-

การประเมินแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลด้วยหอยแมลงภู่เทียม บริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

มุทิตา แซ่โง้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2561

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มุทิตา แซ่โง้ว ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภาศิริ บาร์เนท)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธาน
(ดร.ศุภวัตร กาญจน์อดิเรกลาภ)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภาศิริ บาร์เนท)

....กรรมการ
(ดร. ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา)

....กรรมการ
(ดร.ศิริรัตน์ ชาญไววิทย์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยบูรพา

....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 28 เดือน ธันวาคม พ.ศ.2561

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา ปี พ.ศ. 2559-2560 และทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.)ใน โครงการการปนเปื้อนของโลหะหนักตามแนวชายฝั่งทะเล ภาคตะวันออกเพื่อประเมินแหล่งน้ำ ทะเลและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน (สนองพระราชดำริในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี) ปี พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภาศิริ บาร์เนท อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วราพร ชลอำไพ นักวิจัยศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 6 (ชลบุรี) ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ทำให้งานวิจัยมีสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขให้งานวิจัยมีคุณภาพ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุชาติ คุณแม่จุฑาทิพย์ แซ่โง้ว และทุกคนในห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและคำพูดที่ดีให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

มุทิตา แซ่โง้ว

57912230: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม.(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: โลหะหนัก / Artificial Mussel

มุทิตา แซ่โง้ว: การประเมินแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลด้วยหอยแมลงภู่เทียมบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี (ASSESSING TEMPORAL DISTRIBUTION OF CADMIUM AND LEAD USING ARTIFICIAL MUSSEL IN THE COASTAL WATER OF ANGSILA CHONBURI PROVINCE, THAILAND) .

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ปภาศิริ บาร์เนท, Ph.D., ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา, Ph.D.
72 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินการปนเปื้อนของ Cd และ Pb ในแหล่งน้ำทะเล พื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลาจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ในด้านการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและด้านอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลโดยตรงและทดลองการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussel)รวมทั้งค่าคุณภาพน้ำทะเลทุก ๆ 14 วัน อย่างต่อเนื่องจนถึง 56 วันในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่าฤดูกาลมีผลต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลโดยความเข้มข้นจะต่ำในช่วงเริ่มต้นฤดูแล้ง(มีนาคม)และจะสูงขึ้นในช่วงปลายฤดูแล้ง(เมษายน-พฤษภาคม) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ Cd ในน้ำทะเลยังมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทยและอาเซียน(กำหนดที่ 5 $\mu g\ L^{-1}$) ในขณะที่ความเข้มข้นของ Pb ในน้ำทะเลบางตัวอย่าง พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน(กำหนดที่ 8.5 $\mu g\ L^{-1}$) แต่ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (50 $\mu g\ L^{-1}$) ส่วนการปนเปื้อนของ Cd จากการดูดซับในหอยแมลงภู่เทียมสามารถตรวจพบได้ทั้งสองฤดูกาล ในขณะที่ Pb ตรวจพบได้เฉพาะในฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์การพบ Cd ระหว่างน้ำทะเลและหอยแมลงภู่เทียมในแต่ละช่วงระยะเวลา รวมกันทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่าความเข้มข้น Cd ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมในช่วงระยะเวลาวันที่ 28 42 และ56 วัน มีความสัมพันธ์กัน ($r = 0.7$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) ในขณะที่ Pb ในทุกช่วงเวลาไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เมื่อวิเคราะห์ ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเค็ม พบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพบ Cd และ Pb ในน้ำทะเล (P-value < 0.05) แต่ไม่มีผลเมื่อตรวจจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ผลการศึกษาครั้งนี้จึงยืนยันว่าหอยแมลงภู่เทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนสิ่งมีชีวิตในตรวจสอบ Cd ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทยได้เหมาะสมและไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าสูงและค่าความเค็มสูง และควรวางหอยแมลงภู่เทียมในน้ำทะเลช่วงระยะเวลา 30-40 วัน ในขณะที่การดูดซับ Pb ในหอยแมลงภู่เทียม ยังควรมีการศึกษาความเหมาะสมต่อไป

57912230: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc.(ENVIRONMENTAL SCIENCE)
KEYWORDS: CADMIUM / LEAD / ARTIFICIAL MUSSEL

MUTHITA SAE-NGOW: ASSESSING TEMPORAL DISTRIBUTION OF CADMIUM AND LEAD USING ARTIFICIAL MUSSEL IN THE COASTAL WATER OF ANGSILA CHONBURI PROVINCE, THAILAND. ADVISORY COMMITTEE:PRAPARSIRI BARNETT, Ph.D., PATTRAWUT THAIPICHITBURAPA, Ph.D. 72 P. 2018.

This research assessed heavy metals Cd and Pb contamination in seawater of the Angsila Coast, Chonburi Province, Thailand. This coastal location is a good representative of many locations in Thailand that conduct fishery, aquaculture and industrial activities. Every 14 days, seawater samples were collected and AM device was tested for absorption, while measuring seawater quality for a total of 56 days in the wet and dry season. It was found that season affects the Cd and Pb quantity in seawater. Cd and Pb concentration was low at the beginning of the dry season (March) and gradually increases at the end of the dry season (April-May). However, quantity of Cd is not over water quality standard of Thailand and ASEAN (at 5 µg L^{-1}) . Meanwhile, Pb quantity in some samples were found to be over the standard limit (at 8.5 µg L^{-1}), but this value is still under the maximum concentration acceptable in seawater that does not cause harm to marine organisms (at 50 µg L^{-1}). Moreover, the AM device absorption of Cd contamination was found in both seasons, while Pb was found only in the wet season. The correlation analysis of Cd presence in seawater and AM device in both seasons found a positive correlation of Cd presence at 28th, 42nd, and 56th days (r = 0.7) with statistical significance of P-value < 0.05. After careful analysis of water quality factors, it was found that high conductivity and salinity levels can influence the presence of Cd and Pb in seawater (P-value < 0.05), but this influence was not found from AM device absorption. This indicates the usefulness of AM device as an alternative to aquatic organisms in Cd monitoring and evaluation in Thailand marine environment, which will not be affected by high conductivity and salinity level in seawater. Based on this research, the AM device should be placed in the seawater for at least 30-40 days. Further tests should be conducted for Pb absorption in AM device to conclude its effectiveness.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจสอบโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยทั่วไปมักจะตรวจวัดจากน้ำทะเลโดยตรง จากตะกอนดิน และจากการสะสมของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในหอยแมลงภู่ ซึ่งนิยมใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเลในรูปแบบการสะสมของสิ่งมีชีวิต (Biomonitor) เพราะมีข้อดีเนื่องจากหอยแมลงภู่เป็นสัตว์ที่กรองกินอาหาร ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อ(Phillips & Rainbow, 1993) จึงเริ่มมีการนำมาใช้ตั้งแต่ปี 1970 (Goldberg, 1975)แต่อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความเข้มข้นโลหะหนักในหอยแมลงภู่ยังประสบกับปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบจากปัจจัยทางชีวภาพ เช่น อัตราการเจริญเติบโต และกระบวนการขับพิษ (Leung et al., 2001) รวมทั้งฤดูกาลสืบพันธุ์ (Phillips & Rainbow, 1993) และปัจจัยทางกายภาพ เช่น ปริมาณธาตุอาหารในสภาพแวดล้อมทางทะเลซึ่งมีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อของหอย (Paez-Osuna et al., 1995; Casas & Bacher, 2006) ปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นปัจจัยรบกวนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Luoma & Rainbow, 2005) ดังนั้นสิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาจจะไม่สามารถบ่งบอกถึงความเข้มข้นของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางทะเลได้อย่างแท้จริง และเพื่อเป็นการลดปัญหาจากปัจจัยรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวที่เกิดจากการใช้สิ่งมีชีวิตในการตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนัก จึงได้มีการพัฒนาวัสดุประดิษฐ์ที่เรียกว่า Artificial Mussel (AM) หรือหอยแมลงภู่เทียมซึ่งเป็นวัสดุจำเพาะเพื่อจับกับโลหะหนักประเภทฟรีไอออนโดยใช้คุณสมบัติทางเคมีของ Chelex-resin เนื่องจากมี polymer ligand ที่จับจำเพาะกับโลหะหนักได้ (Wu et al., 2007) ภายในหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussel) จะประกอบด้วย Chelex-100 Resins ที่อยู่ในท่อพลาสติกและปิดด้วย polyacrylamide gel ทั้งสองด้านของท่อ การนำหอยแมลงภู่เทียมไปแขวนในน้ำทะเลเชิงระยะเวลา ทำให้ Chelex-resin จับกับโลหะหนักได้หลายชนิด จึงถือว่าเป็นการตรวจสอบโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางทะเลทั้งเชิงระยะเวลาและเชิงพื้นที่ ประโยชน์ของหอยแมลงภู่เทียมยังสามารถเป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตที่มีข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ในการเจริญเติบโตและบางสภาพแวดล้อมทางทะเลในเชิงพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน

ตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาสถานการณ์การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดชลบุรี ปัจจุบันมีแนวโน้มที่เพิ่มสูง ในอดีตลุ่มแม่น้ำบางปะกงจนถึงอ่างศิลามีการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำทะเลโดยเฉลี่ย 0.010 ไมโครกรัมต่อลิตร และตะกั่ว 0.40 ไมโครกรัม

ต่อลิตร (แววตา ทองระอา และคณะ, 2547) และต่อมาในปี พ.ศ. 2559 ตรวจพบแคดเมียม 2.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และตะกั่ว 15.00 ไมโครกรัมต่อลิตร (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 จังหวัดชลบุรี, 2558) และเนื่องจากโลหะหนักเป็นสารพิษที่มีความคงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้จากกระบวนการทางธรรมชาติ จึงมักมีการปนเปื้อนและสะสมอยู่ในแผ่นดินและสุดท้ายจะถูกน้ำฝนชะไหลลงสู่แหล่งน้ำ ก่อให้เกิดการสะสมในสัตว์น้ำและเพิ่มความเป็นพิษมากขึ้นเมื่ออยู่ในห่วงโซ่อาหาร (ชลธิศักดิ์ ชาวปากน้ำ และคณะ, 2555)

จากงานวิจัยการตรวจติดตามโลหะหนักประเภทแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเล ด้วยการใช้ หอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาในแหล่งน้ำจากเขตปกครองพิเศษฮ่องกง ประเทศไอซ์แลนด์ ประเทศสกอตแลนด์ ประเทศโปรตุเกส และประเทศแอฟริกาใต้ ผลพบว่าหอยแมลงภู่เทียม สามารถสะสมโลหะหนักประเภทแคดเมียมและตะกั่วได้ดีเมื่อเทียบกับหอยแมลงภู่มีชีวิต แต่ไม่มีผลกระทบจากปัจจัยรบกวนเหมือนกับหอยแมลงภู่ (Wu et al., 2007; Kenneth et al., 2008; Gonzalez-Rey et al., 2011; Claassens et al., 2016) และในงานวิจัยครั้งนี้จะทดลองใช้หอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ทำการศึกษาในภาคสนาม ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นแหล่งการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากแม่น้ำบางปะกง และการชะล้างจากแผ่นดิน ดังนั้นการเฝ้าระวังของการปนเปื้อนโลหะหนักเป็นพิษชนิดแคดเมียมและตะกั่วจึงมีความจำเป็นในสถานการณ์ปัจจุบัน รวมทั้งประเมินปัจจัยคุณภาพน้ำทะเลต่อการตรวจพบปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่อาจเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำทะเล บริเวณพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของ Cd และ Pb ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) สำหรับการนำไปใช้ในงานติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลแทนสิ่งมีชีวิต ควบคู่กับตรวจวัดในน้ำทะเลในประเทศไทย

3. เพื่อให้ทราบปัจจัยคุณภาพน้ำทะเลที่มีผลต่อการพบ Cd และ Pb จากในน้ำทะเลและการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussel) ที่ใช้ในการทดลองทางภาคสนามของประเทศไทย พื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

ข้อคิดเห็น[s1]: ปัจจัยคุณภาพน้ำ ?

สมมติฐานของการวิจัย

1. ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลที่สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการประมงและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นไปตามฤดูกาล

2. ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วระหว่างน้ำทะเลกับจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) มีความสัมพันธ์ตามช่วงระยะเวลาทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน

3. ปัจจัยจากค่าคุณภาพน้ำทะเล มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลและการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ที่ใช้ในการทดลองทางภาคสนามของประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบสถานการณ์ ณ ปัจจุบัน ในการปนเปื้อนโลหะหนักประเภทที่เป็นพิษคือแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา ที่มีการประมงและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2. หน่วยงานทางสิ่งแวดล้อมของรัฐบาล เช่น สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 จังหวัดชลบุรี สามารถนำหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบโลหะหนักในแหล่งน้ำได้ทุกที่ แม้ในพื้นที่ที่ไม่พบสิ่งมีชีวิต

3. นำเทคโนโลยีแบบใหม่มาใช้ในการตรวจติดตามตรวจสอบมลพิษโลหะหนักในประเทศไทย

ขอบเขตของการวิจัย

1. จัดทำวัสดุประดิษฐ์ทางเคมีที่เรียกว่า Artificial Mussel (AM) หรือหอยแมลงภู่เทียมมาใช้ในการตรวจติดตามโลหะหนักประเภทแคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำทะเลของพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา

2. นำหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) จำนวน 40 อัน ใส่ในตะแกรงพลาสติก 4 ชุด (ชุดละ 10 อัน)และแขวนลงในน้ำทะเลที่ความลึกเหนือผิวดินใต้น้ำประมาณ 1 เมตร หลังจากนั้น สุ่มเก็บตัวอย่าง หอยแมลงภู่เทียมจำนวน 5 อัน เมื่อระยะเวลาผ่านไป 14, 28, 42 และ 56 วัน พร้อมทั้งเก็บน้ำทะเลในช่วงเวลาที่เก็บหอยแมลงภู่เทียม ตามช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำทะเลและ หอยแมลงภู่เทียม เริ่มในวันที่14 เนื่องจากเริ่มมีการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมและตรวจสอบว่าในวันดังกล่าวมีการคงอยู่ของโลหะหนัก แคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลเท่าใด

ข้อคิดเห็น[s2]: ไม่มีค่า 0 วันใช่หรือไม่ บอกด้วยว่าทำไมไม่มี 0 วัน เพราะนั่นคือ control

3. การวางและเก็บ หอยแมลงภู่เทียมและ น้ำทะเล ตามช่วงระยะเวลา ศึกษาในฤดูแล้ง ช่วงเมษายนถึงพฤษภาคม และฤดูฝนช่วงกรกฎาคมถึงสิงหาคม ปีพ.ศ. 2560 เพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก แคดเมียมและตะกั่ว

4. วิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วใน Chelex-100 resin (ที่อยู่ภายในหอยแมลงภู่เทียม) และน้ำทะเล โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

5. ประเมินความเสื่อมโทรมของชายฝั่งอ่างศิลาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ สำหรับแหล่งน้ำเพื่อการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

6. ประเมินการปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่วภายใน chelex resin จาก หอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 14, 28, 42 และ 56 วัน ในฤดูฝนและฤดูแล้ง พร้อมทั้งเปรียบเทียบการปนเปื้อนทั้งสองช่วงฤดู

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โลหะหนัก

โลหะหนัก คือโลหะที่มีคุณสมบัติเหมือนกับโลหะอื่น ๆ ทั่วไปในการนำไฟฟ้า นำความร้อน และมีค่าเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่า โดยโลหะหนักจะมีความแหนาแน่นมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป นอกจากนี้โลหะหนักมีคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างคือเป็นโลหะที่อยู่ในกลุ่มธาตุ Transition Metals ซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มธาตุที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ไม่สลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติ มีความเสถียร และสามารถสะสมอยู่ในอากาศ ดินและแหล่งน้ำรวมถึงสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วย อีกทั้งยังจัดเป็นกลุ่มธาตุที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ธาตุที่จัดเป็นโลหะหนักมีทั้งหมด 22 ชนิดได้แก่ ทองแดง เงิน ทองคำ ทองคำขาว สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก โครเมียม ทังสเตน พลวง แคดเมียม ปรอท บิสมัส พลวง ไททาเนียม แทนทาลัม โคบอลต์ ยูเรเนียม นิเกิล แมงกานีส โมลิเดียม และเบอร์มัสเนียม โลหะหนักโดยส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน แต่คุณสมบัติทางเคมีจะแตกต่างกันออกไป และสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ได้สารประกอบใหม่ที่เสถียรกว่าเดิม นอกจากนี้โลหะหนักยังมีความสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ โดยขบวนการทางชีวภาพและการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ (มนัส สถิรจินดา, 2548) แต่อย่างไรก็ตามโลหะหนักบางชนิดก็ยังมีความจำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์และสัตว์ โลหะที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตนั้นเราจะเรียกว่า Essential Element ซึ่งมีความจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ในร่างกาย ถ้าหากขาดโลหะเหล่านี้อาจจะทำให้เอนไซม์ในร่างกายทำงานผิดปกติได้ ในขณะเดียวกันโลหะหนักบางชนิดก็มีความเป็นพิษ แม้จะได้รับในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ก็ตาม และเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงขีดที่ร่างกายจะแสดงผลออกมาทันที(Malhotra, 1991)

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

ศิริวรรณ ลาภทับทิมทอง (2544) แบ่งสาเหตุของการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมนั้นมาจาก 2 แหล่ง คือ

1. จากกระบวนการตามธรรมชาติ เช่น การผุกร่อนของหิน การระเบิดของภูเขาไฟ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของเปลือกโลก เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้โลหะหนักที่อยู่ตามธรรมชาติ มีการแพร่กระจายและปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

2. จากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ แหล่งอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานผลิตหลอดไฟ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานทอผ้า เป็นต้น ในส่วนของแหล่งเกษตรกรรม เช่น การใช้สารศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง รวมทั้งแหล่งชุมชน ในการทิ้งขยะที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า แบตเตอรี่ ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่แล้วโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนั้น มักจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากแหล่งอุตสาหกรรม

การแพร่กระจายของโลหะหนักที่ลงสู่แหล่งน้ำ

พรพรรณ พนาปวุฒิกุล (2549) กล่าวว่าการแพร่กระจายของโลหะหนักที่ลงสู่แหล่งน้ำจะมีด้วยกัน 4 แหล่งคือ

1. น้ำทิ้ง และสิ่งปฏิกูล ได้แก่ อาคาร บ้านเรือน สำนักงาน อาคารพาณิชย์ โรงแรม รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการลักลอบปล่อยน้ำเสียลงสู่ทะเล สิ่งปะปนมากับน้ำทิ้งประกอบด้วยสารมลพิษที่เป็นอันตรายต่าง ๆ รวมทั้งโลหะหนัก

2. การเกษตร เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน เช่น การใช้ยาปราบศัตรูพืช ที่มีส่วนผสมของ คอปเปอร์ เป็นองค์ประกอบ เกษตรกรนิยมใช้สารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น สารที่ตกค้างตามต้นพืช และตามผิวดิน จะถูกชะล้างไปกับน้ำฝนและไหลลงสู่ทะเล สารที่สลายตัวช้าจะสามารถสะสมในแหล่งน้ำมากขึ้นจนเป็นอันตรายได้

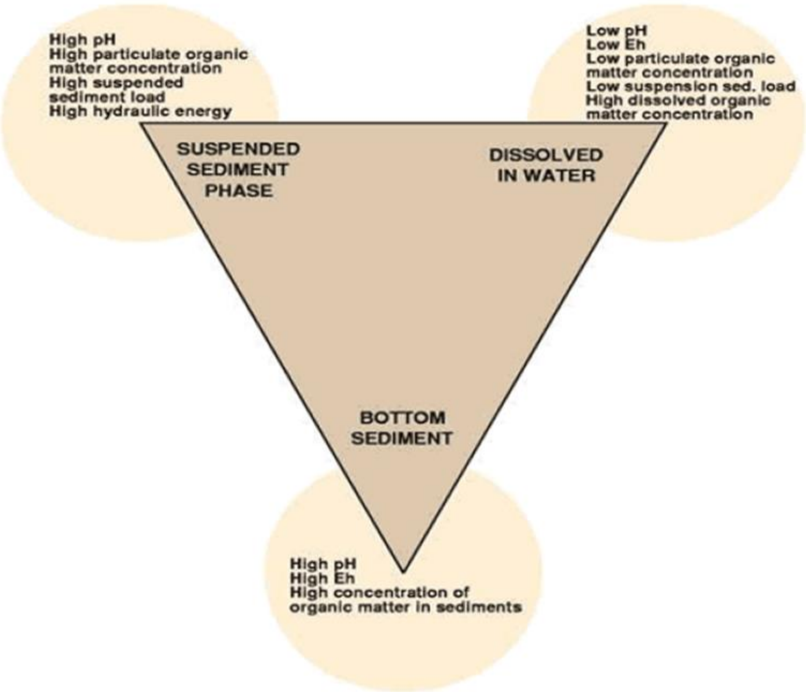
3. ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม/กากของเสียอันตราย นอกจากนี้อาจมีสารพิษชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วย ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน เช่น ปรอทจากโรงงานผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารพิษต่อสัตว์น้ำ รวมทั้งผู้บริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้น้ำทิ้งจากโรงงานบางประเภท ยังทำให้ค่าพีเอชของน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงไปส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโลหะหนักในน้ำทะเลอีกด้วย

4. การคมนาคมทางน้ำ ในการเดินเรือทางทะเลและมหาสมุทร ทำให้มีการรั่วไหลของคราบน้ำมันที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบลงสู่ทะเล ส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอีกด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบของโลหะหนักในทะเล

รูปแบบของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในมวลน้ำ เป็นรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้เลย(bioavailable) ในสภาวะที่แหล่งน้ำมีพีเอชต่ำ มีอนุภาคแขวนลอยในน้ำน้อยและมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำสูง รูปแบบละลายของโลหะหนักในมวลน้ำจะมีมาก ทั้งนี้เพราะว่าในสภาวะเหล่านี้ทำให้ค่าการละลายของโลหะเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับของพื้นที่ผิวของของแข็งลดลง นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ion; H^{+}) จะแข่งขันกับโลหะหนักในการเข้าจับโมเลกุลของสารอินทรีย์ (Elder, 1988)

ในสภาวะที่น้ำมีความเค็มเพิ่มมากขึ้น โลหะหนักจะละลายน้ำได้ลดลงและแยกตัว (Coagulate) ออกจากมวลน้ำ โดยเหล็กและแมงกานีสจะถูกออกซิไดซ์และเปลี่ยนเป็น เหล็กและแมงกานีสไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นของแข็งแยกตัวออกจากมวลน้ำ พร้อมทั้งทำให้โลหะหนักประเภทอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำตกตะกอนร่วม(CO-Precipitate) นอกจากนี้ในสภาวะที่น้ำทะเลมีพีเอชและรีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox Potential; Eh) สูงหรือมีสารอินทรีย์ในตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสูง จะเกิดการจับตัวเป็นตะกอน(Flocculate) และตกตะกอนอย่างรวดเร็ว โลหะหนักที่แยกตัวจากมวลน้ำไม่ว่าด้วยกระบวนการใด ก็จะตกตะกอนสะสมที่ตะกอนท้องน้ำหรืออาจจะอยู่ในรูปตะกอนแขวนลอย (Salmon & Forstner, 1984) ภาพประกอบที่1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของโลหะกับสภาวะฟิสิโคเคมิกัลในน้ำทะเลนั้น (Elder, 1988; Ozestuaries, 2004) ซึ่งรูปแบบของโลหะหนักในน้ำทะเลจะขึ้นกับสภาวะฟิสิโคเคมิกัล



ภาพที่1 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของโลหะหนักในแหล่งน้ำกับภาวะเคมีฟิสิคัลในแหล่งน้ำ (Elder (1988); Ozestuaries (2004))

ประเภทของโลหะหนัก

1.แคดเมียม(Cadmium ; Cd)

แคดเมียม มีสูตรทางเคมีคือ Cd เป็นโลหะสีเงินขาว แวววาวเป็นสีน้ำเงินจาง ๆ ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 112.4 ความถ่วงจำเพาะ 8.65 จุดหลอมเหลว 610 องศาฟาเรนไฮต์ จุดเดือดที่ 1,409 องศาฟาเรนไฮต์ มีลักษณะเป็นเนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้ โดยทั่วไปมักจะอยู่ในรูปแท่ง แผ่น และเส้นลวด เมื่ออยู่ในอากาศที่มีความชื้น แคดเมียมจะถูกออกซิไดซ์เป็นแคดเมียมออกไซด์ โดยปกติในธรรมชาติแคดเมียมมักจะอยู่รวมกับกำมะถันในรูปแคดเมียมซัลไฟด์และมักปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ดังนั้นการทำเหมืองสังกะสีมักจะได้แคดเมียมเป็นผลพลอยได้ ในทางอุตสาหกรรมเนื่องจากแคดเมียม มีความทนทานต่อการสึกกร่อนได้เป็นอย่างดี จึงนำไปฉาบผิวโลหะต่างๆ เช่น เหล็ก ทองแดง โดยทั่วไปนำไปใช้ในการชุบโลหะ นอกจากนี้ยังใช้ผสมกับทองแดง

นิกเกิล ทองคำ บิสมัท และอะลูมิเนียม เพื่อให้ได้สารประกอบที่หลอมตัวง่าย โลหะผสมเหล่านี้อาจใช้เป็นสารฉาบผิวบนวัสดุอื่นหรือบนลวด เชื่อมบนโลหะบัดกรี เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ชนิดที่เติมประจุใหม่ได้ ใช้เป็นตัวที่ทำให้พลาสติกชนิดพีวีซี (PVC) มีความคงตัว ใช้ในการผลิตหลอดเรืองแสง ใช้ในกระบวนการแกะสลักแม่พิมพ์ และใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์และเครื่องบินอีกด้วย นอกจากนั้นแล้ว สารประกอบแคดเมียมยังใช้ทำสารกำจัดเชื้อรา สารกำจัดแมลง สารกำจัดหนอน และยังปนเปื้อน ในปุ๋ยชนิดซูเปอร์ฟอสเฟตด้วย รวมทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมการถ่ายภาพ และการเคลือบมันภาพถ่ายด้วย(The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR))

การปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่ทะเล

Fergusson (1990) กล่าวว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมลงสู่ทะเลได้แก่ กระบวนการการแยกตัวของเปลือกโลกใต้ทะเล แต่แหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนมากที่สุดคือมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบดังนี้

- น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรไฟฟ้า
- ฝุ่นละอองจากโรงงานถลุงโลหะและโรงงานถลุงเหล็ก กระบวนการผลิตสังกะสี โดยมีการใช้แคดเมียมเป็นตัวเคลือบโลหะ ซึ่งมีองค์ประกอบของแคดเมียมอยู่ที่ประมาณ 0.2 % และหลังจากการใช้ประมาณ 4-12 ปี จะทำให้เป็นการเพิ่มแคดเมียมลงสู่สิ่งแวดล้อม
- การสึกกร่อนของยางรถยนต์และรถจักรยานยนต์
- การผลิตปุ๋ยฟอสเฟต ที่มีการใช้แคดเมียมเป็นองค์ประกอบ
- น้ำทิ้งที่มาจากอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ

เพราะฉะนั้นการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมทั้งใน ดิน อากาศและในน้ำ โดยเฉพาะในมนุษย์หรือสัตว์หากมีการสะสมแคดเมียมในร่างกายมากจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้

ข้อคิดเห็น[s3]: ref สำคัญมากเนื่องจากเป็นตัวเลข ซึ่งตัวเลขเหล่านี้ไม่ได้เอาไปอภิปรายเลย ?

พิษของแคดเมียมต่อร่างกาย (เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ และคณะ, 2551)

1. ผลเฉพาะที่ ระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ถ้าสัมผัสกับสารนี้นาน ๆ อาจทำให้ความรู้สึกในการรับกลิ่นเสียไป และเกิดคราบหรือวงสีเหลือง ที่คอฟันทีละน้อย สารประกอบแคดเมียมดูดซึมได้ไม่ดีทางลำไส้ แต่ดูดซึมได้ดีโดยทาง หายใจ หลังจากที่แคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย แล้ว จะมีครึ่งชีวิตที่ยาวนานและคงอยู่ในตับและไต

2. ผลต่อร่างกาย พิษเฉียบพลันส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นหรือควันที่มีแคดเมียม ซึ่งเกิดขึ้น เมื่อแคดเมียมถูกทำให้ร้อน โดยทั่วไป ระยะเวลาหลังจากสัมผัสสารจะยาวนาน 2-3 ชั่วโมงก่อนแสดงอาการ อาการเริ่มแรกจะมีการ ระคายเคืองเล็กน้อยของทางเดินหายใจส่วนต้น อีก 2-3 ชั่วโมงต่อมาจะมีอาการไอ เจ็บปวดใน ทรวงอก เหงื่อออกและหนาวสั่น ซึ่งเป็นอาการที่คล้ายกับการติดเชื้อทั่วไปของทางเดินหายใจส่วนต้น ต่อมา 2-3 ชั่วโมง หลังจากสัมผัสสารอย่างฉับพลัน อาจเห็นอาการระคายเคืองอย่างแรงที่ปอด เจ็บปวดในทรวงอก หายใจลำบาก ไอ และอ่อนเพลีย อาการหายใจลำบากจะรุนแรงขึ้น เมื่อเกิดน้ำท่วมปอดตามมา อันตรายจากกรณีเช่นนี้ มีถึง 15% ผู้ป่วยที่รอดชีวิตอาจมีฟองอากาศในเนื้อเยื่อ และเนื้อปอดปูดนูนออกมา ซึ่งต้องใช้เวลานานในการรักษาให้หาย มีรายงานว่า พบพิษเรื้อรังเกิดขึ้นจากการสูดไอของโลหะแคดเมียมเข้าไประยะยาว แคดเมียมจะไปสะสมที่กระดูก ทำให้กระดูก ผุมีอาการเจ็บปวดมากซึ่งก็คือโรคอิไตอิไต ชื่อโรคอิไตอิไต มาจากภาษาญี่ปุ่น แปลว่า เจ็บปวด โรคอิไตอิไต พบครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น เมื่อได้รับแคดเมียมสะสมมาก ๆ จะสังเกต เห็นวงสีเหลืองที่โคนของซี่ฟัน ซึ่งจะขยายขึ้นไปเรื่อย ๆ จนอาจเต็มซี่ ถ้าขนาดของวงยิ่งกว้างและสียิ่งเข้ม ก็แสดงว่ามีแคดเมียมสะสมมาก

การใช้แคดเมียมในอุตสาหกรรม

แคดเมียมถูกใช้ประมาณร้อยละ 50 ใช้ในการเคลือบเงาผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplated coating) ทำให้ผิวโลหะเงางามและทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม ใช้ในอุปกรณ์รถยนต์ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นส่วนของเครื่องยนต์และส่วนประกอบอื่น ๆ รวมไปถึงน๊อตและสกรูด้วย ใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องบิน วิทยุ โทรทัศน์ ตู้เย็น และอื่น ๆ

โลหะแคดเมียมที่อยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ เช่น แคดเมียมซัลไฟด์ และแคดเมียมซัลโฟซีลีไนต์ใช้เป็นตัวสีในสิ่งต่าง ๆ พลาสติก สีทา สีพ่น หมึก ยาง เสื้อผ้า และสีที่

จิตรกรใช้ เพราะให้สีสวย สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น แคดเมียมสเตียเรต เป็นต้น นอกจากนี้โลหะแคดเมียมยังใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะอัลลอยด์ เช่น ผสมกับโลหะทองแดงจะช่วยเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการสึกหรอให้กับทองแดง นอกจากนี้ยังนำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ หรืออุปกรณ์เครื่องเย็นต่าง ๆ ที่ต้องระบายความร้อนมาก ๆ ถ้านำแคดเมียมไปผสมกับโลหะเงินจะได้โลหะอัลลอยด์ที่เงางาม ใช้ในการผลิตเครื่องประดับอัญมณีต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่เรียกว่า แคดเมียมนิเกิล แบตเตอรี่ (CdNi batteries) สำหรับการใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข กล้องถ่ายรูป และวิทยุเล็ก ๆ เป็นต้น ยังมีสารประกอบแคดเมียมประเภท แคดเมียมโบรไมต์ แคดเมียมไอโอไดด์ ใช้บ้างในการถ่ายรูป นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะแคดเมียมใช้ใน Photoelectric cells ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจการเกษตรและปัจจุบันยังใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู

2.ตะกั่ว (Lead; Pb) (เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ และคณะ, 2551)

ธาตุตะกั่ว (elemental lead) หรือตะกั่ว (lead) เป็นธาตุโลหะ มีสัญลักษณ์ทางเคมีเป็น Pb มีความอ่อนตัว สามารถตีให้ขึ้นรูปได้ (malleable) หรือทำให้เป็นเส้นได้ (ductile) และมีความสามารถนำไฟฟ้าต่ำ มีสีขาวอมฟ้า (bluish-white) ตะกั่วในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูป PbS ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างตะกั่วและกำมะถัน (S) สารประกอบ PbS เป็นองค์ประกอบหลักของสินแร่ (ore) ที่เรียกว่า “กะลีนะ (galena)” ซึ่งมักมีสีเทา (Galena มีสีตั้งแต่เทาถึงดำ) และอาจอยู่ในรูปเหลี่ยม ตะกั่วมีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 จุดหลอมเหลว 327.50 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,744 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 11.35 และเนื่องจากคุณสมบัติของนิวเคลียสมีความหนาแน่น ตะกั่วจึงสามารถป้องกันรังสีได้ดี นอกจากนี้ตะกั่วยังเป็นผลที่ได้จากสารกัมมันตรังสียูเรเนียม (uranium) จึงสามารถใช้สัดส่วนตะกั่วและยูเรเนียมคำนวณอายุของหินได้

สารประกอบตะกั่วมีหลายรูปด้วยกัน ทั้งรูปไอโซโทป (isotope), อินทรีย์ และอนินทรีย์ หลายรูปสามารถเปลี่ยนเป็นธาตุตะกั่วที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ตะกั่วในรูปที่เป็น isotope เป็นผลที่ได้จากสารกัมมันตรังสี โดยรูป lead-206, lead-207 และ lead-208 ได้จากสารกัมมันตรังสี uranium, actinium และ thorium รูปอินทรีย์เช่น tetraethyl lead, tetramethyl lead, lead (II) ethanoate, lead oleate เป็นต้น ตะกั่วที่อยู่ในรูป Lead oleate ($Pb[CH_3(CH_2)_7HC=CH(CH_2)_7COO]_2$ จะมีสีขาว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์, อีเทอร์, และเทอเพนไทน์ ตะกั่วในรูปอนินทรีย์ เช่น $PbCrO_4$, $PbCO_3$, PbO และ Pb_3O_4 เป็นต้น

ส่วนตะกั่วที่ผสมอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง (leaded gasoline) ที่ใช้ในอดีตจะอยู่ในรูปตะกั่วอินทรีย์ "$Pb(C_2H_5)_4$" อาจเรียกหรือสะกดได้ทั้ง tetraethyl lead, lead tetraethyl หรือ tetraethylead

การปนเปื้อนของตะกั่วในทะเล

อานอบ คันฑะชา (2542) กล่าวว่าในบรรดาธาตุด้วยกัน ตะกั่วมีมากในธรรมชาติลำดับที่ 36 ตามธรรมชาติจึงพบตะกั่วได้ทั่วโลกในรูปสารประกอบ PbS ในหินกะลีนะ รองลงมาคือหิน cerussite ($PbCO_3$) และ anglesite ($PbSO_4$) นอกจากมี PbS เป็นองค์ประกอบที่สำคัญแล้วยังมีโลหะอื่นเจือปนอยู่ด้วยคือ ทองแดง สังกะสี เงิน และทอง ดังนั้นการทำเหมืองแร่โลหะราคาสูงเหล่านี้จึงมักได้ตะกั่วออกมาด้วย และเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรงในเหมืองทองคำ และเหมืองทองแดง ซึ่งเป็นแหล่งตะกั่วที่สำคัญหากเกิดอุบัติเหตุหรือการจัดการที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุสำคัญที่ปล่อยแร่ตะกั่วออกสู่แหล่งน้ำและสุดท้ายไหลสู่ทะเล

นอกจากเหมืองแล้วแหล่งที่ให้ตะกั่วปนเปื้อนในทะเลที่สำคัญคือ โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ตะกั่ว โรงงานหลอมตะกั่ว โรงงานผลิตสารปราบเชื้อรา โรงงานผลิตแก้ว โรงงานผลิตพลาสติกพีวีซี โรงงานผลิตลูกปืน เหล็ก เหล็กกล้า และโลหะอื่น โรงงานผลิตฮาร์ดดิสค์ (hard disk) ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ก็เกี่ยวข้องกับตะกั่ว

นอกจากนี้ดินและแหล่งน้ำมีโอกาสที่จะได้รับตะกั่วจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วปนอยู่ หรืออาจมาจากน้ำมันผสมตะกั่วที่ใช้ในอดีต สัตว์น้ำจึงได้รับตะกั่วและเกิดการสะสมได้

พิษของตะกั่ว

การเข้าสู่ร่างกาย การสะสม และทำลายเซลล์ของตะกั่ว

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางลมหายใจ, การกิน และผิวหนัง และพบว่าตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นที่สามารถผ่านเข้าทางผิวหนังได้สะดวก และไม่ว่าเข้าสู่ร่างกายทางใดตะกั่วในสัดส่วนที่สูงของทั้งหมดที่เข้าสู่ร่างกายจะไปอยู่ในระบบเลือดและกระจายไปทั่วร่างกาย โดยไปสะสมอยู่ในเลือด, ไต, ไขกระดูก, เนื้อเยื่อระบบประสาทและตับ ส่วนน้อยสะสมที่ กระดูก, กล้ามเนื้อ และไขมัน ตะกั่วที่อยู่ในเลือดในสัดส่วนหนึ่งจะถูกกรองแยกออกจากเลือด และขับออกผ่านทางปัสสาวะ หากมีปริมาณสูงในร่างกาย ตะกั่วอาจสะสมอยู่ที่เส้นผม และเล็บ

พิษของตะกั่วต่อเซลล์คือ ไปจับและหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ ตะกั่วจะรบกวนการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน โดยการหยุดกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิด และมีผลต่อการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง เป็นผลให้อายุเซลล์สั้น และแตกง่าย

โดยทั่วไปอาการของตะกั่วยังไม่แสดงออกในช่วงเริ่มป่วย ตะกั่วที่สะสมนี้จะทำให้เกิดความเสียหายอย่างช้า ๆ ต่อเซลล์ทุกชนิด จากนั้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ, อวัยวะ และระบบของร่างกายเกือบทั้งหมดในที่สุด และผลที่เกิดขึ้นหลายประการนี้จะไม่สามารถฟื้นคืนได้หรือฟื้นคืนได้ยาก

การใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรม

1. ตะกั่วประเภท Lead (II) ethanoate ($Pb(C_2H_3O_2)$) H_2O เป็นผงสีขาว ที่มีรสหวาน จึงถูกเรียกว่า sugar of lead ซึ่งใช้ผสมในสีทาวัสดุเพื่อเป็นเม็ดสี ใช้จับกับเม็ดสี เป็นตัวทำแห้ง

2. ตะกั่วประเภท Lead carbonate ($(PbCO_3)Pb(OH)_2$ หรือ white lead เป็นเม็ดผงสีขาวมีใช้มานานกว่า 2,000 ปีแล้วในการผลิตสีขาว และในปัจจุบันยังมีการใช้เป็นส่วนผสมของสารขึ้นเงาของวัสดุเซรามิก

3.ตะกั่วประเภท Lead monoxide (PbO) หรือ litharge เป็นเม็ดผงมีสีเหลือง นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิก, คาพาซิเตอร์, พลาสติกโพลีไวนิลคลอดไรด์, electrophotographic plates, ferromagnetic และ ferroelectric materials นอกจากใช้ในการผลิตสีเหลืองแล้ว PbO ยังใช้เป็นตัวทำแห้งในผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ใช้ในสี และน้ำมันชักเงา (varnish) เช่น แลคเกอร์ (lacquer)

4.ตะกั่วประเภท Red lead หรือ minium (Pb_3O_4) เป็นผงสีแดง มักใช้ผสมในสีเพื่อป้องกันสนิมให้กับโครงสร้างเหล็ก

นอกจากนี้ยังมีการนำตะกั่วมาใช้ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย เช่น สารฆ่ารา, เครื่องสำอาง, แบตเตอรี่บางชนิดและน้ำกรดจากแบตเตอรี่, ฉนวนหุ้มในสายไฟฟ้า, โลหะสำหรับบัดกรี (solder), ตะกั่วถ่วงม่าน และเบ็ดตกปลา ใช้เป็นส่วนประกอบในสารเคมีที่ใช้ในการอัดภาพถ่าย, กระจกสี (stained glass), สารขึ้นเงาผิวไข่มุกปลอม, ม่านหน้าต่างทำจากพลาสติกไวนิล, ทองเหลือง (brass), สัมฤทธิ์ (bronze), วัสดุกันรังสี (เช่น อุปกรณ์เครื่องเอกซ์เรย์, กำแพง, ภาชนะ), ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor), ตัวต้านทานกระแสไฟฟ้า (resistor), ตะกั่วในงานเรียงพิมพ์, หลอดภาพทีวี, ตะกั่วบัดกรี เป็นต้น ตะกั่วบัดกรีใช้เชื่อมต่อในแผงวงจรไฟฟ้า, ไอซี, คอมพิวเตอร์ และที่คล้ายกัน จึงพบตะกั่วได้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ทีวี, ตู้เย็น, คอมพิวเตอร์, โทรศัพท์ เป็นต้น

ตะกั่วที่ใช้ผสมในสี (paint) และเม็ดสี (pigment)ใช้ทาอาคาร, ของเล่น, เรือ, ผิวจราจร เป็นต้น รวมทั้งสีที่ใช้วาดภาพ, ภาพสีในหนังสือพิมพ์

การกระจายตัวของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

โลหะหนักที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะกระจายตัวทั้งในอากาศ ดิน และน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น อยู่ในรูปของสารประกอบหรืออิออนอิสระ หรือถูกดูดซับอยู่บนอนุภาค บางส่วนจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและเข้าสู่ร่ายกายมนุษย์ในที่สุด อย่างไรก็ตามแหล่งน้ำเป็นแหล่งสะสมสุดท้ายของสารมลพิษต่าง ๆ รวมถึงโลหะหนักทำให้สัตว์น้ำมีการสะสมสารมลพิษในร่างกาย โดยเฉพาะหอยแมลงภู่ที่สะสมโลหะหนักได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นสัตว์ที่อยู่กับที่และกินอาหารโดยการกรอง จึงสามารถกรองสิ่งต่าง ๆ รวมถึงสารมลพิษที่อยู่ในน้ำเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายได้ จึงมักใช้หอยแมลงภู่ในการตรวจติดตามทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากระดับสารโลหะหนักที่สะสมเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่สามารถสะท้อนถึงการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่หอยแมลงภู่อาศัยอยู่ (Mubiana, Vercauteren, & Blust, 2006)

สถานการณ์คุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

จากการรายงานตรวจพบโลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง พบว่าลุ่มแม่น้ำบางปะกงจนถึงอ่างศิลามีการปนเปื้อนโลหะหนักประเภทแคดเมียม 0.010 ไมโครกรัมต่อลิตรโดยเฉลี่ย และตะกั่ว 0.40 ไมโครกรัมต่อลิตรโดยเฉลี่ย อาจเป็นเพราะเกิดจากการชะล้างขยะอุตสาหกรรมและของเสียจากปากแม่น้ำบางปะกงและน้ำเสียจากเทศบาลเมืองชลบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประชากรของเมืองอย่างหนาแน่น แต่อย่างไรก็ตามจากค่าที่ได้พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วที่ตรวจสอบในน้ำทะเลมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งของไทย (แววตา ทองระอา และคณะ, 2547)

เกณฑ์คุณภาพน้ำทะเล ในประเทศไทยเพื่อ 5 ประเภทแหล่งน้ำในการใช้ประโยชน์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) และเกณฑ์คุณภาพน้ำทะเลภูมิภาคอาเซียน(วิมลพร ไวยนิภี และคณะ, 2556) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนัก คุณภาพน้ำทะเลในประเทศไทยและอาเซียน

โลหะ	เกณฑ์คุณภาพน้ำทะเลในประเทศไทย[1] (μg/l)	เกณฑ์คุณภาพน้ำทะเลในภูมิภาคอาเซียน[2] (μg/l)
Cadmium (Cd)	≤5	10
Lead (Pb)	≤8.5	8.5

1 Pollution Control Department of Thailand, 2010

2 Wainipee, Rattikansukha and Pinthong, 2013

การใช้สิ่งมีชีวิตในการตรวจติดตามมลพิษทางทะเล(biomonitors)

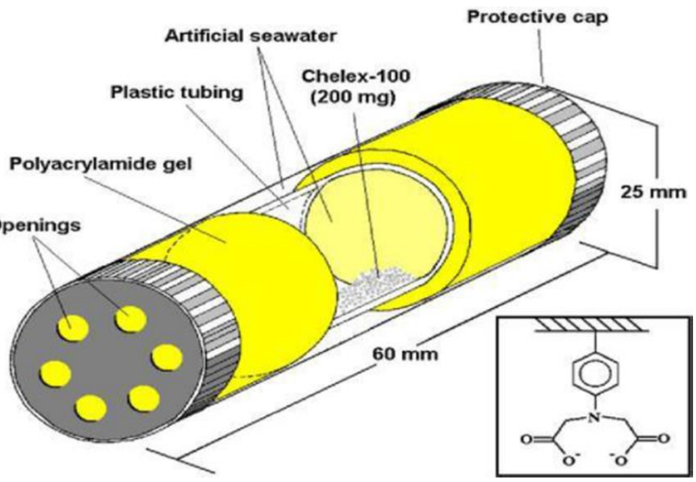
การใช้ biomonitors หรือการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพโดยใช้สิ่งมีชีวิต เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะในสภาพแวดล้อมทางทะเล พบว่ามีข้อดีอยู่หลายประการ เพราะสิ่งมีชีวิตมีความสามารถในการสะสมโลหะในเนื้อเยื่อได้และสามารถให้การประเมินในส่วนของ bioavailable ของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางทะเลได้ (Phillips & Rainbow, 1993; Rainbow, 1995) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหอยที่มักจะนำมาตรวจสอบและมักจะใช้หอยเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักเป็นประจำตั้งแต่กลางปี 1970 และมีตัวอย่างให้เห็นในทั่วโลก ที่เรียกวิธีการนี้ว่า ‘‘Mussel Watch program’’ (Goldberg, 1975; Goldberg et al., 1978) คือการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพในหอยแมลงภู่ ทำให้ทราบข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะในน้ำทะเลทั่วโลก แต่การใช้สิ่งมีชีวิตในการตรวจติดตามก็พบปัญหาในเรื่องของปัจจัยรบกวนทางธรรมชาติ (Wu & Lau, 1996) เช่น เจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ ซึ่งในที่สุดแล้วจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอาหารและการแพร่กระจายทางภูมิศาสตร์ตามธรรมชาติของสายพันธุ์หอยแมลงภู่ (Phillips & Rainbow, 1993;Wu & Lau, 2007; Wu et al., 2007) และปัญหาต่อมาก็คือการเกิดกระบวนการขับสารมลพิษออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Detoxification Process) ซึ่งเป็นปัจจัยทางชีวภาพที่ทำให้การตรวจพบโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตอาจไม่ได้สื่อถึงความเข้มข้นที่ปนเปื้อนจริงในน้ำทะเล (Disslove)

ดังนั้นเพื่อลดปัญหาข้อจำกัดดังกล่าว ในงานวิจัยของ Wu et al. ในปี 2007 จึงได้พัฒนาอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า 'Artificial Mussel' (AM) ที่สามารถสะสมโลหะหนักเพื่อตอบสนองความต้องการที่จะทราบความเข้มข้นที่แท้จริงของโลหะหนักในน้ำที่อยู่ในรูปของ Disslove ได้ในสภาพแวดล้อมทางทะเล จึงทำให้สามารถประเมินและเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในสภาพแวดล้อมทางน้ำทั่วโลก ทั้งในห้องปฏิบัติการและการทดลองในภาคสนาม อุปกรณ์ชนิดนี้ได้ประสบความสำเร็จในการใช้ใน Victory Harbour (Hong Kong) (Wu et al., 2007) ในชายฝั่ง Scotland และ Iceland (Leung et al., 2008) และเมื่อเร็ว ๆ ได้ใช้ในแอฟริกาใต้ (Degger et al., 2010) และหนึ่งในข้อดีที่สำคัญของอุปกรณ์นี้คือสามารถตัดปัญหาการรบกวนจากปัจจัยทางชีวภาพที่พบในสิ่งมีชีวิตและได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางกายภาพน้อยกว่าในสิ่งมีชีวิตและด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำ AM มาใช้ในพื้นที่ที่มีดัชนีทางชีวภาพชนิดเดียวกันแต่ไม่สามารถใช้งานได้ และช่วยให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทะเลได้ดีในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่มีรูปแบบทางอุทกศาสตร์ที่แตกต่างกัน

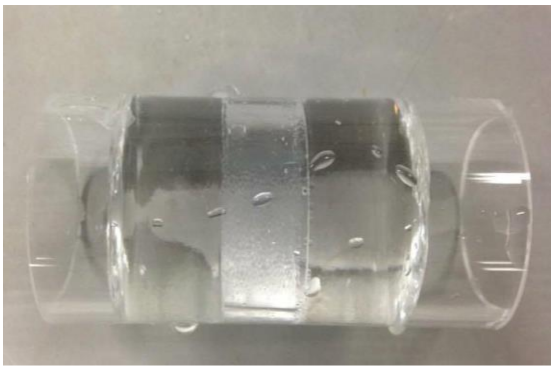
วัสดุประดิษฐ์ Artificial Mussels

การพัฒนาวัสดุทางเคมี ที่เรียกว่า Artificial Mussel (AM) เพื่อสำหรับการติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่ง AM จะประกอบด้วย Chelex-100 resins ที่ลอยตัวอยู่ในน้ำทะเลเทียม ภายใน Perspex tubing และปิดด้วย polyacrylamide gel (SPP) ทั้งสองด้าน การเลือกใช้ Chelex-100 resins เนื่องจากเป็น polymer ligand ที่ใช้สำหรับดูดซึมโลหะใน AM ในส่วนของ semi-permeable polyacrylamide gel(SPP) จะช่วยให้การซึมเข้าของไอออนโลหะเป็นไปอย่างช้า ๆ ผ่านรูขนาดเล็กก่อนที่จะเข้าไปสัมผัสกับเรซิน การดูดซึมโลหะหนัก โดย AM จะเหมาะกับการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีรวมทั้งโลหะหนักที่อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย และก็ยังได้รับผลกระทบจากความเค็มและอุณหภูมิน้อยกว่าในหอยแมลงภู่ และAM ยังสามารถดูดซึมตะกอนของโลหะหนักที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้อีกด้วย (Wu et al., 2007)

ส่วนประกอบของ Artificial Mussel



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของ Artificial Mussel (Wu et al. 2007)

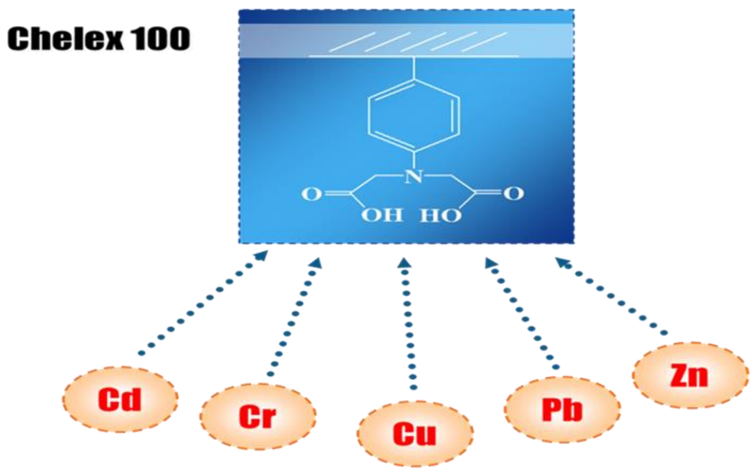


ภาพที่ 3 วัสดุประดิษฐ์ Artificial mussels ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ลักษณะการจับกันทางโครงสร้างเคมีระหว่าง Chelex-100 resin กับโลหะหนัก

Chelex-100 resin คือวัสดุ chelating agent (เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีความสามารถในการจับกับโลหะทางพันธะเคมี ไม่ว่าจะเป็นพันธะเดี่ยวหรือมากกว่า 2 พันธะขึ้นไป) ซึ่งมีความสามารถในการจับกับธาตุโลหะประเภท transition โดยคุณสมบัติของ Chelex-100 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถดักจับกับโลหะทางโครงสร้างเคมี และหลังการทดสอบคุณบัติ พบว่าสามารถจับเหมาะสมกับโลหะได้ 5 ประเภทคือ Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn กระบวนการการจับกันระหว่างโลหะหนักและ Chelex-100 จะเกิดโดย chelex-100 จะดักจับกับโลหะหนักประเภทที่เป็นฟรีไอออนรวมทั้งโลหะเชิงซ้อนทั้งที่เกาะกลุ่มกันเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Wu et al. (2007) ยังพบว่าการดักจับและการปลดปล่อยโลหะหนักของ Chelex-100 มีความคล้ายคลึงกับการดูดซึมและการปลดปล่อยโลหะหนักที่พบในหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) จากการทดสอบทางห้องปฏิบัติการ ใช้ความเข้มข้นของโลหะ 5 ชนิด (Cd, Cr, Cu, Zn และ Pb) ใส่ในน้ำที่มีวัสดุ AM ผลพบว่าปริมาณโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14 วัน และความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าลดลงเมื่อ AM กลับมาอยู่ในน้ำทะเลที่สะอาดหลังจากวันที่ 14 ถึง 30 วัน



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของ chelex resin (Wu et al., 2007)

การวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

ข้อคิดเห็น[s4]: เอาแค่วิธีที่เราใช้ก็พอ เพราะไม่ได้กล่าวถึงวิธีอื่นเลยและความพิเศษของวิธีที่เราทำก็ไม่ได้กล่าว

เทคนิค AAS เป็นการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เป็นการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงมากนัก แต่ความสามารถของเทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ

ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry นั้นอาศัยหลักการที่สำคัญ ดังนี้

1. อะตอมของธาตุทุกชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้

2. ธาตุแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน เช่น สารละลายตัวอย่างมีนิกเกิลละลายอยู่กับตะกั่วและทองแดง เมื่อนำไปผ่านแสงที่ความยาวคลื่น โดยเฉพาะของนิกเกิล อะตอมของนิกเกิลเท่านั้นที่จะดูดกลืน ได้ ส่วนอะตอมของตะกั่วและทองแดงจะไม่ดูดกลืนแสงนั้น

3. ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของธาตุนั้นที่แสงผ่านเพิ่มขึ้นและเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่ถูกดูดกลืนแสงนั้น (แม้น อมรสิทธิ์, และคณะ, 2554)

การวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนเตาความร้อนแบบแกรไฟต์ (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry)

เทคนิคการวิเคราะห์แบบ Atomic Absorption สามารถที่จะทำให้เกิดอะตอมด้วยวิธีการไม่ใช้เปลวไฟซึ่งเรียกว่า “Flameless Technique” เทคนิคนี้จะเรียกว่า Atomic Absorption Spectrometry แบบแกร์ไฟต์เฟอร์เนท (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry) ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ การให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า (electrically heated) ให้เกิดอุณหภูมิสูงแก่ตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดฮอร์โลว์แกร์ไฟต์ขนาดเล็ก (hallow graphite cylinder) สารตัวอย่างที่ใช้จะมีปริมาณน้อยมาก (µl) จะถูกนำเข้าสู่หลอดฮอร์โลว์แกร์ไฟต์ขนาดเล็ก เมื่อให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้ากระบวนการเกิดอะตอม (atomization) จะเกิดภายในหลอดฮอร์โลว์แกร์ไฟต์ขนาดเล็กซึ่งอุดมไปด้วยกลุ่มหมอกของอะตอม (atomic could) เมื่อมีการผ่านคลื่นแสงที่เหมาะสมผ่านเข้าไปหลอดฮอร์โลว์แกร์ไฟต์ขนาดเล็กนี้ก็สามารถที่จะเกิดกระบวนการดูดกลืนแสง (absorbtion) และวัด

ออกมาเป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างได้ (วิรัช เรืองศรีตระกูล, 2549)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อคิดเห็น[s5]: ดูในดีหน่อยบางอันไม่พบใน ref

สมภพ รุ่งสุภา, สมบัติ อินทร์คง, และอเนก โสภณ (2543) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน ในระหว่างปี พ.ศ. 2533-2545 พบว่าโลหะหนักแคดเมียมมีความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้น ในบริเวณปากแม่น้ำสายต่าง ๆ จากปากแม่น้ำแม่กลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกงจนถึงปากแม่น้ำระยอง ในขณะที่การสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในหอยแมลงภู่ ในบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี พบว่ามีความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของหอยแมลงภู่และตามระยะเวลา ส่วนในหอยนางรมพบความเข้มข้นของแคดเมียมมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของหอยนางรม โดยพบว่าในฤดูฝนจะมีความเข้มข้นสูงสุดและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อผ่านช่วงฤดูฝนไปและในส่วนของตะกอนดินในแม่น้ำบางปะกงพบความเข้มข้นของแคดเมียม ทองแดง เหล็ก และสังกะสี สูงในช่วงที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดลงตามความลึก

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล (2545) พบว่าคุณภาพน้ำในบริเวณเขตเพาะเลี้ยงชายฝั่งประกอบด้วยปากแม่น้ำบางปะกง อ่างศิลา ศรีราชา จังหวัดชลบุรี ปากน้ำประแสร์ ปากแม่น้ำจันทบุรีและแม่น้ำตราด พบว่ามีปริมาณแคดเมียมที่สูง และนอกจากนี้ยังพบว่า สถานีที่ทำการตรวจสอบที่อยู่ใกล้บริเวณชายฝั่งจะมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมปริมาณสูงและค่าจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อห่างออกมาจากชายฝั่ง นั่นแสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักนั้นจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปล่อยของเสียหรือน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและชุมชนลงสู่แม่น้ำ ในขณะที่บริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรม คือแหลมฉบังจังหวัดชลบุรี และนิคมอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มาบตาพุด จังหวัดระยอง ผลการศึกษาพบว่า ในนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีมีความเข้มข้นของ แคดเมียม ทองแดง นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี มีแนวโน้มสูงกว่าที่พบในมาบตาพุด และพบว่าในฤดูแล้วจะมีความเข้มข้นที่สูงกว่าในฤดูฝน แต่ในส่วนของตะกั่วพบว่าสถานีใกล้ชายฝั่งในฤดูแล้งจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูฝน ขณะที่สถานีไกลฝั่งในช่วงฤดูฝนจะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าฤดูแล้ง นั่นแสดงว่าแหล่งปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเลส่วนมากจะมาจากบนฝั่ง เนื่องจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรมแหลมฉบังและมาบตาพุด มีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ มากมาย นี่จึงอาจจะเป็น

สาเหตุทำให้มีโลหะหนักปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

อภิรดี เมืองเดช (2545) ทำการศึกษาปริมาณของโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอทในหอยแครง (*Anadara granosa*) ที่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงและบริเวณชายฝั่งทะเล ตั้งแต่บางทราย จนถึงตำบลคลองตำหรุ ชลบุรี โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 ครั้ง ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2542 ถึงเดือนกรกฎาคม 2543 ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมในช่วงเดือนธันวาคม 2542 ถึงเดือนมกราคม 2543 สูงสุดคือ ตะกั่ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.435 และแคดเมียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.435 0.835 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก

จิราภา อุณหเลขกะ และคณะ (2552) ทำการวิเคราะห์โลหะหนักในหอยแครงและหอยแมลงภู่ พบว่ามีความเข้มข้นของ แคดเมียม อยู่ในช่วง 0.05-3.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยทุกตัวอย่างมีปริมาณ โลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ยกเว้น หอยแครงที่เพาะเลี้ยงในบ่อดิน จังหวัดสมุทรสาครมีแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย การคัดเลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่เป็นตัวชี้วัด สามารถสะท้อนให้เห็นการปนเปื้อนโลหะหนักในอาหารทะเล ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากหอยทั้ง 2 ชนิดไม่เคลื่อนที่ แต่แหล่งที่อยู่อาศัยและพฤติกรรมการกินอาหารมีความแตกต่างกันคือ หอยแครงอาศัยในน้ำตื้นใกล้ชายฝั่งและกรองอาหารจากดินตะกอน ส่วนหอยแมลงภู่ อยู่ห่างไกลจากชายฝั่งมากกว่าและกรองจุลินทรีย์/สารแขวนลอยจากน้ำ ทะเลเป็นอาหาร นอกจากนี้ยัง พบการรายงานว่า หอยแมลงภู่ สามารถใช้เป็นตัวแทนในการเฝ้าระวังปริมาณ ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม ได้อย่างชัดเจน ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดปริมาณแคดเมียมในอาหาร แต่ The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (**JECFA**) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่ร่างกายรับได้ ต่อสัปดาห์(Provisional Tolerable Weekly Intake : PTWI) เท่ากับ7 ไมโครกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เมื่อน้ำหนักเฉลี่ยของ คนไทยอายุ 30 ปีขึ้นไปคือ 53.54 กิโลกรัม ดังนั้นค่า PTWI เท่ากับ 374.78 ไมโครกรัม/คน/สัปดาห์ ส่วนปริมาณโลหะหนักที่คนได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภคอาหารใน 1 สัปดาห์จะเท่ากับ 847.17 ไมโครกรัม/คน/สัปดาห์

ข้อคิดเห็น**[s6]:** Ref ของค่านี้คืออะไร ?

ชลธิศักดิ์ ชาวปากน้ำ และคณะ (2555) ทำการศึกษาโลหะหนัก 9 ชนิด ในดินแม่น้ำบางปะกงจาก 4 จุดสำรวจตั้งแต่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรีจนถึงอำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ในเดือน ธันวาคม 2551 , มีนาคม และ มิถุนายน 2552 มีดังนี้ พบว่า ตะกั่ว มีค่าเฉลี่ย 7.23 ,1.76, <0.05 ปรอท มีค่าเฉลี่ย <0.03 , 7.23, 1.76 และแคดเมียม มีค่าเฉลี่ย <0.05, <0.03 และ 0.021 µg/g wet weight ตามลำดับ

สาโรจน์ เริ่มดำริห์ และคณะ(2550) การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 13 สถานี ในเดือนเมษายน สิงหาคม และธันวาคม พ.ศ. 2550 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ หนักแต่ละชนิดในน้ำและตะกอนดินโดยเครื่อง ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometers) พบว่าโลหะหนักที่พบสะสมปริมาณสูงที่สุดในน้ำคือทองแดง รองลงมาคือสังกะสี ตะกั่ว และ แคดเมียม มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.08, 0.06, 0.05 และ 0.01 ppm ตามลำดับ สถานีที่มีปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำเกินค่ามาตรฐานคือ สถานีที่ 2, 11 และ 12 มีการปนเปื้อนของตะกั่วเกินค่ามาตรฐาน สถานีที่ 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, และ 13 มีแคดเมียมเกินค่ามาตรฐาน และสถานีที่ 6 มีทองแดงเกินค่ามาตรฐาน ส่วนโลหะหนักที่พบสะสมปริมาณสูงที่สุดในตะกอนดินคือสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 64.07, 28.19, 16.21 และ 2.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแสดงว่า บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบนมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักหลายชนิด และบางช่วงเวลามีปริมาณเกินกว่าค่ามาตรฐาน จึงจำเป็นต้องมีมาตรการการตรวจสอบ ป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะจากโลหะหนัก

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (2558) ทำการตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง เขตพื้นที่ภาคตะวันออก ในพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา (1 จุด) ชลบุรี (25 จุด) ระยอง (19 จุด) จันทบุรี (5 จุด) ตราด (10 จุด) รวม 60 จุด โดยทำการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำภาคสนามและเก็บตัวอย่างน้ำทะเล เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรีย จำนวน2 ครั้งต่อปี ได้แก่ ในช่วงฤดูแล้ง เดือนมีนาคม 2558 และช่วงฤดูฝน เดือนกรกฎาคม 2558 พบปัญหาคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งที่พบเกินมาตรฐานจากการประเมินคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งโดยพิจารณาจากจำนวนครั้งทั้งหมดที่ตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งโดยรวมของพื้นที่ภาคตะวันออกจำนวน 2 ครั้ง/ปี พบพารามิเตอร์ที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 พ.ศ.2549 ได้แก่ ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (PO_4-P) ร้อยละ 21, ไนเตรท-ไนโตรเจน(NO_3-N) ร้อยละ 17.5, การปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (FCB) ร้อยละ 17, แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) ร้อยละ 13, ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) ร้อยละ 3 นอกจากนี้ยังพบโลหะหนักประเภทตะกั่ว (Pb) ร้อยละ 0.8 และปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (TPH) ร้อยละ 3 ของจำนวนครั้งที่ตรวจวัดทั้งหมด

Censi et al. (2006) ทำการสำรวจธรณีเคมี ของอ่าวไทย ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ในอ่าว) ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบความเข้มข้น และการแพร่กระจายของโลหะหนัก (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn และ U)ในบริเวณชายฝั่งและปากแม่น้ำแม่โขง จากงานวิจัยพบว่าปริมาณของโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมพื้นที่สองแหล่งที่แตกต่างกันทางสภาพแวดล้อมที่ศึกษาและกิจกรรมของมนุษย์บริเวณชายฝั่ง รวมทั้ง suspended particulate matter (SPM). เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาและที่เคยมีการรายงานใน Sn–Wores พบว่าพื้นที่โดยรอบที่มีกิจกรรมของมนุษย์มีความสัมพันธ์คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนพื้นทะเล นอกจากนี้การคำนวณค่า EF (Vanadium and nickel enrichment factors) ในพื้นที่บริเวณชายฝั่งพบว่า มีการปนเปื้อนจากการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ตรวจสอบ

Rattanawat et al. (2013) ปูแสม (*Sesarma mederi*) สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมได้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณโลหะหนักใน *S. mederi* ในป่าโกงกางของไทยและเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ เพื่อหาข้อบังคับระดับสากลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ เก็บตัวอย่างปูแสม จากป่าชายเลนของแม่น้ำเจ้าพระยา ท่าคางและแม่น้ำแม่กลอง ความเข้มข้นของ Cd, Cu และ Pb ในแม่น้ำมีน้อยเมื่อเทียบกับมาตรฐานทางทะเลของประเทศไทยและน้ำในบริเวณปากแม่น้ำ ความเข้มข้นของ Cd และ Cu ในตะกอนดินมีความคล้ายคลึงกับของแม่น้ำอื่น ๆ ผลการทดลองพบว่าปูแสมสะสมโลหะตามลำดับ: Cd> Cu> Pb> Zn แม้ว่าความเข้มข้นที่ตรวจพบในปูแสมจะอยู่ในช่วงที่พบเหมือนกับในการศึกษาอื่น ๆ แต่ก็มีปริมาณที่เกินเกณฑ์มาตรฐานสูงสุด ดังนั้นปูแสมในป่าชายเลนที่ถูกบริโภคเป็นอาหารไทยแบบดั้งเดิมจึงอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ ดังนั้นการใช้ปูแสมป่าชายเลนอาจเป็นเครื่องมือที่น่าสนใจในการตรวจสอบมลพิษของปากแม่น้ำ

Matozzo et al. (2001) ศึกษาผลของแคดเมียมและทองแดงที่มีต่อการตอบสนองของเซลล์เม็ดเลือดในหอยอาซาริ จากทะเลสาบของเวนิส ในการได้รับสารละลาย $CuCl_2$ (ที่ความเข้มข้น 0, 10, 60, และ 110 mg/L) และสารละลาย $CdCl_2$ (ที่ความเข้มข้น0, 150, 300, และ 450 mg/L) และนำมาศึกษาphagocytosis, Neutral Red retention capacity, superoxide dismutase, และ cytochrome oxidase activities ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการจับกินเชื้อ(phagocytosis)ของหอยที่ได้รับ Cu ลดลง ในขณะที่ไม่มีการยับยั้งในเซลล์ของหอยที่ได้รับสัมผัสกับ Cd แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่าพบความเข้มข้นของ cytochrome oxidase เพิ่มมากขึ้นใน hemocytes จากหอยที่ได้รับ Cu ปริมาตร 60 mg / L และ ได้รับ Cd ปริมาตร300 mg / L ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง

ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสกับโลหะหนักและการเปลี่ยนแปลงในการตอบสนองการทำงานของ hemocytes ใน *T. philippinarum* และระบุว่าชนิดของผลกระทบจะแตกต่างกันไปตามลักษณะและความเข้มข้นของโลหะหนัก นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ดังกล่าวยังสนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้โลหะหนักที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

Serra et al. (1995) ศึกษาการสะสมของตัวแคดเมียมในหอยสองฝา *Scapharca inaequivalvis* พบว่าการสะสมของแคดเมียมมากที่สุดปริมาณ 725.70 μg /g น้ำหนักแห้ง หลังจากให้หอยรับสัมผัสน้ำทะเลที่มี แคดเมียมอยู่ 0.5 μg /ml ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานก็จริงแต่การสะสมของโลหะหนักในหอยได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ มากกว่า 1000 เท่า

Sauve et al. (2005) ศึกษาระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะของหอยสองฝา ในน้ำเค็ม (*Cyrtodaria siliqua, Mactromeris polynyma, Mesosdesma arctatum, Mya arenaria, Mya truncata, Mytilus edulis, Serripes groenlandicus, Siliqua costata*) และน้ำจืด(*Dreissena polymorpha* และ *Elliptio complanata*) โดยใช้วิธี flow cytometry เพื่อหาปริมาณของ phagocytosis โดยดูดน้ำเลือดของหอยให้สัมผัสกับสารละลายโลหะต่าง ๆ ($AgNO_3$, $CdCl_2$, CH_3HgCl, $HgCl_2$ และ $ZnCl_2$)ในหลอดทดลอง ผลการทดลองพบว่าในหอยสองฝาบางชนิดมีปริมาณปรอทต่ำ (ทั้งปรอทอินทรีย์และอนินทรีย์)และพบว่า Zn เป็นตัวเหนี่ยวนำกระตุ้นฮอร์โมนและมีผลต่อ phagocytic activities และนอกจากนี้พบว่าหอยสองฝาที่ได้รับโลหะหนักในความเข้มข้นที่สูงจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้ง phagocytosis ของเม็ดเลือดแดงอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าระบบภูมิคุ้มกันของหอยสองฝามีความ sensitive ต่อความเข้มข้นของโลหะหนักที่ทำให้เกิดการยับยั้ง 50% (EC50) ของกิจกรรม phagocytic ทั้งนี้ชนิดที่แตกต่างกันจะแสดงระดับความไวที่แตกต่างกัน

Zhao et al. (2012) พบว่าความสัมพันธ์ของโลหะหนักในเนื้อเยื่อของกลุ่มสิ่งมีชีวิต(ปลา ,ปู) และสัตว์ที่ดำรงชีวิตอยู่ในสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น(ผิวน้ำ, ท้องน้ำ และตะกอนดิน)ในปากแม่น้ำแยงซี นำมาวิเคราะห์แนวโน้มที่จะได้รับโลหะหนัก ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ พบว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักใน ตะกอนดิน > ปูก้ามขน > *Eriocheir leptognathus* > ปลาหน้าดิน> ปลาผิวน้ำ >น้ำด้านล่าง> น้ำผิวดิน และพบว่าเนื้อเยื่อของปลาและปูที่มีชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน จะมีการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน ซึ่งจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการใช้ชีวิต ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ ขาของปู,หัวและหนังของปลา แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมและผู้อยู่อาศัย นอกจากนี้ ปลาเหม่ยตอง (*Collichthys lucidus*) ยังสามารถเป็นดัชนีชี้

วัดทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประเมินระดับโลหะในน้ำ ผลการทดลองพบว่าจากการคำนวณโดยค่า EDI และ THQ สัตว์น้ำทุกชนิดที่ทดสอบไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Zrelli et al. (2015) ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนัก 6 ชนิด (Hg, Cd, Cu, Pb, Cr และ Zn) ในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคกลางของอ่าว Gabes เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อน แหล่งที่มา การกระจายและความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ พบว่าการจัดอันดับความเข้มข้นของโลหะหนักได้ดังนี้ Zn > Cd >Cr > Pb > Cu >Hg การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า Cd และ Zn ส่วนใหญ่มาจาก Tunisian Chemical Group phosphogypsum ส่วนสารมลพิษอื่น ๆ อาจมาจากของเสียอุตสาหกรรมอื่น ๆ การปนเปื้อนโลหะที่ตรวจพบในทางตอนใต้มีความซับซ้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตระหว่างท่าเรือที่มีความเสี่ยงในระบบนิเวศของดินตะกอน ซึ่งผลกระทบด้านลบที่อาจเกิดขึ้นจากสารมลพิษอุตสาหกรรม การกระจายของสารมลพิษน่าจะมาจากผลกระทบของการติดตั้งท่าเรือและกระแสน้ำชายฝั่ง

Zhang et al. (2015) โลหะหนักประเภท Cu, Pb, Zn, Cr, Cd และ As มีการแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำและสามารถเกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำในบริเวณชายฝั่งกวางตุ้ง ความเข้มข้นของโลหะหนักและการแพร่กระจายในสิ่งมีชีวิตจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่และชนิดของสิ่งมีชีวิต ความเข้มข้นของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตมากที่สุดพบในทางทิศตะวันตกมากกว่าในทิศตะวันออก ซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างของอุตสาหกรรมในท้องถิ่นและการปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ งานวิจัยนี้พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักพบในหอยสูงกว่าในปลา ปัจจัยการสะสมทางชีวภาพถูกนำมาใช้ในการประเมินระดับการสะสมโลหะหนักของสิ่งมีชีวิตทางทะเล ซึ่งพบว่าแคดเมียมและทองแดงมีการสะสมมากที่สุด ความสามารถในการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต เช่น หอยสังข์ พบการสะสมของCu, Zn, Cd และ As สูง ส่วนหมึกกล้วย พบการสะสม Pb, Cu สูง และ Cr และหอยเจดีย์ Zn, Cd, As สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ ปลาจวด ปลากระบอก และ ปลาลิ้นหมา ที่มีความสามารถในการสะสมโลหะหนักค่อนข้างต่ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Artificial Mussel

Wu et al. (2007) ได้คิดค้นอุปกรณ์ทางเคมีขึ้นใหม่ที่เรียกว่า Artificial mussel (AM) พัฒนาขึ้นเพื่อสำหรับตรวจสอบโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางทะเล อุปกรณ์นี้ประกอบด้วย polymer ligand ที่ลอยตัวอยู่ในน้ำทะเลเทียม ภายใน Perspex tubing และปิดด้วย semi-permeable gel ทั้งสองด้านของท่อ ทำการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามเพื่อตรวจสอบการดูดซึมของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด (Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn) และการดูดซึมโลหะหนักโดย AM ในภาคสนามพบว่า AM สามารถที่จะสะสมโลหะประเภท ASV labile fractions ได้ และนอกจากนี้พบว่าการดูดซึมและการปลดปล่อยโลหะหนักของAM มีความคล้ายคลึงกันกับในหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) แต่ในAM จะได้รับผลกระทบจากความเค็มและอุณหภูมิน้อยกว่า การศึกษาในภาคสนามแสดงให้เห็นว่าAM ไม่เพียงแค่สามารถประมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลเท่านั้น แต่ยังสามารถเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางทะเลที่แตกต่างกันได้อีกด้วย เนื่องจากปัญหาการกระจายตัวตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่ทำให้ไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ และ AM สามารถทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งแบบการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่และระยะเวลาในน้ำทะเลได้ รวมทั้งการตรวจพบความเข้มข้นของโลหะหนักในAM จะบ่งชี้ว่ามีการปนเปื้อนของโลหะในน้ำทะเล นอกจากนี้การดูดซึมและปลดปล่อยโลหะใน AM จะได้รับผลกระทบจากความเค็มและอุณหภูมิน้อยกว่าในหอยแมลงภู่ สรุปผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม AM อาจจะช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการใช้หอยแมลงภู่ (เช่น อัตราการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่ การสืบพันธุ์และข้อจำกัดของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากปัจจัยทางภูมิศาสตร์) ที่ใช้ตรวจติดตามในระยะเวลาที่ผ่านมา

Leung et al. (2008) ได้นำ Artificial Mussel (AM) มาเปรียบเทียบกับการใช้หอยแมลงภู่ *Mytilus edulis* ในชายฝั่งของ Scotland (Holy Loch, Loch Fyne, Loch Striven และ Millport) และในไอซ์แลนด์ (Reykjavikurho¨ fn, Gufunes, South of þerney, Hofsvik, Hvalfjo¨ rður และ Sandgerði) สำหรับการตรวจติดตามความเข้มข้นของโลหะหนัก ผลพบว่าการดูดซึม Cd ระหว่าง หอยแมลงภู่ *Mytilus edulis* และ AM มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในการสะสมโลหะชนิด Cu, Cr, Pb และ Zn พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Zn เนื่องจากเป็นโลหะที่มีความจำเป็นต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตาม AM สามารถให้ความละเอียดที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นในหอยแมลงภู่ *M. edulis* และแสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างที่ชัดเจนในเชิงพื้นที่ที่มี

การปนเปื้อนโลหะหนัก การใช้ AM ถูกนำมาช่วยเสริมการตรวจสอบโลหะหนักโดยใช้หอยแมลงภู่ ตั้งแต่พบว่าAM สามารถตรวจพบโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลได้ ในขณะที่การดูดซึมของหอยแมลงภู่ก็ยังสามารถบ่งชี้ส่วนประกอบของโลหะหนักที่ละลายในน้ำและในตะกอนดิน นอกจากนี้ผลยังชี้ให้เห็นว่าการได้รับโลหะหนักของหอยแมลงภู่จะมีการคายสารพิษโลหะหนักในตัวหอยออกมาทำให้มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถึงระยะเวลาในการนำไปใช้งานช่วงสั้น ๆ (34 วัน) การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ AM จะสามารถแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับปัจจัยทางชีวภาพในการได้รับโลหะในของหอยแมลงภู่ เพื่อให้การตรวจสอบได้มาตรฐานและสามารถทำให้ทราบความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำได้ในสภาพแวดล้อมทางทะเลที่แตกต่างกัน

Gonzalez-Rey et al. (2011) ‘Artificial Mussel’ (AM) ที่พัฒนาขึ้นโดย Wu et al. (2007) สามารถประมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเล และเป็นอุปกรณ์ที่มีศักยภาพในการประเมินและเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในสภาพแวดล้อมทางทะเลที่แตกต่างกันได้ จุดมุ่งหมายของการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการสะสมโลหะระหว่างใน AM และหอยแมลงภู่ธรรมชาติ จาก 3 สถานี ในชายฝั่งโปรตุเกส ระยะเวลา 4 เดือน โดยนำหอยแมลงภู่ (*M. galloprovincialis*) มาวางในตะแกรงพลาสติกพร้อมกับ AM ในแต่ละสถานี เก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้งและตรวจสอบความเข้มข้นของ Cd, Cr, Cu, Pb, และ Zn ในเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่ และ AM ผลการทดลองพบว่าทั้ง Cu และ Cd มีความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันระหว่างใน AM และหอยแมลงภู่ แต่ความเข้มข้นที่ของ Zn จะพบในหอยแมลงภู่สูงกว่าในวัสดุAM ผลของเราแสดงให้เห็นว่าAM เป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับการประเมินความเข้มข้นของโลหะในสภาพแวดล้อมทางทะเล ในการตรวจสอบโลหะหนักในน่านน้ำชายฝั่งทะเลที่มีรูปแบบทางอุทกศาสตร์ที่แตกต่างกันและมีปริมาณของโลหะหนักมาก การใช้AM ทำให้ได้เปรียบในเรื่องความสามารถในการหาความเข้มข้นที่แตกต่างกันเชิงพื้นที่ และข้อมูลชั่วขณะภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เช่น 1. หอยธรรมชาติที่มีอยู่ไม่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบได้ 2. การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของพารามิเตอร์ทางกายภาพ, ทางเคมีและทางชีวภาพ ที่จะมีผลต่อสรีรวิทยาของหอย และเป็นสาเหตุที่รบกวนผลการทดลอง ดังนั้น AM จึงถือเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล

Degger et al. (2011) การประเมินสถานะปัจจุบันของการปนเปื้อนโลหะหนักภายในสภาพแวดล้อมทางทะเล ในแอฟริกาใต้ผ่านการใช้ Artificial Mussel (AM) และหอยแมลงภู่ (*Perna Viridis*) ที่สามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ ทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมทางทะเลของแอฟริกาใต้

ในช่วงระยะเวลาการรับสัมผัส 6 สัปดาห์ การวิเคราะห์การดูดซึมโลหะหนัก (Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn) ได้ทำการตรวจสอบโดยนำ chelex resins ที่อยู่ภายใน AM และตัวอย่างเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่มาย่อยโดยใช้เครื่อง microwave digester เพื่อสกัดความเข้มข้นของโลหะหนัก และทำการตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้เครื่อง ICP-MS และ ICP-OES ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโลหะระหว่าง AM และ หอยแมลงภู่ แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันตามระยะเวลาและพื้นที่ ในการวิเคราะห์ครั้งนี้พบว่า AM ให้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์เกี่ยวกับโลหะหนักที่สามารถละลายน้ำได้ในการทดลองทางพื้นที่ภาคสนาม

Kibria et al. (2012) "Artificial mussel" หรือ (AM) เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีการนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศออสเตรเลียในแหล่งน้ำจืดเพื่อติดตามและประเมินความเสี่ยงต่อโลหะหนักประเภท Cd, Cu, Hg, Pb, และ Zn งานวิจัยนี้ได้นำAMs มาใช้ 10 สถานี ในลุ่มน้ำ Goulburn–Murray ประเทศออสเตรเลีย ทำการศึกษาในช่วงฤดูแล้งปี 2009–2010 และ ฤดูฝนปี 2010–2011 ผลพบว่า AMs มีการสะสม Cd, Pb, Hg ในช่วงฤดูฝนแต่ในช่วงฤดูแล้งมีความเข้มข้นต่ำ ในบางสถานีซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พบว่ามีความเข้มข้นของ Cu สูงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่ความเข้มข้นของ Zn พบมากในช่วงฤดูฝน การที่พบความเข้มข้นของ Cu ที่สูงในพื้นที่เกษตรกรรมนั้นสามารถบ่งบอกได้ว่ามีการใช้สารกำจัดเชื้อราหรือ fungicide ในพื้นที่เกษตรกรรมค่อนข้างมาก และพบว่าเมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ยังได้รับผลกระทบน้อยกว่า การศึกษาของเราแสดงให้เห็นว่าฤดูกาล เป็นปัจจัยที่สามารถมีอิทธิพลต่อโลหะหนักในแหล่งน้ำ ดังนั้นการนำวัสดุประดิษฐ์ AM มาใช้จึงสามารถบ่งบอกได้ว่าพื้นที่ใดที่สามารถพบการปนเปื้อนของโลหะหนักมากที่สุด ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับระบบนิเวศทางน้ำในลุ่มน้ำ Goulburn–Murray

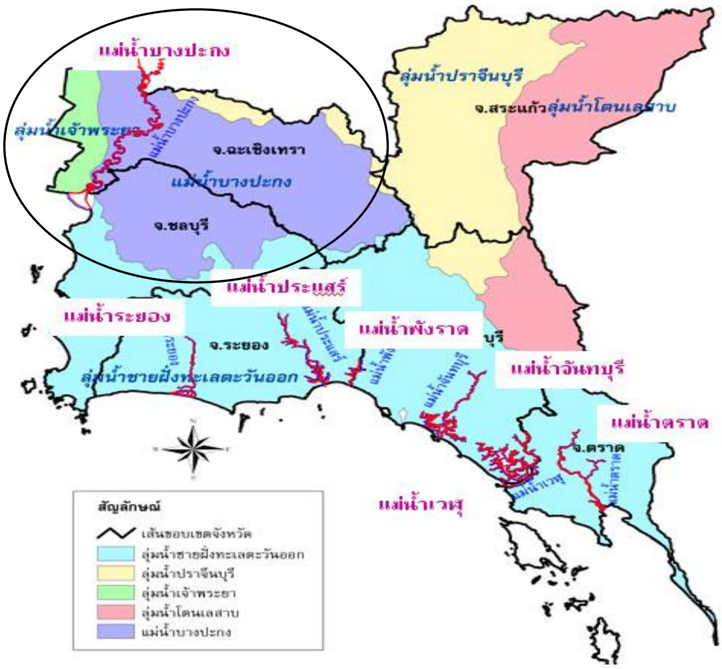
Claassens et al. (2016) ปัญหาคุณภาพน้ำในประเทศแอฟริกาที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการตรวจสอบมลพิษในแหล่งน้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการบริหารจัดการแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่อง จึงมีการนำวัสดุประดิษฐ์ AM มาใช้ในการตรวจติดตามโลหะหนักในแหล่งน้ำจืดเพื่อประเมินสถานการณ์ การทดสอบความสัมพันธ์ในความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, U, V และ Zn ในAM และ หอยเจดีย์ พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทั้ง AM และ หอยเจดีย์ในการสะสม As, U, และ Co แนวโน้มของการสะสมโลหะหนักระหว่างAM และ หอยเจดีย์ พบว่ามีลักษณะคล้ายกันในโลหะหนักทุกประเภทที่ผ่านการทดสอบ สำหรับสถานีที่

2 ซึ่งเป็นพื้นที่เหมืองทอง พบว่ามีความเข้มข้นของโลหะที่สูงที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ การศึกษานี้สามารถยืนยันสมมติฐานที่ว่าAM เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบโลหะในน้ำจืด

ข้อมูลพื้นที่ทำการศึกษา

ที่ราบชายฝั่งทะเล

ตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง ถึงอำเภอสัตหีบ ประกอบด้วยที่ราบแคบ ๆ ชายฝั่งทะเล มีภูเขาลูกเล็ก ๆ สลับเป็นบางตอน ลักษณะชายฝั่งเป็นหาดโคลนในเขตอำเภอเมือง ฯ ซึ่งเกิดจากการพัดพาตะกอนมาทับถมของแม่น้ำบางปะกง มีโคลนทับถมติดต่อกันไปในทะเลประมาณ 2 กิโลเมตร บริเวณก้นอ่าวเป็นที่ตั้งของจังหวัด ปลายสุดของอ่าวมีภูมิประเทศเป็นแหลมได้แก่ แหลมสามมุขและแหลมแท่น พื้นที่ระหว่างแหลมทั้งสองดังกล่าวมีลักษณะเป็นอ่าวตื้น มีการทับถมของตะกอนทรายกว้าง 500เมตร อันเป็นที่ตั้งของชายหาดบางแสน ระหว่างแหลมฉบังกับแหลมสามมุข มีอ่าวเล็ก ๆ ใกล้แหลมฉบังคือ อ่าวไผ่และอ่าวอุดม ในเขตอำเภอศรีราชา ชายฝั่งทะเลในช่วงนี้มีภูเขาติดชายทะเล ไม่มีตะกอน ท้องทะเลลึกจากชายฝั่ง 1-5 เมตร และห่างฝั่ง 2 กิโลเมตร ท้องทะเลลึกถึง 20 เมตร ชายฝั่งทะเลบริเวณนี้มีความเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง ระหว่างแหลมฉบังถึงแหลมพัทยา ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 24 กิโลเมตร มีแหลมควานกั้นอยู่ทำให้เกิดอ่าวขึ้นสองอ่าวคือ อ่าวนาเกลือและอ่าวตาคุ้ม (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดชลบุรี, 2553)



ภาพที่5 เส้นทางการไหลของแม่น้ำบางปะกงสู่อ่าวชลบุรี(สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี), 2525)

ข้อคิดเห็น[s7]: ปี ?

นอกจากนี้พื้นที่ส่วนหนึ่งของจังหวัดชลบุรีอยู่ติดกับแม่น้ำบางปะกง มีลำน้ำสำคัญคือ คลองหลวง ยาวประมาณ 130 กิโลเมตร ต้นน้ำอยู่ในเขตอำเภอบ่อทอง แล้วไหลผ่านเขตอำเภอพนัสนิคม อีกสายหนึ่งต้นน้ำอยู่ที่ห้วยใหญ่ อำเภอบ้านบึง ไหลมาบรรจบกันเป็นคลองพานทอง แล้วไหลลงสู่แม่น้ำบางปะกง ที่ปากคลองพานทอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ทำให้พื้นที่ตั้งแต่อำเภอบ้านบึงไปจนถึงอำเภอพานทอง อำเภอพนัสนิคม และทิศตะวันออกของอำเภอบ่อทอง มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดชลบุรี, 2553)

ที่ราบลุ่มแม่น้ำบางปะกง

ลุ่มน้ำบางปะกง ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี นครนายก และฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ทั้งหมด 19,161,25 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำบางปะกงมีความยาวนับจากจุดบรรจบกันถึงปากแม่น้ำประมาณ 122 กิโลเมตร เกิดจากการรวมตัวของแม่น้ำ 2 สาย คือ แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี โดยไหลมาบรรจบกันที่เขตติดต่อของ 3 จังหวัด คือ อำเภอองค์รักษ์ จังหวัดนครนายก, อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา และอำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี จากนั้นจะไหลผ่าน

อำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดฉะเชิงเทรา และไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) , 2555)

ข้อคิดเห็น[s8]: ref

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels)

อุปกรณ์

- ตะแกรงพลาสติกมีฝาปิด
- บีกเกอร์
- กรวยกรองแก้ว
- แท่งแก้วคนสาร
- น้ำกลั่น
- ถุงมือ
- เครื่อง Shaker
- Eppendrof tube
- volumetric flask
- เชือก
- ขวดพลาสติก
- ถังน้ำแข็ง
- Autopipette และ Tip
- กล่องพลาสติก
- กระดาษกรอง GF/C
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เชือกอวน
- Plastic ring
- Plastic Tube (ความยาว 6 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม.)

สารเคมี

- น้ำกลั่น
- Chelex-100 resin

- chelating agent (Ethylene-diamine-tetraacetate)
- Polyacrylamide (poly(2-propenamide))
- สารละลาย Ammonium peroxodisulfate
- TMEDA (N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine)
- กรดไนตริก (HNO_3)

สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทะเล

อุปกรณ์

- ขวดพลาสติก polyethylene ขนาด 60, 250, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- Micropipette ปริมาตร 200 ไมโครลิตร
- ชุดกรองพลาสติก
- เครื่องชั่งความละเอียดสูง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- เครื่องดูดอากาศ (Vacuum pump)
- Teflon Beaker
- กรวยแยก (Separatory Funnel) แบบ Teflon ขนาด 250 มิลลิลิตร
- กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ(Kemmerer water sample)
- กระดาษกรอง GF/C
- PH meter
- เครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบ Multi-Parameter (Water Quality Meter)

สารเคมี

- กรดไนตริก(HNO_3)
- Ammonium pyrolidine dithiocarbamate (APDC)
- Methyl isobuthyl ketone (MIBK)
- สารละลายมาตรฐาน แคดเมียม ความเข้มข้น 1,000 ppm
- สารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว ความเข้มข้น 1,000 ppm

สำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก

- น้ำกลั่นปลอดประจุ (Distilled deionized water)
- Graphite Furnace Atomic absorption spectrometry

วิธีการทดลอง

แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่1. การเตรียมหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels)

1.1 ท่อพลาสติก(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม., ความยาว 6 ซม.) ปิดปลายของท่อหนึ่งด้านด้วยพาราฟิล์ม

1.2 เตรียมสารละลาย 100 ml. โดยใช้ acrylamide ปริมาณ 15 กรัม และ N,N’-methylene-bisarcylamide ปริมาณ 0.5 กรัม ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำ DI ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.3 ใช้ปิเปตดูดสารละลายในข้อ 1.2 มา 4 ml. ใส่ในท่อพลาสติกที่มีพาราฟิล์มปิด(ทำจำนวน 2 ชิ้น จะได้AM 1 อัน)

1.4 เติม 10% ammonium peroxodisulfate ปริมาณ 160μL (เตรียมจาก ammonium peroxodisulfate 10 g ในน้ำกลั่น 100 mL)

1.5 เติม TMEDA (N,N,N’,N’-tetramethylethylenediamine)ปริมาตร 40 μL สารละลายนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา polymerization ทิ้งไว้ 5นาที

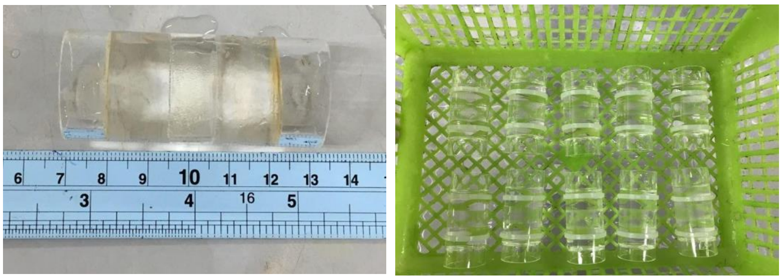
1.6 วางท่อพลาสติกที่มี Polyacrylamide gel ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 60 นาที

1.7 นำ Chelex-100 resin มาชั่งน้ำหนัก 0.2 กรัม (สำหรับAM 1อัน)

1.8 ดึงพาราฟิล์มที่ปิดไว้ปลายท่อพลาสติกออก และดัน Polyacrylamide gel เข้าไปจนถึงตรงกลางของท่อพลาสติก หลังจากนั้นใส่ Plastic ring ลงไปบนเจล

1.9 ใส่ Chelex-100 resin ที่ชั่งไว้ 0.2 กรัม และเติมน้ำ Milli-Q water จนเต็มท่อพลาสติก(ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ)

1.10 หลังจากนั้นนำ Polyacrylamide gel มาปิดอีกด้านของท่อพลาสติก โดยดันเจลเข้าไปให้สุดจนชนกับ Plastic ring จะได้ หอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) 1 อัน

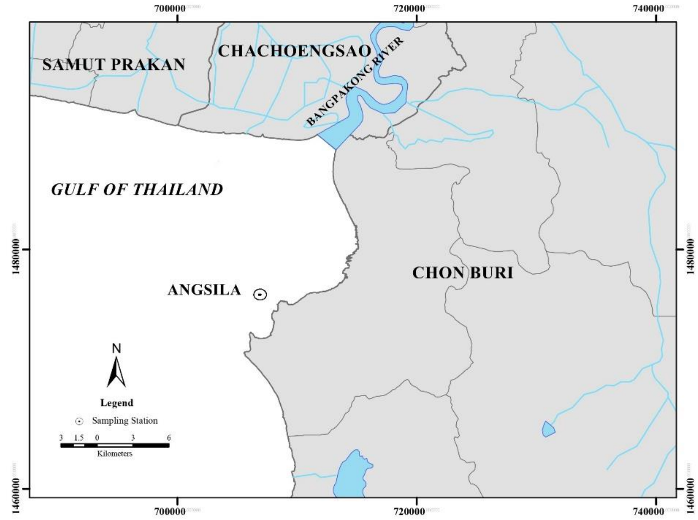


ภาพที่6 วัสดุหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ที่ประกอบเสร็จมี Chelex -100 resin อยู่ภายใน gel หัวและท้าย (ซ้าย) AM จำนวน 10 ชิ้น ที่ประกอบแล้ว ผูกติดกับตะกร้าพลาสติก (ขวา)

ส่วนที่ 2 การนำหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) ไปใช้ในภาคสนาม

2.1 ผูกหอยแมลงภู่เทียมที่ประกอบแล้วในตะกร้าพลาสติกที่มีฝาประกบกัน วางหอยแมลงภู่เทียมในภาคสนาม ตะกร้าจะแขวนใต้ผิวน้ำทะเลระดับความลึก 2 เมตร   ในแหล่งทดลองคือ ในแหล่งเลี้ยงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บริเวณชายฝั่งอ่างศิลา เก็บตัวอย่างเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14, 28, 42 และ56 วัน ทำการศึกษาจำนวน 2 ครั้ง ในระยะเวลา1 ปี

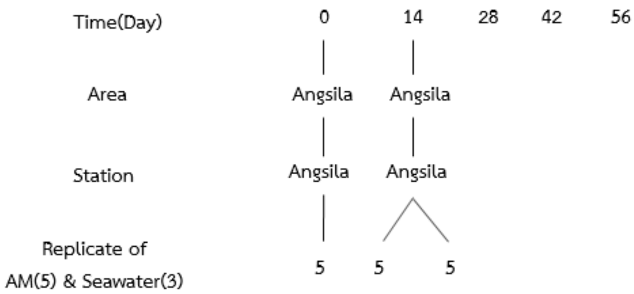
2.2 การวางหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) และการเก็บตัวอย่างน้ำ ในพื้นที่อ่างศิลา ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ในด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



ภาพที่ 7 แผนที่ชายฝั่งบริเวณอ่างศิลา จุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและวางหอยแมลงภู่เทียม

2.3 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและการวาง หอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels)

จากพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เก็บตัวอย่าง จำนวน 1 จุด โดยมีแบบแผนการเก็บตัวอย่างในภาพที่ 7 ด้านล่าง



ภาพที่ 8 แผนการเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels) และน้ำทะเล ในบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา

เมื่อระยะเวลาผ่านไป 14, 28, 42 และ 56 วัน เก็บลำเลียงหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) ในภาคสนาม แกะหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) ออกจากตะกร้าพลาสติก แล้วอุดด้วยสำลีชุ่มน้ำสองด้าน เก็บในความเย็น ในถังแช่น้ำแข็ง จนกลับมาถึงห้องปฏิบัติการ

ส่วนที่ 3 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลโดยตรงและการวิเคราะห์โลหะหนัก

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลใน 2 ฤดูกาล

3.1 ตัวอย่างน้ำทะเลเก็บที่ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ทำด้วยโลหะ เก็บตัวอย่าง 5 ซ้ำ นำน้ำที่เก็บได้ถ่ายลงในขวดพลาสติกชนิด polyethylene ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นขวดที่ผ่านการแช่ด้วยกรดไนตริก 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เรียบร้อยแล้ว

3.2 ทำการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วเก็บตัวอย่างน้ำไว้

3.3 รักษาตัวอย่างน้ำโดยการปรับ pH ของน้ำให้ต่ำกว่า 2 ด้วย กรดไนตริกเข้มข้น

3.4 แช่ขวดน้ำตัวอย่างในถังน้ำแข็งจนถึงห้องปฏิบัติการ แล้วทำการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

3.5 นอกจากนี้ในแต่ละสถานีได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำพื้นฐาน ณ จุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า

การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม ตะกั่ว ในน้ำทะเลตามวิธีการวิเคราะห์ของ Sukasem (1989)

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำ (dissolved heavy metals) โดยสกัดโลหะหนักออกจากน้ำตัวอย่างด้วยสาร organic solvent และทำการสกัดอีกครั้งด้วยสารละลายกรด ซึ่งเป็นการทำให้ปริมาณโลหะหนักที่สกัดมีความคงตัวกว่าที่อยู่ในรูปของสารละลาย โดยมีวิธีดังนี้

3.6 เตรียมสารละลาย APDC 2%

ชั่ง APDC 2 กรัม เทใส่ลงในกรวยแยกแล้วเติมน้ำกลั่น 98 มิลลิลิตร ก่อนนำไปใช้ซึ่งจะทำการสกัด 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ทำการเติม MIBK 5 มิลลิลิตร ปิดฝากรวยแยกให้สนิท เขย่า 5 นาที จากนั้นคลายฝาให้พอหลวมปล่อยทิ้งไว้บนชุดขาตั้ง 10 นาที เพื่อให้แยกชั้น แล้วไขชั้นล่างถ่ายไปเก็บไว้ในกรวยแยกอีกอันหนึ่ง นำสารละลายมาสกัดอีกครั้งโดยเติม MIBK 5 มิลลิลิตร ปิดฝากรวยแยกให้

สนิทแล้วเขย่า 5 นาที จากนั้นคลายฝาพอหลวมปล่อยทิ้งไว้บนชุดขาตั้ง 10 นาที เพื่อให้แยกชั้น ไขชั้นล่างเก็บใส่ขวดเทฟลอน นำไปใช้ หากยังไม่ใช้ควรเก็บไว้ในตู้เย็น (ควรเตรียม APDC ใหม่ทุกครั้งก่อนนำมาสกัดโลหะหนัก)

3.7 การสกัดโลหะหนักออกจากน้ำตัวอย่าง

- นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์เทฟลอนหลังจากนั้นปรับ pH ของน้ำตัวอย่าง ให้มีค่าเท่ากับ 4 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่เจือจางแล้ว ถ่ายลงในกรวยแยก ชนิดเทฟลอน ขนาด 250 มิลลิลิตร
- เติม 2% APDC 5 มิลลิลิตร และ MIBK 5 มิลลิลิตร เขย่า 5 นาที ทิ้งให้แยกชั้น เก็บชั้นบนของ MIBK เก็บไว้
- นำสารละลายที่ได้มาสกัดอีกครั้งด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 4N เขย่า 5 นาที ทิ้งไว้ให้แยกชั้น ไขชั้นกรด (ชั้นล่าง) แล้วเก็บใส่ขวด polyethylene เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ประเภท Graphite furnace

ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์โลหะหนักในหอยแมลงภู่เทียม(Artificial Mussels)

วิธีวิเคราะห์โลหะหนัก Cd และ Pb จากวัสดุ AM (Wu & Lau, 1996)

4.1 วางกระดาษกรองลงบน Funnel แล้วดันเจลหนึ่งด้าน ออกจากท่อพลาสติก แยก Chelex-100 resin ออกจากเจล โดยวางบนกระดาษกรอง และล้างส่วนที่เป็น Chelex resin ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

4.2 ล้าง Chelex-100 resin ที่อยู่บนกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง จากนั้นเท Chelex-100 resin จากกระดาษกรองลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริก (6 M) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในบีคเกอร์ เพื่อเป็นการสกัดโลหะไอออนที่ดูดซึมโดย Chelex-100 resin (สกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้แน่ใจว่าไอออนโลหะที่ดูดซับถูกชะออก)

4.3 หลังจากการสกัด เทในส่วนที่เป็นสารละลายกรดลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 25 มิลลิลิตร

4.4 เทสารละลายในขวด polypropylene ที่สะอาดมีฝาปิดมีการทำเครื่องหมายอย่างถูกต้อง และเก็บไว้ที่ตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์โลหะในภายหลัง ด้วย Atomic absorption spectrophotometer (AAS) ประเภท Graphite furnace

การวิเคราะห์ข้อมูล

- ความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb จากน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) วัสดุ AM เบื้องต้นจะทดสอบการกระจายแบบปรกติของข้อมูล (Normality test)
- การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของ Cd และ Pb ระหว่างการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) เชิงระยะเวลา และน้ำทะเลที่ตรวจสอบทุกช่วงระยะเวลา นำมาทดสอบด้วย Spearman Correlation Analysis
- การวิเคราะห์ปัจจัยจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ (ค่าความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า ค่าออกซิเจน ค่าpH และค่าอุณหภูมิ) ที่มีผลต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเลและการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels) ทดสอบด้วย Spearman Correlation Analysis

บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนโลหะหนัก (Cd และ Pb)ในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลาจังหวัดชลบุรี

การตรวจสอบการปนเปื้อน โละหนักในน้ำทะเลของพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ในด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากการตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd ในน้ำทะเลทุกช่วงระยะเวลา ทั้งสองฤดูกาล พบว่าฤดูกาลมีผลต่อการพบความเข้มข้นของทั้ง Cd และ Pb ทั้งในน้ำทะเลและจากการดูดซับของAM

1.1 การปนเปื้อนโลหะหนักที่วัดจากในน้ำทะเลโดยตรง

ค่าความเข้มข้นของ Cd ในน้ำทะเล พบว่าในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ในฤดูแล้ง ตลอดระยะเวลา 56 วัน พบค่าได้ ในช่วง 0.49-1.73 $\mu g\ L^{-1}$ และพบค่าสูง ณ วันที่ 42 และวันที่ 56 ช่วง 0.70-1.73 $\mu g\ L^{-1}$ ส่วนฤดูฝน ตลอดระยะเวลา 56 วัน พบค่า Cd <0.50 $\mu g\ L^{-1}$ และพบค่าสูง ณ วันที่ 14 ช่วง 0.36-0.50 $\mu g\ L^{-1}$

ค่าความเข้มข้นของ Pb ในน้ำทะเล พบว่าในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ในฤดูแล้ง ตลอดระยะเวลา 56 วัน พบค่าได้ ในช่วง 3.84-10.79 $\mu g\ L^{-1}$ และพบค่าสูง ณ วันที่ 42 และวันที่ 56 ช่วง 4.00-10.79 $\mu g\ L^{-1}$ ส่วนฤดูฝน ตลอดระยะเวลา 56วัน พบค่าช่วง 1.11-5.73 $\mu g\ L^{-1}$ และพบค่าสูง ณ วันที่ 56 ช่วง 1.11-5.73 $\mu g\ L^{-1}$ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 9

1.2 การปนเปื้อนโลหะหนักที่วัดจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussels)

ค่าความเข้มข้นของ Cd จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม พบว่าในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้งในฤดูแล้ง ตลอดระยะเวลา 56 วัน จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม พบค่าได้ ในช่วง 0.02-0.13 ug/g-chelex และพบค่าสูง ณ วันที่ 56 ช่วง 0.1 - 0.13 ug/g-chelex ส่วน ในฤดูฝน ตลอดระยะเวลา 56 วันจากการดูดซับของ หอยแมลงภู่เทียม พบค่า <0.40 ug/g-chelex และพบค่าสูง ณ วันที่ 56 ช่วง 0.02-0.40 ug/g-chelex แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 9

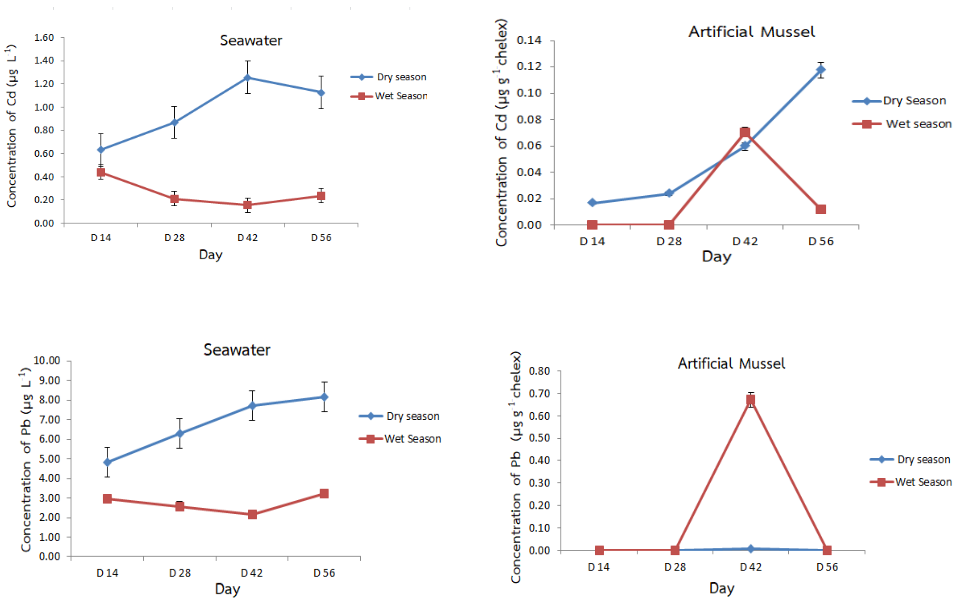
ค่าความเข้มข้นของ Pb จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมในฤดูแล้ง ตลอดระยะเวลา 56 วัน ไม่พบค่าทุกช่วงระยะเวลา (Pb IDL =0.1 $\mu g\ L^{-1}$) ส่วนฤดูฝน ตลอดระยะเวลา 56 วัน จากการ

ดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม พบค่า <0.11 ug/g-chelex และพบค่าสูงสุด ณ วันที่ 42 มีค่า 0.11 ug/g-chelex แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 9

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความเข้มข้นของ Cd และ Pb จากน้ำทะเลและการดูดซับของหอยแมลงภู่ เทียมเชิงระยะเวลา จากสถานีพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

Cadmium(Cd)			
Season	Time (Days)	Range: Seawater (n=5) (ug/L)	Range: Artificial Mussel (n=5) (ug/g-chelex)
Dry	14	0.49-0.76	0.02-0.04
	28	0.57-1.17	0.02-0.04
	42	0.70-1.70	0.03-0.11
	56	0.70-1.73	0.10-0.13
Wet	14	0.36-0.50	ND
	28	0.04-0.32	ND
	42	0.05-0.22	0.05-0.11
	56	0.09-0.33	0.02-0.40
Lead (Pb)			
Season	Time (Days)	Range: Seawater (n=5) (ug/L)	Range: Artificial Mussel (n=5) (ug/g-chelex)
Dry	14	3.84-8.20	ND
	28	4.58-9.23	ND
	42	4.00-10.20	ND
	56	7.79-10.79	ND
Wet	14	2.78-3.18	ND
	28	2.05-3.48	ND
	42	1.91-2.67	<0.11
	56	1.11-5.73	<0.04

(Cd Instrument Detection Limit =0.01 $\mu g\ L^{-1}$) (Pb Instrument Detection Limit =0.1 $\mu g\ L^{-1}$)



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความเข้มข้น (mean ± s.d) ของ Cd และ Pb จากน้ำทะเล (ซ้าย) และ
หอยแมลงภู่เทียม (ขวา) เชิงระยะเวลา จากสถานีพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

2. การนำหอยแมลงภู่เทียม มาประยุกต์ทดลองเพื่อให้ทราบการนำไปใช้ในงานติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลแทนสิ่งมีชีวิตควบคู่กับตรวจวัดในน้ำทะเล

2.1 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก ระหว่างน้ำทะเลและหอยแมลงภู่เทียม ในแต่ละช่วงระยะเวลา รวมทั้ง 2 ฤดูกาล

ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ผลการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงระยะเวลาทั้งวันที่ 28 42 และ56 วัน ความเข้มข้นของ Cd จากน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก โดยมีค่า r = 0.76 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ Cd ในน้ำทะเลมีค่าไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเข้มข้นของ Cd จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม

ส่วนความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก Pb ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ผลการวิเคราะห์พบว่า ทุกช่วงระยะเวลาที่ได้ตรวจสอบ ความเข้มข้นของ Pb จากน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ Pb ในน้ำทะเลไม่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับค่าจากการดูดซับของ หอยแมลงภู่เทียมดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้น โลหะหนัก (Cd และ Pb) ระหว่างน้ำทะเล
และหอยแมลงภู่เทียม จากสถานีพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

Cadmium(Cd)			
Day	Sample	Correlation Coefficient (r)	P-value
14	น้ำทะเล และ หอยแมลงภู่เทียม	0.54	0.10
28		0.70	0.02
42		0.72	0.03
56		0.76	0.01
Lead(Pb)			
Day	Sample	Correlation Coefficient(r)	P-value
14	น้ำทะเล และ หอยแมลงภู่เทียม	-0.08	0.82
28		0.47	0.17
42		-0.24	0.51
56		a	

*a = All values in column are identical

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการนำหอยแมลงภู่เทียม มาใช้ในการทดลองทางภาคสนามของประเทศไทย

3.1 ค่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี (มีนาคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2560 และ กรกฎาคม-กันยายนพ.ศ. 2560)

จากการตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี พบว่าค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าความเค็ม (Salinity) ที่วัดได้จากน้ำทะเลในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน โดย ค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง มีค่าอยู่ในช่วง 51,847 - 54,217 µS / cm ส่วนในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 17,061 - 19,036 µS / cm และ ค่าความเค็ม พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง มีค่า อยู่ในช่วง 30.80-31.60 ppt ส่วนในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 8.90-15.70 ppt ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเค็มที่วัดจากน้ำทะเลมาทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบ ค่าการนำไฟฟ้ามีผลต่อการตรวจพบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลและจากการดูดซับของAM ส่วนค่าคุณภาพน้ำทะเลอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันในสองฤดูกาล ดังนี้ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) ในช่วงฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 4.80-5.00 mg/L ส่วนในฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 6.30- 7.10 mg/L, ค่าอุณหภูมิของน้ำทะเล (Temperature) ในช่วงฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 29.70 - 30.60°C ส่วนในฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 30.20 - 30.60 °C , ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วงฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 7.88 – 7.91 ส่วนในฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 8.10 - 8.40

นอกจากนี้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ค่าปริมาณน้ำฝนของจังหวัดชลบุรีในปี 2559 และปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 925.7 มิลลิเมตร และ 1,033.4 มิลลิเมตร ในปีพ.ศ. 2560 ที่ทำการศึกษาวิจัย พบว่าปริมาณน้ำฝน ในเดือนมีนาคม เมษายน และเดือนพฤษภาคม พื้นที่จังหวัดชลบุรีมีค่าปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 53.30, 59.5และ330 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2559 มีค่า 1.4 , 9.0 และ 68.7 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณน้ำฝนของแต่ละจังหวัดในภาคตะวันออกเปรียบเทียบปี 2559 และปี2560 (จากกรมอุตุนิยมวิทยา)

จังหวัด / เดือน	ม.ค. 2560	ม.ค. 2559	ก.พ. 2560	ก.พ. 2559	มี.ค. 2560	มี.ค. 2559	เม.ย. 2560	เม.ย. 2559	พ.ค. 2560	พ.ค. 2559	มิ.ย. 2560	มิ.ย. 2559	ก.ค. 2560	ก.ค. 2559	ม.ค.-ก.ค. 2560	ม.ค.-ก.ค. 2560
ปราจีนบุรี	4.9	24.6	5.1	-	54.9	15.3	31.9	17.2	285.0	153.4	251.9	238.2	399.7	477.0	1,033.4	925.7
สระแก้ว	9.7	5.1	18.6	0.4	90.3	-	77.4	66.30	153.8	193.0	225.6	185.6	319.6	312.0	895.0	7602.4
ฉะเชิงเทรา	15.1	32.8	5.4	-	140.8	30.3	105.1	125.7	413.4	86.6	274.8	130.4	258.2	230.1	1,212.8	635.9
ชลบุรี	59.1	102.9	0.5	-	53.0	1.4	59.5	9.0	330.0	68.7	144.7	167.5	298.7	191.7	945.5	541.2

ตารางที่ 5 ค่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

Season	Day	DO (mg/L)	Temperature (°C)	Conductivity (µS / cm)	Salinity (ppt.)	pH
Dry Season (March –May, 2017)	14	5.00	30.2	54,217	31.4	7.90
	28	4.90	29.7	51,847	30.8	7.98
	42	4.80	30.6	53,794	31.6	7.88
	56	5.00	29.9	53,412	31.1	7.19
Wet Season (July–September, 2017)	14	6.30	30.3	18,673	15.7	8.10
	28	7.10	30.6	18,732	9.9	8.10
	42	6.90	30.5	17,061	8.9	8.40
	56	6.90	30.2	19,036	9.1	8.40

3.2 ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลรวมกันสองฤดูกาล ผลจากความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 6 พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb ในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มที่วัดได้จากน้ำทะเล โดย Cd มีค่า $r = 0.7$ ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ และ Pb มีค่า $r = 0.6$ ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ แสดงให้เห็นว่า ค่าความเค็มของน้ำทะเลมีผลต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำทะเล โดยค่าความเค็มมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล

3.3 ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม

การวิเคราะห์ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม ผลจากความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 6 พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม รวมกันสองฤดูกาล ไม่เกี่ยวข้องและไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มที่วัดได้จากน้ำทะเล ชี้ให้เห็นว่า ค่าความเค็มของน้ำทะเลไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ในหอยแมลงภู่เทียม

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของโลหะหนัก Cd และ Pb ระหว่าง น้ำทะเล หอยแมลงภู่เทียม และค่าความเค็มที่วัดได้จากน้ำทะเลรวมกันสองฤดูกาล จากสถานีพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

Heavy Metal	Sample	Correlation Coefficient(r)	P-value
Cadmium	น้ำทะเล	0.70	0.00
	หอยแมลงภู่เทียม	0.24	0.09
Lead	น้ำทะเล	0.68	0.00
	หอยแมลงภู่เทียม	0.06	0.66

3.4 ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล รวมกันสองฤดูกาลผลจากความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 7 พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb ในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า โดย Cd มีค่า r = 0.72 ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ และโดย Pb มีค่า r = 0.74 ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ แสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลมีผลต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำทะเล โดยค่าการนำไฟฟ้ามีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล

3.5 ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม

การวิเคราะห์ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ของหอยแมลงภู่เทียม ผลจากความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 7 พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม รวมกันสองฤดูกาลมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากน้ำทะเลเพียงแค่ r = 0.42 ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ แสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม เพียง 42 % เท่านั้น ส่วนโลหะหนัก Pb ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเล ไม่เกี่ยวข้องและไม่มีความสัมพันธ์กับการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ชี้ให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Pb หอยแมลงภู่เทียม

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ของโลหะหนัก Cd และ Pb ระหว่าง น้ำทะเล หอยแมลงภู่เทียม และค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากน้ำทะเลรวมกันสองฤดูกาล จากสถานีพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี

Heavy Metal	Sample	Correlation Coefficient(r)	P-value
Cadmium	น้ำทะเล	0.73	0.00
	หอยแมลงภู่เทียม	0.42	0.00
Lead	น้ำทะเล	0.74	0.00
	หอยแมลงภู่เทียม	0.01	0.92

บทที่ 5
อภิปรายผลการทดลอง

1. การปนเปื้อนโลหะหนัก Cd และ Pb ในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลาจังหวัดชลบุรี

1.1 การปนเปื้อนโลหะหนักที่วัดจากในน้ำทะเลโดยตรง

จากงานวิจัยนี้การปนเปื้อน Cd และ Pb ในน้ำทะเลของพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ในด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากการตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และPbในน้ำทะเลทุกช่วงระยะเวลา พบว่าในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน โดยฤดูแล้งที่เริ่มเก็บในช่วง 14 และ 28 วันของเดือนมีนาคม พบ Cd และ Pbในความเข้มข้นต่ำ และความเข้มข้นจะสูงขึ้นในวันที่ 42 และสูงสุดที่ 56 วันในเดือนพฤษภาคม เหตุผลเนื่องจากในช่วงปลายเดือนเมษายนและต้นเดือนพฤษภาคมเริ่มมีฝนตกเร็วทำให้เกิดการชะล้างของน้ำฝนจากแผ่นดินชายฝั่งและแม่น้ำบางปะกงลงสู่ทะเล โดยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงปริมาณน้ำฝนของจังหวัดชลบุรี ในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 59.5 และ 330.0 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2559 ในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม มีค่าปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 9.0 และ 68.7 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นของ Cd ที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทยและอาเซียน (5 $\mu g\ L^{-1}$)ซึ่งการประเมินการปนเปื้อน Cd ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ในการศึกษาครั้งนี้ ยังคงมีความปลอดภัยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและสัตว์น้ำเพื่อการประมงและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ความเข้มข้นของ Pb ในบางตัวอย่างพบมีค่า 10.79 $\mu g\ L^{-1}$ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของประเทศไทยและอาเซียน (8.5 $\mu g\ L^{-1}$) ดังนั้นจึงควรมีการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ ตรวจติดตามการปนเปื้อนของ Pb ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ในช่วงรอยต่อปลายฤดูแล้งเข้าสู่ฤดูฝน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาไม่พบการปนเปื้อน ในการรายงาน Cd และ Pb ในน้ำทะเลเกินมาตรฐานมาก่อน เช่นในปีพ.ศ. 2550 บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงถึงอ่างศิลา Cd และ Pbอยู่ในช่วง 0.02-0.04 $\mu g\ L^{-1}$ และ 0.29-0.73 $\mu g\ L^{-1}$ ตามลำดับ (แววตา ทองระอา และคณะ, 2551) นอกจากนี้การศึกษาที่บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนในปี 2551 พบการปนเปื้อนของโลหะหนัก Cd และ Pb มีค่า $< 0.01\ \mu g\ L^{-1}$ และ $<0.04\ \mu g\ L^{-1}$ ตามลำดับ (Rermdumri et al., 2008) และล่าสุดจากการรายงานสถานการณ์โลหะหนัก จากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 จังหวัดชลบุรี ปี พ.ศ.2559 (www.reo13.go.th) ผลการรายงานตรวจพบการปนเปื้อน Cd และ Pb ในน้ำผิวดิน บริเวณแม่น้ำบางปะกง จนถึง คลองพระสะทึง จังหวัดสระแก้ว มีค่าเฉลี่ย 2 $\mu g\ L^{-1}$ และ 15 $\mu g\ L^{-1}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในช่วงหลายปีที่ผ่าน

มามีการปนเปื้อนโลหะหนัก Cd และPb ในบริเวณแม่น้ำบางปะกงและพื้นที่ใกล้เคียงสูงขึ้นหลายเท่าและอาจมีโอกาสปนเปื้อนเพิ่มขึ้นที่บริเวณแหล่งการเพาะเลี้ยงและการประมงบริเวณอ่างศิลา (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 จังหวัดชลบุรี , 2558) ดังนั้นจึงควรมีการเฝ้าระวังติดตามการปนเปื้อนโลหะหนักตามชายฝั่งอ่างศิลาอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งมาตรการให้เข้มงวด การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งทะเลของโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่โดยรอบบริเวณชายฝั่ง และนอกจากนี้ควรมีการตรวจติดตามและตระหนักเพื่อเฝ้าระวังการปนเปื้อน Cd และ Pbในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ปากแม่น้ำ รวมทั้งบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา

1.2 การปนเปื้อนโลหะหนัก Cd และ Pb ที่วัดจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม

ผลการวิจัยตรวจสอบการปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้ การดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมในแหล่งน้ำทะเลชายฝั่ง อ่างศิลา ที่มีกิจกรรมด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตรวจสอบต่อเนื่อง ช่วงระยะเวลา 56 วัน (ทุก ๆ 14 วัน) โดยค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd จากการดูดซับของ หอยแมลงภู่เทียม ทุกช่วงระยะเวลา เป็นไปในทิศทางเดียวกับการตรวจในน้ำทะเล พบว่าการใช้ หอยแมลงภู่เทียม สามารถตรวจพบค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd ทั้งสองฤดู ณ 42 และ 56 วัน แต่ ในวันที่ 14 และ 28 มีความเข้มข้นของ Cd ต่ำไม่สามารถตรวจพบได้ ทั้งนี้งานวิจัยของ Wu et al. (2007) กล่าวว่า หอยแมลงภู่เทียม สามารถกักเก็บความเข้มข้นของโลหะจนถึงจุดสมดุลในเวลาประมาณ 30-40 วัน ทั้งผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามพบว่า Chelex- 100 มี binding ที่ดีต่อการดูดซับ Cd ตามระยะเวลาได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ๆ โดยผลการศึกษาครั้งนี้ คือ 42 วัน ซึ่งสอดคล้องกับ Wu et al., 2007 แนะนำการเข้าจุดสมดุล ที่ระยะเวลาเหมาะสม คือ 30-40 วัน

ส่วนโลหะหนัก Pb จากการดูดซับของ หอยแมลงภู่เทียม ทุกช่วงระยะเวลา พบค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ในวันที่ 42 และวันที่ 56 ในช่วงฤดูฝนเท่านั้น ส่วนวันที่ 14 และ 28 มีความเข้มข้นของ Pb ต่ำไม่สามารถตรวจพบได้ ส่วนฤดูแล้งไม่พบค่าความเข้มข้นของ Pb ในหอยแมลงภู่เทียม ทุกช่วงระยะเวลา ซึ่งงานวิจัยของ Leung et al. (2008) กล่าวว่า หอยแมลงภู่เทียม สามารถดูดซึม Pb ได้ดีที่ช่วงระยะเวลา 20-40 วัน และการละลายน้ำของโลหะหนักมีผลต่อการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม และพบว่าหอยแมลงภู่เทียม สามารถปลดปล่อยตะกั่วออกจาก Chelex-resin ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหอยแมลงภู่เทียม มีความสามารถที่จะปลดปล่อยโลหะที่สะสมออกมาเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักแหล่งน้ำลดลงหรือแหล่งน้ำนั้นมีค่าการปนเปื้อนน้อยลง และจากผลงานวิจัยครั้งนี้ในการนำหอยแมลงภู่เทียมมาใช้ในการดูดซับ Pb ในน้ำทะเล จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การปลดปล่อยตะกั่วออกจาก Chelex-resin ภายในหอยแมลงภู่เทียม อันมีผลมาจากลักษณะทางกายภาพและเคมีภาพของแหล่งน้ำที่ทำการศึกษา

2. ทดสอบความสัมพันธ์ความเข้มข้นของ Cd และ Pb ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม สำหรับการนำไปใช้ในงานติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลแทนสิ่งมีชีวิต ควบคู่กับตรวจวัดในน้ำทะเลในประเทศไทย

2.1 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ระหว่างน้ำทะเลและหอยแมลงภู่เทียม ในแต่ละช่วงระยะเวลา รวมทั้ง 2 ฤดูกาล

ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ผลการวิเคราะห์พบว่า ในช่วงระยะเวลาวันที่ 28 42 และ56 วัน ความเข้มข้นของ Cd จากน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ Cd ในน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จึงคาดว่าสามารถประยุกต์ใช้หอยแมลงภู่เทียม แทนสิ่งมีชีวิตในการติดตามการปนเปื้อนของ Cd ในน้ำทะเลของชายฝั่งประเทศไทยได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Claassens et al. (2016) กล่าวว่าความเข้มข้นของ Cd จากการดูดซับของ หอยแมลงภู่เทียม แสดงแนวโน้มที่คล้ายกันกับที่ตรวจพบในน้ำทะเล แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของ bio-availability ของโลหะหนักในแต่ละพื้นที่ ส่วนความสัมพันธ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก Pb ระหว่างน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ผลการวิเคราะห์พบว่า ทุกช่วงระยะเวลาที่ได้ตรวจสอบทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ความเข้มข้นของ Pb จากน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียมไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ซึ่งควรจะตรวจพบ Pb ได้ในหอยแมลงภู่เทียมเนื่องจากการรายงานงานวิจัยของ Phillips and Rainbow (1993); Leung et al. (2002) กล่าวว่าหอยแมลงภู่เทียม มีความสามารถในการดูดซึมธาตุโลหะที่ละลายน้ำและโลหะหนักที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอย ดังนั้นในสภาวะน้ำทะเล ที่มีโลหะหนักหลายชนิด อิออนของธาตุทั้งหลาย จะมีการแข่งขันในการจับกับสารอินทรีย์ เพื่อให้เกิดความคงตัวในรูปโลหะสารประกอบ ในขณะที่หอยแมลงภู่เทียมก็มีการปลดปล่อยโลหะออกมาในน้ำทะเล เช่นกัน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจ Pb ในหอยแมลงภู่เทียมจากการศึกษาครั้งนี้ได้ เหมือนกับตรวจโดยตรงจากน้ำทะเล

3.ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลและจากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel)

3.1 ปัจจัยของความเค็มต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปัจจัยของความเค็มต่อการตรวจพบความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb ในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มแสดงให้เห็นว่า ค่าความเค็มของน้ำทะเลมีผลต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำทะเล โดยหากน้ำทะเลมีค่าความเค็มมากขึ้นหรือลดลงก็จะทำให้การตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำมากหรือลดลงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการตรวจวัดโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลโดยตรงจึงมีปัจจัยรบกวนในเรื่องของความเค็ม ซึ่งไม่ควรพบโลหะ Cd และ Pb ปนเปื้อนในน้ำทะเลในช่วงฤดูแล้งที่มีความเค็มสูง แต่ผลการศึกษาครั้งนี้พบทั้งสองโลหะสูงขึ้นในปลายฤดูแล้งเนื่องจากปี 2560 ฤดูฝนได้เริ่มเร็วขึ้นในเดือนเมษายน ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้ จึงชี้ว่า ในช่วงฤดูแล้งที่ไม่มีผลการชะล้างของน้ำฝนเป็นปัจจัยรบกวน ควรตรวจ Cd โดยการใช้หอยแมลงภู่เทียมจึงจะมีความเหมาะสม ทั้งจากงานวิจัยของ Elder (1988) กล่าวว่า รูปแบบของโลหะหนักละลายในน้ำทะเล (dissolved metal) จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและสภาวะ physiochemical ของแหล่งน้ำนั้น เช่น ความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า หรือ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Mclusky et al. (1986) พบว่าการเพิ่มของความเค็มในน้ำทะเลจะนำไปสู่การลดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำในแหล่งน้ำทะเล โดยเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น Cl จะมีการแย่งเกาะกับเนื้อเยื่อสัตว์น้ำมากขึ้นทำให้ไอออนของโลหะหนักมีความสามารถในการจับกับเนื้อเยื่อได้น้อยลง ดังนั้นในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลาที่มีค่าความเค็มต่ำในฤดูฝนอาจส่งผล ต่อ bioavailibity ของโลหะหนักในน้ำทะเลและการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตมากขึ้น ส่วนในฤดูแล้งที่มีค่าความเค็มสูงอาจลดโอกาสความสามารถของไอออนของโลหะหนักในการจับกับเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำได้

3.2 ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ของหอยแมลงภู่เทียม

การวิเคราะห์ปัจจัยของความเค็มที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม ไม่เกี่ยวข้องและไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มแสดงให้เห็นว่าการนำหอยแมลงภู่เทียม มาใช้ในการดูดซับ Cd และ Pb มีความเหมาะสมสำหรับในฤดูแล้ง เนื่องจากค่าความเค็มของน้ำทะเลไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ในหอยแมลงภู่เทียม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu et al. (2007) ทำการทดลองผลของความเค็มที่แตกต่างกันที่มีต่อการดูดซับโลหะหนักของ หอยแมลงภู่เทียม ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในหอยแมลงภู่เทียม ไม่ได้มีความ

เกี่ยวข้องกับความเค็ม แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าหอยแมลงภู่เทียม ดูดซับโลหะได้มากที่สุดที่ความเค็ม 20-30 ppt อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาในพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลา ช่วงฤดูแล้งมีความเค็มอยู่ในช่วง 27-30 ppt และช่วงฤดูฝนมีความเค็มอยู่ในช่วง 9 – 16 ppt (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555) ซึ่งในช่วงฤดูแล้งที่ค่าความเค็มสูงเป็นช่วงที่ดีต่อดูดซับโลหะได้มากที่สุดของหอยแมลงภู่เทียม ตามผลงานวิจัยของ Wu et al., 2007 และถึงแม้ว่าในช่วงฤดูฝนจะมีค่าความเค็มต่ำแต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติในครั้งนี้พบว่า ค่าความเค็มของน้ำทะเลไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ในหอยแมลงภู่เทียม ดังนั้นการนำ หอยแมลงภู่เทียม มาใช้ในพื้นที่อ่างศิลาจังหวัดชลบุรี ไม่ว่าจะเป็นฤดูกาลใด ก็สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบจากค่าความเค็มทั้งสองฤดูกาล

3.3 ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล ผลจากความสัมพันธ์ดังตารางที่ 5 พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง Cd และ Pb ในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลมีผลกระทบต่อการตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำทะเล โดยหากน้ำทะเลมีค่าการนำไฟฟ้ามากหรือน้อยก็จะทำให้การตรวจพบโลหะหนัก Cd และ Pb ในแหล่งน้ำมากขึ้นหรือน้อยลงตามไปด้วย ซึ่งไม่ควรพบโลหะปนเปื้อนในน้ำทะเลในช่วงฤดูแล้งที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงในน้ำทะเล แต่ผลการศึกษาครั้งนี้พบทั้งสองโลหะสูงขึ้นในปลายฤดูแล้งเนื่องจากปี 2560 ฤดูฝนได้เริ่มเร็วขึ้นในเดือนเมษายน ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้ จึงชี้ว่า ในช่วงฤดูแล้งที่ไม่มีผลการชะล้างของน้ำฝนเป็นปัจจัยรบกวน ควรตรวจ Cd โดย หอยแมลงภู่เทียม จึงจะมีความเหมาะสม ซึ่งค่าการนำไฟฟ้า เป็นวิธีวัดความสามารถของน้ำในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดจากมีอยู่ของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ไนเตรต ซัลเฟต และฟอสเฟต (แอนไอออนคือไอออนที่มีประจุลบ) หรือ แคทไอออนของโซเดียมแมกนีเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม (แคทไอออนคือไอออนที่มีประจุบวก) สารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำมัน ฟีนอล แอลกอฮอล์ และน้ำตาล นำไฟฟ้าได้ไม่ดีนักและมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าเมื่อละลายอยู่ในน้ำ นอกจากนี้การนำไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงค่าการนำไฟฟ้าก็จะยิ่งมากขึ้น ด้วยเหตุผลเหล่านี้เองจึงมักรายงานค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การนำไฟฟ้าในแหล่งน้ำนั้นยังได้รับผลกระทบโดยตรงจากลักษณะทางธรณีวิทยาดั้งเดิมของพื้นที่ที่แหล่งน้ำนั้นไหลผ่านอีกด้วยโดยน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หินแกรนิตมักจะมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เพราะว่าหินแกรนิตประกอบด้วยสารที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน และน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินจะมีการนำไฟฟ้าที่สูงเพราะว่ามีสารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออน และน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำอาจส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของน้ำทิ้งนั้น

ความล้มเหลวของการจัดการระบบท่อน้ำทิ้งจะส่งผลให้การนำไฟฟ้ามีค่าสูงเนื่องจากในน้ำทิ้งมีคลอไรด์ ฟอสเฟต และไนเตรต ส่วนการปนเปื้อนของน้ำมันจะส่งผลให้การนำไฟฟ้ามีค่าที่ต่ำมาก (United States Environmental Protection Agency –EPA)

3.4 ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ของหอยแมลงภู่เทียม

การวิเคราะห์ปัจจัยของค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Cd และ Pb ของหอยแมลงภู่เทียม พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd จากการดูดซับของหอยแมลงภู่เทียม มีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากน้ำทะเล(r= 0.42) ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์ต่ำเพียงแค่ 42 % เท่านั้น ส่วนโลหะหนัก Pb ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลไม่ส่งผลต่อการดูดซับโลหะหนัก Pb ในหอยแมลงภู่เทียม แสดงให้เห็นว่านำหอยแมลงภู่เทียม มาใช้ในการดูดซับ Cd และ Pb มีความเหมาะสมสำหรับในฤดูแล้ง เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทะเลไม่ส่งผลต่อการดูดซับ Pb และส่งผลต่อการดูดซับ โลหะหนัก Cd ค่อนข้างต่ำ และจากงานวิจัยของหอยแมลงภู่เทียม ที่ผ่านมาทั่วโลกยังไม่เคยมีการทดสอบผลของค่าการนำไฟฟ้าที่มีต่อการดูดซับโลหะหนักของหอยแมลงภู่เทียม จึงถือว่าการศึกษาในครั้งนี้สร้างองค์ความรู้ใหม่ในการตรวจสอบ ดังนั้นหากมีการประยุกต์นำหอยแมลงภู่เทียม มาใช้ในการศึกษาควรต้องคำนึงถึงผลของค่าการนำไฟฟ้าที่มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ของชายฝั่ง และควรมีการศึกษาถึงผลของค่าการนำไฟฟ้าที่มีต่อการดูดซับโลหะหนัก ของหอยแมลงภู่เทียม เพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

โดยทั่วไปการตรวจสอบโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางน้ำมีการตรวจสอบตัวอย่างน้ำบ่อยครั้งเพื่อให้การประมาณค่าทางสถิติที่ถูกต้อง และต้นทุนในการวิเคราะห์ก็ถืออุปสรรคสำคัญในการตรวจสอบ ดังนั้นการศึกษามลพิษทางโลหะสามารถเปรียบเทียบข้อมูลเดียวกัน เพื่อใช้ทดแทนจึงได้มีการนำ เทคโนโลยี หอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) มาใช้ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อไม่นานมานี้มีการทดลองใช้ในหลายประเทศ และแสดงให้เห็นว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจสอบโลหะหนักในน้ำจืดและน้ำเค็มและยังสามารถให้การประมาณการเชิงระยะเวลาได้ดี และจากงานวิจัยของ Wu et al. (2007); Leung et al. (2008); Degger et al. (2011); Gonzalez-Rey (2011); Kibria et al. (2010b); Kibria et al. (2012); Claassens et al. (2016) สำหรับประเทศไทยเป็นครั้งแรกที่การศึกษานี้ใช้เทคโนโลยีหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) เพื่อประเมินโลหะหนักในการใช้น้ำที่เป็นประโยชน์ด้านการเพาะเลี้ยง รวมถึงคุณภาพน้ำ และ การนำหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) มาใช้ครั้งนี้ถือว่ามีราคาไม่แพงสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบโลหะทั้ง 2 ชนิด และพบว่าการดูดซับโลหะ Cd ของหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับความเข้มข้นของCd ในสภาพแวดล้อมทางทะเล จึงสามารถนำมาใช้ในการประมาณการเกี่ยวกับการตรวจสอบความเข้มข้นของ Cd ใน

สภาพแวดล้อมทางทะเลได้ เพราะมี Chelex-100 ทำหน้าที่เป็น Chelating groups ในการ biding กับ polyvalent metal ions (Herrin et al., 2001) การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า Chelex-100 มีความสามารถในการจับกับโลหะประจุบวกเช่น Ag , Al,Cd, Cu และ Pb (Chakrabarti et al., 1994; Herrin et al., 2001; Pesavento et al., 2003) ลำดับของการเลือกสำหรับประจุบวกในสารละลายในเตรทและคลอไรด์จะเรียงจากมากไปหาน้อย $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Cd^{2+}$ (Bio-Rad, 1994) แต่ทั้งนี้การทดลองในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามผลแสดงให้เห็นว่า Chelex- 100 มี binding ที่ดีต่อการดูดซึม Cd ได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า Celex-100 ใน หอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) สามารถที่ดูดซึมโลหะ Cd ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การดูดซึมและการปลดปล่อยของ semipermeable gel จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในแต่ละวัน จึงทำให้การตรวจสอบโลหะหนักในสภาพแวดล้อมมีความผันผวนไม่มาก และเลียนแบบการดูดซึมและปลดปล่อยโลหะหนักในหอยแมลงภู่ได้เป็นอย่างดี จากงานวิจัยของ Wu et al. (2007) แม้ว่าความเข้มข้นที่ได้รับสัมผัสในห้องปฏิบัติการจะชี้ให้เห็นว่าในหอยแมลงภู่ (*Perna Viridis*) มีความเข้มข้นสูงกว่าในหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) แต่ในการทดลองทางภาคสนามพบว่า หอยแมลงภู่เทียม มีความสามารถในการสะสมโลหะ(Cd, Cr และ Pb) ได้สูงกว่าในหอยแมลงภู่(*Perna Viridis*) จึงแสดงให้เห็นว่าหอยแมลงภู่เทียมและหอยแมลงภู่ (*Perna Viridis*) มีความสามารถในการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในภาคสนามได้แตกต่างกัน และความแตกต่างนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับความซับซ้อนที่เกิดจากธรรมชาติของโลหะในสภาพแวดล้อมทางทะเลและการดูดซึมของโลหะผ่านการกรองกินและการควบคุมของโลหะภายในร่างกายของหอยแมลงภู่ ดังนั้นจึงไม่แปลกที่การดูดซึมโลหะหนักระหว่างหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) และหอยแมลงภู่จะมีความแตกต่าง และไม่ถือเป็นข้อบกพร่อง แม้ว่าสิ่งมีชีวิตที่เป็น Bioindicator จะความใกล้เคียงกันทาง taxonomy แต่อาจเกิดการสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับโลหะหนักแต่ละชนิดที่แตกต่างกันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Phillips, 1993; Rainbow, 1990)

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าการปนเปื้อนของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเล บริเวณพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลาในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน และโลหะหนัก Cd ในน้ำทะเล ยังมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลจึงถือว่ายังคงมีความปลอดภัยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำทะเล แต่พบว่าการปนเปื้อนของโลหะหนัก Pb ในน้ำทะเลพบว่าบางตัวอย่าง บริเวณพื้นที่ชายฝั่งอ่างศิลามีค่าสูงถึง 10.79 $\mu g\ L^{-1}$ คือเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของไทย (8.5 $\mu g\ L^{-1}$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานระดับความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก Pb ที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ คือ 50 $\mu g\ L^{-1}$(International Aquatic Animal Health Code 2002) ถือว่าการปนเปื้อนของโลหะหนัก Pb ในน้ำทะเลยังคงมีความปลอดภัยต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และจากการศึกษาพบว่าหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) เพื่อใช้เป็นตัวแทนสิ่งมีชีวิตพบว่ามีความเหมาะสมในการดูดซับ Cd เท่านั้น การศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำทะเล พบว่าทั้ง ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเค็มที่มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง มีผลต่อการตรวจพบความเข้มข้นของ Cd และ Pb ในน้ำทะเล งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า หอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบโลหะหนัก Cd ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทยดีที่ระยะเวลา 30-40 วันถึงแม้จะเป็นในพื้นที่ที่ไม่พบสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหากแต่ ระยะเวลาที่เหมาะสมของการวางหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) ในน้ำทะเลคืออย่างน้อยที่ 30-40 วัน นอกจากนี้การนำหอยแมลงภู่เทียมมาใช้ในการตรวจสอบโลหะหนักในน้ำทะเลยังมีวิธีการและขั้นตอนที่ง่ายสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากมีขั้นตอนและวิธีการสกัดที่ไม่ยุ่งยากและใช้เวลาน้อยกว่าการสกัดในน้ำทะเลโดยตรง ทำให้ลดโอกาสเกิดการปนเปื้อนในตัวอย่างระหว่างการสกัด และยังสะท้อนให้เห็นค่าที่เป็นจริงในการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำได้

ข้อเสนอแนะ

1. การนำหอยแมลงภู่เทียม (Artificial Mussel) มาใช้ในภาคสนามของประเทศไทย สำหรับตรวจติดตามการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำทะเลยังคงต้องมีการศึกษาตามช่วงระยะเวลาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสะสมโลหะหนัก เช่น Cr Cu Zn หรือ Hg เป็นต้น
2. การตรวจติดตามโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี ยังคงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเฝ้าระวังค่าโลหะหนักในน้ำทะเลที่อาจเกินเกณฑ์มาตรฐานและตระหนักถึงความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและเพื่อการบริโภค

บรรณานุกรม

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2560). *รายงานปริมาณน้ำฝนในภาคตะวันออกของประเทศไทยปี พ.ศ. 2560*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิราภา อุณหเลขกะ, จารุวรรณ ลิ้มสัจจะสกุล, นฤมล จันทร์แก้ว, ศิริ วัดสว่าง, สมบูรณ์ โตประสิทธิ์, ปราโมทย์ วนิชาชีวะ และลัดดาวัลย์ โรจนพรรณทิพย์. (2554). การศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ดีบุกและปรอทที่ปนเปื้อนในหอยแครงและหอยแมลงภู่บริเวณอ่าวไทยตอนใน ปี 2552. *วารสารอาหารและยา*, *2553*, 39-46.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2555). *ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ชายฝั่ งทั่วประเทศ ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลธิศักดิ์ ชาวปากน้ำ และสิรินทิพย์ พละเจริญ. (2555). *โลหะหนักในแม่น้ำบางปะกง*. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง.

พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. (2549). *โลหะหนัก ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม*. เข้าถึงได้จาก http://www.chemtrack.org.

มนัส สถิรจินดา. (2542). *เหล็กกล้า (STEEL)* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

แม้น อมรสิทธิ์. (2554). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์

วิมลพร ไวยนิภี, จุฑามาศ รัตติกาลสุขะ และรังสรรค์ ปิ่นทอง. (2556). เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลสำหรับภูมิภาคอาเซียน. ใน *การประชุมวิชาการอนามัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 5 การเตรียมความพร้อมด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียน* (หน้า 12-129). กรุงเทพฯ: ศูนย์นิทรรศการและการประชุม ไบเทค บางนา.

วิรัช เรืองศรีตระกูล. (2549). *อะตอมมิกแอบซอบชันและอะตอมมิกอีมิสชันสเปกโทรเมตรี*. ขอนแก่น : ภาควิชาเภสัชเคมี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

แววตา ทองระอา, อาวุธ หมั่นหาผล และวันชัย วงษ์สุดาวรรณ. (2547) *การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศิริวรรณ ลาภทับทิมทอง. (2544). *การสะสมของโลหะหนักบางชนิดในหอยเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์

สิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุชาดา ถิ่นแถบ. (2543). *การปนเปื้อนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในหอยแมลงภู่บริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. (2545). *การปนเปื้อนโลหะหนักบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). *การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำและแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง: ลุ่มน้ำบางปะกง*. ฉะเชิงเทรา : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานพาณิชย์จังหวัดชลบุรี. (2553). *ข้อมูลจังหวัดชลบุรีของ ปี 2553*. ชลบุรี: กระทรวงพาณิชย์.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 จังหวัดชลบุรี.(2558). *รายงานสถานการณ์โลหะหนักในน้ำผิวดินบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย*. ชลบุรี.

สมภพ รุ่งสุภา, สมบัติ อินทร์คง, จินตนา สและน้อย และกนกพร โสธะรักษ์. (2543). *ผลของสารละลายคู่ผสมโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ที่มีต่อลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน*. คู่มือธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลิตภัณฑ์สำหรับสัตว์น้ำ และอุตสาหกรรมอาหารทะเลส่งออก. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาโรจน์ เริ่มคำริห์, สาวิตรี แกเรียส และเกริก วงศ์สอนธรรม. (2550). การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน. ใน *การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 47 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม* (หน้า 56-72). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณา ภาณุตระกูล และไพฑูรย์ มกกงไผ่. (2543). *การสะสมโลหะหนักบางชนิดในตะกอนดินจากปากแม่น้ำบางปะกง*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ชลบุรี : สาขาวิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุวรรณี แสงเพ็ชรศิริพันธ์. (2546). *การประเมินโลหะหนักรูปที่ละลายและแขวนลอยในน้ำทะเล บริเวณอ่าวพ จังหวัดระยอง*. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อานอบ คันฑะชา. (2542). *การปนเปื้อนของตะกั่วและโครเมียมในน้ำทิ้งจากการย้อมสีกระจูด*

บริเวณทะเลน้อย.รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สงขลา: สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยทักษิณ.

อภิรดี เมืองเดช. (2545). ปริมาณโลหะหนักในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. ใน *การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม* (หน้า 39-61). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004). *Toxic Substances Lead*. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp.

Alloway, B.J. (1990). *Heavy Metals in Soils*. New York: John Wiley & Sons.

Brown, V.M., Gardiner, J., & Yates, J. (1984). Proposed Environmental Quality Standards For List II Substances in Water. Inorganic Lead. *Water Research Centre Technical Report Bulletin*, *32*, 391–396.

Casas, S., & Bacher, C. (2006). Modelling trace metal (Hg and Pb) bioaccumulation in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis*, applied to environmental monitoring. *Journal of Sea Research*, *56*, 168–181.

Censi, P., Spoto, S.E., Saiano, F., Sprovieri, M., Mazzola, S., Nardone, G., Di., Geronimo, S.I., Punturo, R., & Ottonello, D. (2006). Heavy metals in coastal water system. A case study from the north western Gulf of Thailand. *Chemosphere*, (64), 1167 – 1176.

Chakrabarty, A.M., Parsek, M.R., & McFall, S.M. (1995). Microbial degradation of toxic, environmental pollutants: Ecological and evolutionary considerations. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *1995*(3), 175-188.

Cheevaporn, V., & Menasvata, P. (2003). Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, *47*, 43-51.

Claassens, L., Dahms, S., Vuren, J.H.J., & Greenfield, R. (2016). Artificial mussels as indicators of metal pollution in freshwater systems: A field evaluation in the Koekemoer Spruit, South Africa. *Ecological Indicators*, *60*, 940-946.

Degger, N., Wepener, V., Richardson, B.J., & Wu, R.S.S. (2011). Application of artificial mussels (Ams) under South African marine conditions: A validation study. *Marine Pollution Bulletin*, *63*, 108 -118.

Elder, JF. (1988). *Metal Biogeochemistry in surface water systems: a review of* *principles and Concept*. U.S.A. : partment of the Interior U.S. Geological Survey, Washington, D.C.

EPA (Environmental Protection Agency). (2002). *Risk Assessment: Technical background information. RBG table*. Retrieved from http://www.epa.gov./reg3hwmd/risk (online update: 23.03.2009).

Federico, Páez-Osuna, & Lucía, Tron-Mayen. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the northwest coast of Mexico. *Environment International*, 443-450.

Fergusson, J.E. (1990). *The Heavy Elements: Chemistry Environmental Impact and Health Effects*. England : Pergamon Press.

Goldberg, E.D. (1975). The mussel watch – a first step in global marine monitoring. *Marine Pollution Bulletin, 6*, 111.

Goldberg, E.D., Bowen, V.T., Farrington, J.W., Robertson, E., Schneider, E., & Gamble, E. (1978). Mussel watch. *Environmental Conservation*, *5,* 101–125.

Goyer, R.A. (1996). Toxic effects of metals. *The Basic Science of Poisons* (5th ed.). U.S.A : McGraw-Hill Health Professions Division.

Jack, E. Fergusson. (1991). The Heavy Elements Chemistry, environmental impact and health Effects. *Environmental Conservation*, 78–102.

Kibria, G., Lau, T.C., & Wu, R. (2012). Innovative 'Artificial Mussels' technology for assessing spatial and temporal distribution of metals in Goulburn–Murray catchments waterways, Victoria, Australia: Effects of climate variability (dry vs. wet years). *Environment International,* 38-45.

Leung, K.M.Y., Morgan, I.J., Wu, R.S.S., Lau, T.C., Svavarsson, J., & Furness, R.W. (2001). Growth Rate as a factor confounding the use of the *dogwhelk Nucella lapillus* as biomonitor of heavy metal contamination. *Marine Ecology Progress Series*, *221*, 145–159.

Ling, Zhang, Zhen, Shi, Zhijian, Jiang, Jingping, Zhang, Fei, Wang, & Xiaoping, Huang. (2015). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in marine organisms in east and west Guangdong coastal regions, South China. *Marine Pollution Bulletin*, *7*, 930-937.

Luoma, S.N., & Rainbow, P.S. (2005). Why is metal bioaccumulation so variable? Biodynamic as a unifying concept. *Environmental Science and Technology*, *39*, 1921–1931.

Malhotra, KC., Chugh, SN., Chugh, K., & Ram, S. (1991). Electrocardiographic abnormalities in aluminium phosphide poisoning with special reference to its incidence, pathogenesis, mortality and histopathology. *US National Library of Medicine National Institudes of Health, 89*(2), 5-32.

Matozzo, V., Ballarin, L., Pampanin, D. M., & Marin, M. G. (2001). Effects of Copper and Cadmium Exposure on Functional Responses of Hemocytes in the Clam, *Tapes philippinarum*. *Environmental Contamination and Toxicology*, *41*, 163-170.

Mubiana, VK., Vercauteren, K., & Blust, R. (2006). The influence of body size, condition index and tidal exposure on the variability in metal bioaccumulation in *Mytilus edulis*. *US National Library of Medicine National Institudes of Health, 144*(1), 9-29.

Paez-Osuna, F., Frias-Espericueta, M.G., & Osuna-Lopez, J.I. (1995). Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens. Marine Environmental Research*, *40*,19–31.

Phillips, D.J.H., & Rainbow, P.S. (1993). *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants.* Boca Raton, FL. : CRC Press

Radhouan, El. Zrelli, Pierre, Courjault-Radé, Lotfi, Rabaoui, Sylvie, Castet, Sylvain, Michel, & Nejla, Bejaoui. (2015). Heavy metal contamination and ecological risk assessment in the surface sediments of the coastal area surrounding the industrial complex of Gabes city, Gulf of Gabes, SE Tunisia. *Marine Pollution Bulletin*, 922-929.

Rainbow, P.S. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, *31*, 183–192.

Rattanawat, Chaiyaraa, Montri, Ngoendee, & Maleeya, Kruatrachuec. (2013). Accumulation of Cd, Cu, Pb andZn in water,sediments, and mangrove the crabs(*Sesarma mederi*)in upper Gulf of Thailand. *Science Asia*, *39,* 39-52.

Salmon, S., Forstner, U., & Wittrnann, G.T.W. (1984). *Metal pollution the aquatic environment.* U.S.A: Springer-Verlag.

Sauvé, S., Hendawi, M ., Brousseau, P., & Fournier, M. (2002). Phagocytic Response of Terrestrial and Aquatic Invertebrates Following *in Vitro* Exposure to Trace Elements. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *9*, 21-29.

Serra, R., Marcantonio, A.C., Carpené, E., & Isani, G. (1995). Cadmium accumulation and Cd- binding proteins in the bivalve Scapharca inaequivalvis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology, 165*-174.

Stellio, Casasa, & Cédric, Bacherb. (2006). Modelling trace metal (Hg and Pb) bioaccumulation in the Mediterranean mussel, Mytilus galloprovincialis, applied to environmental monitoring. *Journal of Sea Research*, 168-181.

Shou, Zhao, Chenghong, Feng, Weimin, Quan, Xiaofeng, Chen, Junfeng, Niu, & Zhenyao, Shen. (2012). Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 1163-1171.

Valentine, K., & Mubiana, R.B. (2007) Effects of Temperature on Scope for Growth and Accumulation of Cd, Co, Cu and Pb by the Marine Bivalve. *Marine Environmental Research*, *63*(3), 219–235.

Wu, R.S.S., & Lau, T.C. (1996). Polymer-ligands: a novel chemical device for monitoring heavy metals in the aquatic environment. *Marine Pollution*, *136,* 122-130.

Wu, R.S.S., Lau, T.C., Ko, P.H., Fung, W.K.M., & Leung, K.M.Y. (2007). An 'artificial mussel' for monitoring heavy metals in aquatic environments. *Environmental Pollution*, *145,* 104–110.

World Health Organization (WHO).(2000). *WHO Food Additive Series 46: Cadmium and Lead.* Geneva: World Health Organization

World Organization for Animal Health. (2009). *Aquatic Animal Health Code* (12th ed .). U.S.A : World Organization for Animal Health 2010.

Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G., & Omar, H. (2003). Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green-lipped mussel *Perna viridis* under laboratory conditions. *Hydrobiologia*, *498*, 151–160.

ภาคผนวก

ข้อคิดเห็น[s9]: เอาข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์และศึกษา มาใส่ให้หมด รวทั้งตารางวิเคราะห์ สถิติ

ภาคผนวก ก

ภาพการนำหอยแมลงภู่เทียม ไปใช้ในภาคสนาม

ในชายฝั่งอ่างศิลา จ.ชลบุรี

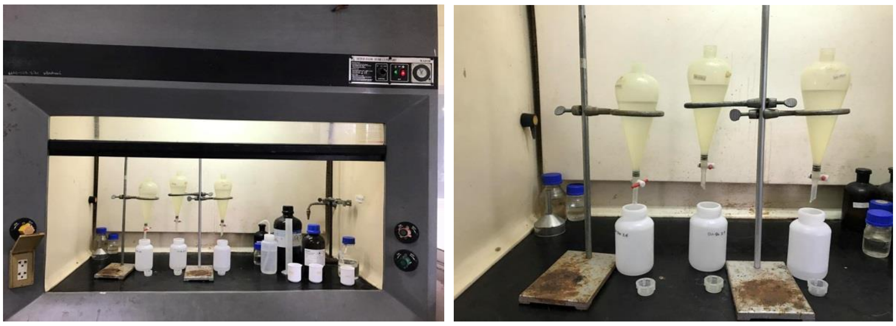
ภาพภาคผนวก ก-1 วัสดุหอยแมลงภู่เทียม ในตระแกรงพลาสติก(ภาพซ้าย) และการนำใส่กระชัง(ภาพขวา)ก่อนนำไปวางแขวน

ภาพภาคผนวก ก-2 วัสดุหอยแมลงภู่เทียม ในตระแกรงพลาสติก(ภาพซ้าย) และการนำใส่กระชัง(ภาพขวา)หลังจากนำไปวางแขวน

ภาคผนวก ข

ภาพการสกัดตัวอย่างน้ำทะเล

และการสกัด Chelex-resin ภายในวัสดุหอยแมลงภู่เทียม



ภาพภาคผนวก ข-1 การสกัดตัวอย่างน้ำทะเลที่ผ่านการกรองโดยสกัดตามวิธีของ sukasem 1989

ภาพภาคผนวก ข-2 ภาพการนำ Chelex-100 resin ภายในวัสดุ AM นำมากรอง (ภาพซ้าย) หลังจากนั้นนำมาย่อยด้วย 6 M nitric acid. (ภาพกลาง) และนำส่วนกรดไปวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นโลหะหนัก (ภาพขวา)

ภาคผนวก ค

ผลความเข้มข้นของโลหะหนัก Cd และ Pb ในน้ำทะเลและหอยแมลงภู่เทียม
ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปี พ.ศ.2560

ตารางภาคผนวก ค-1 ผลความเข้มข้นโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลและวัสดุหอยแมลงภู่เทียมช่วงฤดูแล้ง

ลำดับ	ระยะเวลา	น้ำทะเล		AM	
		Cd(μg/L)	Pb(μg/L)	Cd(μg/g-chelex)	Pb(μg/g-chelex)
1	Day 0	1.286	7.104	ND	ND
2	Day 0	0.628	4.353	ND	ND
3	Day 0	0.935	4.204	ND	ND
4	Day 0	0.490	5.730	ND	ND
5	Day 0	1.191	8.720	ND	ND
6	Day 14	0.757	8.329	0.024	0.003
7	Day 14	0.766	3.845	ND	ND
8	Day 14	0.594	4.279	0.023	ND
9	Day 14	0.492	4.156	ND	ND
10	Day 14	0.548	3.489	0.037	0.005
11	Day 28	1.174	9.235	0.029	0.004
12	Day 28	1.067	6.031	0.031	ND
13	Day 28	0.894	6.183	ND	ND
14	Day 28	0.572	5.352	0.026	0.004
15	Day 28	0.634	4.589	0.033	0.004
16	Day 42	1.764	6.530	0.030	0.004
17	Day 42	1.432	8.495	0.039	ND
18	Day 42	0.705	3.979	0.054	0.007
19	Day 42	1.097	8.215	0.064	0.008
20	Day 42	1.287	11.420	0.111	0.014
21	Day 56	1.305	10.670	0.130	ND
22	Day 56	0.958	7.039	0.109	ND
23	Day 56	0.697	4.574	0.125	ND
24	Day 56	0.944	7.790	0.118	ND
25	Day 56	1.730	10.790	0.107	ND

ตารางภาคผนวก ค-2 ผลความเข้มข้นโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วในน้ำทะเลและวัสดุหอยแมลงภู่เทียมช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ระยะเวลา	น้ำทะเล		AM	
		Cd(μg/L)	Pb(μg/L)	Cd(μg/g-chelex)	Pb(μg/g-chelex)
1	Day 0	2.182	8.661	ND	ND
2	Day 0	2.352	9.655	ND	ND
3	Day 0	1.365	5.565	ND	ND
4	Day 0	1.432	5.499	ND	ND
5	Day 0	1.854	8.142	ND	ND
6	Day 14	0.440	2.784	ND	ND
7	Day 14	0.503	2.931	ND	ND
8	Day 14	0.438	3.188	ND	ND
9	Day 14	0.363	2.864	ND	ND
10	Day 14	0.455	3.017	ND	ND
11	Day 28	0.236	3.486	ND	ND
12	Day 28	0.211	2.0720	ND	ND
13	Day 28	0.326	2.847	ND	ND
14	Day 28	0.241	2.059	ND	ND
15	Day 28	0.040	2.409	ND	ND
16	Day 42	0.053	1.912	ND	ND
17	Day 42	0.132	2.245	0.117	1.370
18	Day 42	0.225	2.055	0.070	0.676
19	Day 42	0.223	2.679	0.109	0.838
20	Day 42	0.137	1.917	0.057	0.474
21	Day 56	0.335	5.731	ND	ND
22	Day 56	0.238	2.473	0.023	ND
23	Day 56	0.188	4.058	ND	ND
24	Day 56	0.098	2.699	ND	ND
25	Day 56	0.318	1.119	0.038	ND