง	4.70- 38.60	199.80- 549.90	4,448.00- 14,640.00	<0.30	6.90-12.60	13.10-33.70
ค่าเฉลี่ยบางละมุง	9.50	424.80	10,262.70	0.30	8.90	21.80
มาบตาพุด	4.76	100.62	756.92	0.91	4.18	27.85
ค่ามาตรฐานในดินตะกอน	≤25 ^a	-	-	≤2 ^a	≤52.0 ^a	≤102.0 ^a

หมายเหตุ ^aค่ามาตรฐานในดินตะกอนของ (Pollution Control Department, 2016)

ค่ามาตรฐานเหล็กและแมงกานีสยังไม่พบข้อมูลในประเทศไทย

จากผลการทดลองปริมาณโลหะหนักบริเวณเรือจมน้ำตโปนเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณบางละมุง และมาบตาพุด (ภาพที่ 8) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณทองแดงบริเวณเรือจมน้ำตโปน 0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าพื้นที่บางละมุง (9.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาบตาพุด (4.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากทองแดงเป็นองค์ประกอบใช้เป็นทำลวดตัวนำไฟฟ้า สายไฟ การที่พบปริมาณทองแดงต่ำกว่าพื้นที่อื่นอาจเป็นเพราะก่อนที่จะทำการวางเรือมัตโปนได้มีการปลดสายไฟทั้งหมดออกไปจากตัวเรือแล้ว ทำให้ปริมาณทองแดงที่พบจึงมีปริมาณน้อยและทองแดงมักจะถูกดูดซับได้ดีในทรายละเอียดและดินเหนียว (Depinto *et al.*, 1983)

สำหรับปริมาณแมงกานีสบริเวณเรือจมน้ำตโปนมีค่าเฉลี่ย 32.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบปริมาณน้อยกว่าพื้นที่บางละมุงซึ่งมีค่า 424.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมาบตาพุด 100.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจาก

ระยะเวลาในการวางเรือจมนานพอที่จะทำให้สารเคลือบที่มีส่วนประกอบของแมงกานีสหลุดลงสู่พื้นท้องน้ำได้มากพอที่จะทำให้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสสูง

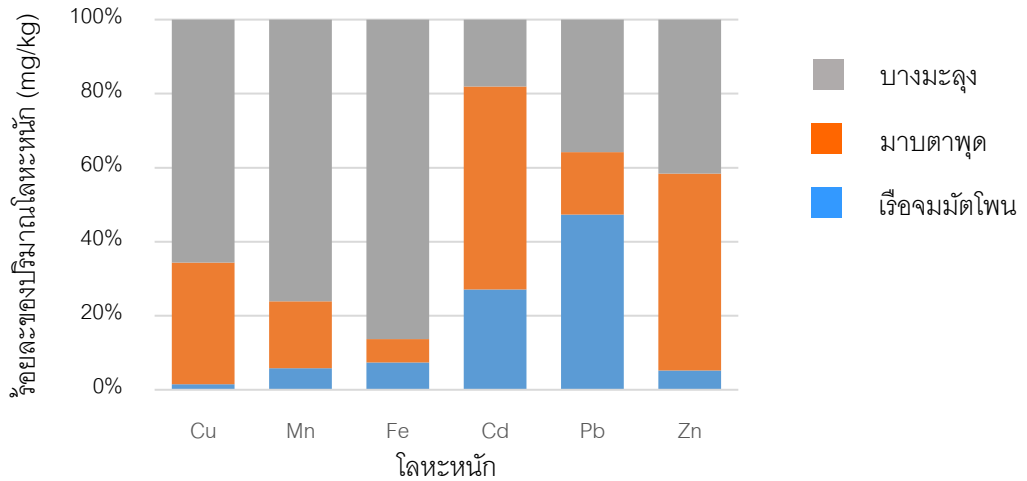
ส่วนปริมาณเหล็กบริเวณเรือจมนัดโพนมีค่าเฉลี่ย 876.33 มิลลิกรัม โดยมีปริมาณน้อยกว่าบางละมุงมีปริมาณ 10,262 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มากกว่ามาบตาพุดมีปริมาณ 756.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจมาจากองค์ประกอบโดยรวมทำจากเหล็ก เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำทำให้เกิดการออกซิไดซ์ในมวลน้ำ ซึ่งวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 สามารถจมน้ำ ส่วนวัตถุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 จะลอยน้ำ (Pornchaloempong, n.d.) ทำให้คาดเดาได้ว่าบริเวณรอบเรือการพัดพาของน้ำอาจจะหมุนเวียน มากกว่าบริเวณมาบตาพุดที่เป็นพื้นที่ชายฝั่งที่มีการพัดพาน้ำจากชายฝั่งสู่ทะเลสมำเสมอตลอด

สำหรับปริมาณแคดเมียมบริเวณเรือจมนัดโพนมีค่าเฉลี่ย 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบปริมาณมากกว่าบางละมุงมีค่าเฉลี่ย 0.30 แต่น้อยกว่ามาบตาพุด 0.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยแคดเมียมส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ประโยชน์แทนอลูมิเนียม เหล็ก (Bram and Anthony, 1983; Van der Zee *et al.*, 1988) และเป็นส่วนผสมในคอนกรีต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากบริเวณบางละมุง เพราะบริเวณจุดเก็บตัวอย่างมีปะการังเทียมลูกบาศก์ซึ่งทำจากคอนกรีตล้อมรอบตัวเรือ

บริเวณเรือจมนัดโพนมีปริมาณตะกั่วเฉลี่ย 11.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณตะกั่วสูงกว่าทั้งบริเวณบางละมุง(ค่าเฉลี่ย 8.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาบตาพุด (4.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งการที่ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินบริเวณพื้นที่ศึกษาสูงกว่าบริเวณอื่นทั้งนี้อาจเป็นเพราะชั้นส่วนของตัวเรือมีการปลดปล่อยออกมาและถูกทับถมอยู่ในตะกอน หรืออีกนัยหนึ่งอาจเกิดจากลักษณะดินตะกอนในบางจุดเก็บตัวอย่างมีลักษณะเป็นดินโคลน ซึ่งกักเก็บสารอินทรีย์ในดินตะกอนได้ดี ทำให้ปริมาณโลหะหนักเพิ่มขึ้นตามลักษณะดินตะกอนที่อาจพัดพาจากบริเวณอื่นได้ด้วย

สำหรับปริมาณสังกะสีบริเวณเรือจมนัดโพนมีค่าเฉลี่ย 2.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าบางละมุง (21.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาบตาพุด (27.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากสังกะสีเป็นองค์ประกอบใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า การที่ปริมาณสังกะสีต่ำกว่าพื้นที่อื่นเนื่องจากก่อนการวางเรือจมนัดโพนได้มีการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าออกไปจากตัวเรือแล้วทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณสังกะสีที่พบจึงมีปริมาณน้อย

เมื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนพบว่าบริเวณเรือจมนัดโพนแม้ว่าปริมาณตะกั่วพบมากที่สุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่บางละมุง และมาบตาพุด เพราะทั้งโครงสร้างของเรือจมนัดโพน และส่วนผสมคอนกรีตบางชนิดมีส่วนผสมของตะกั่ว รวมถึงสังกะสี และทองแดง เป็นต้น (Budnumpetch *et al.*, 2011) แต่อย่างไรก็ตามค่าที่พบทั้งหมดยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำร่วมไปถึงห่วงโซ่อาหารของมนุษย์



ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนแต่ละพื้นที่

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี บริเวณเรือจมน้ำตื้นที่ตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะล้าน จ.ชลบุรี ที่ระดับความลึกน้ำประมาณ 22 เมตร โดยมีจุดอ้างอิงซึ่งห่างจากเรือจมน้ำตื้นประมาณ 700 เมตร พบว่าปริมาณทองแดง 0.08-0.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยบางจุดพบมากกว่าหรือใกล้เคียงจุดอ้างอิงเกือบทุกจุดยกเว้นทำยเรือด้านนอก ปริมาณแมงกานีสอยู่ระหว่าง 28.21-45.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบบริเวณรอบตัวเรือมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณจุดอ้างอิงทุกจุด ซึ่งหากมีปริมาณสูงจะทำให้มีสภาพพูนสีน้ำตาลแดงโดยมักเกิดปฏิกิริยาร่วมกับเหล็ก ปริมาณเหล็กที่พบบริเวณเรือจมน้ำตื้นพบมากกว่าจุดอ้างอิงปริมาณ 609.79-1213.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีเพียงทำยเรือด้านนอก กราบซ้ายเรือด้านใน กราบขวาเรือด้านใน และกราบขวาเรือด้านนอกที่พบน้อยกว่าบริเวณจุดอ้างอิง การตกตะกอนของเหล็กออกไซด์ยังมีความเข้มข้นของ แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีลดลงอีกด้วย ส่วนปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.21-0.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว 9.08-13.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งทั้งปริมาณแคดเมียมและตะกั่วมากกว่าบริเวณจุดอ้างอิง ส่วนปริมาณสังกะสีในช่วง 1.72-4.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและบริเวณเรือจมน้ำตื้นมีปริมาณสังกะสีมากกว่าจุดอ้างอิงทุกจุด

จากการศึกษาพบว่าการสะสมของปริมาณโลหะหนักที่พบบริเวณรอบเรือจมน้ำตื้นที่พบส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าจุดอ้างอิง เช่น แคดเมียม เหล็ก และสังกะสี อีกทั้งตะกั่วบริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นๆ (บางมะลูงและมาบตาพุด) ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามเวลาพบว่าโลหะหนักเกือบทุกตัวมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งปริมาณการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินนั้นเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย เช่น อัตราการปลดปล่อยโลหะหนักจากตัวเรือ ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำ และลักษณะของตะกอนดิน (ขนาดอนุภาคของดินตะกอน, ปริมาณน้ำในดินตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน) เป็นต้น ที่สัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน แต่ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักที่พบยังไม่เกินค่ามาตรฐานที่ส่งผลเสียหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศพื้นที่องทะเล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง และคณะสิ่งแวดล้อมที่เชื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- Bram, E. and W. Anthony. (1983). Cadmium and lead through an agricultural food chain. Texas A. and M. Univ., *Sci. Total Environ.*, 28, 295-307.
- Budnumpetch, T. and Punsombut. P. (2011). *Utilization of Lime mud and Fly ash for Lightweight Brick Production by Chemical Activation*. Faculty of Environment and Resource Studies. Mahasarakham University. (in Thai)
- Bureau of Geotechnical Technology. (2012). *Physical Geology of the Upper Gulf of Thailand*. Academic report No. Thor. 9/2555. Marine Geology. Bureau of Geotechnical Technology. (89 pages). (in Thai)
- Depinto, J.V., T.C. Young and S.C. Matin. (1983). Metal composition of soil sediment and Urban dust and dirt samples from the Menomoce River Watershed. U.S.A. *Water Air Soil Pollut.* ,22 (3), 257-278.
- Hungspreugs, M. and C. Yuangthong. (1983). A history of metal pollution in the upper Gulf of Thailand. *Mar. Poll. Bull.* ,14, 465-469.
- Keepax, R. E., Moyes, L. N., Livens, F. R. (2011). Speciation of heavy metals and radioisotopes. In S. Aleksandar (Ed.), *Environmental and Ecological Chemistry*, Volume II, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) (pp. 165 – 199). Retrieved January 5,2019 from <http://www.eolss.net/SampleChapters/C06/E6-13-03-05.pdf>.
- Mudroch, A. and S.D. MacKnight. (1994). *Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling 2nd ed.* CRC Press, Boca Raton, FL. (236 pp).
- Neerattanapan,L. 2011. Effects of heavy metals on mollusk. *KKU Sci. J* 39(3) 375-386 (2011). Department of Environmental Science, Faculty of Science, Faculty of Science Khonkaen University. (in Thai)
- Pollution Control Department. (2015). Pollution Control Announcement Subject: *Determining coastal sediment quality criteria*. (in Thai)
- Pollution Control Department. (2016). Pollution Control Announcement Subject: *Determining coastal sediment quality criteria*. (in Thai)
- Pollution Control Department. (N.d.). Pollution Control Announcement Subject: *Determining coastal sediment quality criteria*. (in Thai)
- Pornchaloempong, P., Rattanapanon, N.(n.d.). Specific gravity. Food Network Solution. Retrieved January 5,2019, from <http://www.foodnetworksolution.com> (in Thai)

- Shah, A.I.(2017) *Heavy metal impact on aquatic life and human health an over view*. IAIA17 Conference Proceedings. IA's Contribution in Addressing Climate Change 37th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment 4 - 7 April 2017. Le Centre Sheraton. Montréal. Canada.
- Silarat, P. (2015). *Heavy metal contamination according to the area utilization model and the guidelines for animal mollusk development*. Thesis index. Kasetsart University. (150 pages). (in Thai)
- Srisuksawad, K., Porntepkasemsan, B., Nouchpramool, P., Yamkate, P., Carpenter, R., Peterson, M.L. & Hamilton, T. (1996). Radionuclide activities, geochemistry, and accumulation rates of sediments in the gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, 17, 925-965.
- Srisuksawad, K., Chartpuwapat, A., Pongpao, I., Porntepkasemsan, B., Chantrachote, W and Omanee, A. Spatial and Temporal Distributions of Sediment Accumulation Rate in the Upper Gulf of Thailand. *Burapha Sci. J.* 18 (2013) 1: 36-48. Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization). Faculty of Resources and Environment, Kasetsart University (Sriracha). Faculty of Science and Art, Kasetsart University (Kumpangsang). (in Thai)
- Thongra-ar, W., Musika, C., Wongsudawan, W. and Munhapon, A. (2017). Accumulation and Transfer of Heavy Metals in the Mangrove from Ban Laemchabang Community, Chon Buri Province. *Burapha Science Journal* 22 (3) September-December 2017. Institute of Marine Science, Burapha University.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth. S crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72, 175-192.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. Yan Riemssdijk and F.A.M. de Hann. (1988). *Transport of heavy metal and phosphate in heterogenous soils*, pp. 23-32. In K. Wolf, W.J. Van den Brink and F.J. Colon (Eds.), *Contaminated Soil*. Kluwer Academic Publ., London.