เรียนรู้เพื่อรับใช้สังคม

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

EXPOSURE ASSESSMENT OF HEAVY METAL FROM SHRIMP CONSUMTION

เบญญาภา ธีระวิทยเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย)
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

EXPOSURE ASSESSMENT OF HEAVY METAL FROM SHRIMP CONSUMTION

เบญญาภา ธีระวิทยเลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ตรวจสอบและอนุมัติให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย)
เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2560

.....

อาจารย์ ดร.ธวัช เพชรไทย
ประธานกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา วิเศษมณี ลี
อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

อาจารย์ ดร.ธีรวิทย์ ปูผ้า
กรรมการ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา วิเศษมณี ลี
กรรมการ

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา วิเศษมณี ลี
ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(การจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย)

.....

รองศาสตราจารย์อิสยา จันทร์วิทยานุชิต
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวลักษณ์ ลักษมีจรัลกุล
คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

เบญญาภา ธีระวิทยเลิศ 576030
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย)
คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: วรางคณา วิเศษมณี ลี, Ph.D.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง รวมถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการปนเปื้อนโลหะดังกล่าวในสิ่งแวดล้อมและกุ้ง และประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักดังกล่าวที่ปนเปื้อนในกุ้งเพื่อประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง โดยการเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง ในบ่อเลี้ยงกุ้งนำมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer พบว่า การปนเปื้อนปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14360, 0.33113, 0.02483 และ 0.01780 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การปนเปื้อนในตะกอนดิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11175, 11.62894, <0.000025 และ 1.01667 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การปนเปื้อนในตัวกุ้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05804, <0.001, 0.00009 และ 0.00170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการปนเปื้อนในหัวกุ้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08873, 0.19151, 0.00153 และ 0.01110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง พบว่าปรอท แคดเมียมและตะกั่ว ที่สะสมในตะกอนดินและน้ำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณการสะสมของโลหะดังกล่าวในกุ้ง การประเมินการรับสัมผัสจากการได้รับปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) พบว่ามีค่า Hazard quotient (HQ) อยู่ในช่วง 0.0001 – 1.7787

คำสำคัญ: ปรอท สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

EXPOSURE ASSESSMENT OF HEAVY METAL FROM SHRIMP CONSUMTION

BENYAPA THEEERAWITTAYALERT 576030
MASTER OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL AND SAFETY MANAGEMENT)
THESIS ADVISORY COMMITTEE: VARANGKANA VISESMANEE LE, Ph.D

ABSTRACT

This research was conducted to investigate heavy metal concentrations ; namely mercury (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd) and Lead (Pb) which contaminated in the water, sediment and shrimp including risk assessment of the shrimp consumption. The water, sediment and shrimp in the pool shrimp farming were collected and analyzed with heavy metal concentration with the atomic absorption spectrophotometer. The results were found that these average concentrations of mercury, cadmium and lead in the water were found to be 0.14360, 0.33113, 0.02483 and 0.01780 mg/l respectively; while the average concentrations of these heavy metals in sediment were found to be 0.11175, 11.62894, <0.000025 and 1.01667 mg/kg respectively. Heavy metal contaminations in shrimp had the average of 0.05804, <0.001, 0.00009 and 0.00170 mg/kg respectively and the head of shrimp were contaminated heavy metal in the average of 1.08873, 0.19151, 0.00153 and 0.01110 mg/kg respectively. The studying of relationship between mercury (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) in sediment. It was found that mercury, cadmium and lead accumulated in sediment and water were significantly significantly correlated with the amount of metal deposition in shrimp. In addition, the risk assessment from the mercury (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) found that the their hazard quotient (HQ) in the range of 0.0001 – 1.7787.

Keywords: Mercury, Arsenic, Cadmium, Lead, Exposure assessment

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจในความเมตตาของผู้มีพระคุณทุกท่านเพื่อเป็นเกียรติแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยขออนุญาตกล่าวนามไว้ในกิตติกรรมประกาศ ดังนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา วิเศษมณี ลี อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ แนวคิดและสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการอุทิศเวลาในการตรวจแก้ไขงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

การวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ดร.ธวัช เพชรไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธีรวิทย์ ปูผ้า คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์และชี้แนะข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการแก้ไข ปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน และส่งเสริมทางการศึกษา ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เบญญาภา ธีระวิทยเลิศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 คำนิยามศัพท์	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 สมมติฐานงานวิจัย	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ	4
2.2 ดินตะกอน	5
2.3 การปนเปื้อนโลหะหนักในดินและตะกอนดิน	5
2.4 อันตรายของโลหะหนักแต่ละประเภท	6
2.5 การปนเปื้อนโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร	7
2.6 มาตรฐานของโลหะหนัก	8
2.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	9
2.8 การเลี้ยงกุ้ง	13
2.9 สหสัมพันธ์	14
2.10งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง 20
3.2 การเก็บตัวอย่าง 20
3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการย่อย 21
3.4 วิธีการย่อยตัวอย่าง 21
3.5 การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง 22
3.6 การวิเคราะห์ความเสี่ยง 22
3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง 23

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ 25
4.2 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดิน 26
4.3 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวกุ้ง 27
4.4 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในหัวกุ้ง 28
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในน้ำ ตะกอนดินและกุ้ง 30
4.6 การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง 32
4.7 การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง 35

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย 37
5.2 อภิปรายผล 38
5.3 ข้อเสนอแนะ 39

บรรณานุกรม 40

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารรับรองคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย 45
ภาคผนวก ข หนังสือชี้แจงข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย 46
ภาคผนวก ค หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย 47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ง ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนัก ในน้ำ ตะกอนดินและกุ้ง 48

ภาคผนวก จ วิธีการคำนวณการประเมินการรับสัมผัสจากการบริโภคกุ้ง 51

ภาคผนวก ฉ ผลการแปรผลข้อมูลทางสถิติ 56

ภาคผนวก ช ภาพการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง 64

ประวัติผู้เขียน 66

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานโลหะหนัก	8
2	ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	10
3	ค่าอ้างอิงทางสุขภาพ Rfd ของปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่ว	12
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย	24
5	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในน้ำ	25
6	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในตะกอนดิน	26
7	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในตัวกุ้ง	27
8	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในหัวกุ้ง	28
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง	30
10	ความสัมพันธ์ระหว่างสารหนู ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง	30
11	ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมี่ยม ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง	31
12	ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง	31
13	ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง	33
14	ผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนในหัวกุ้ง	34
15	ผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนในตัวกุ้ง	34
16	ความเข้มข้นอ้างอิงของโลหะหนัก	35
17	ความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง	36

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1	มลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่สิ่งแวดล้อม	11
2	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง	20
3	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในน้ำ	26
4	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในตะกอนดิน	27
5	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในตัวกุ้ง	28
6	ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่วในหัวกุ้ง	29

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY 華僑崇聖大學

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันการขยายตัวภาคอุตสาหกรรมโดยรอบบริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งอาจทำให้มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนโลหะหนัก (อภิรดีเมืองเดช. 2545) ซึ่งเป็นสารมลพิษประเพศหนึ่งที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่ไม่สลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอนพื้นท้องน้ำ บางส่วนละลายอยู่ในน้ำรวมถึงการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ และก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ที่นำสัตว์น้ำเหล่านั้นมาบริโภค

การปนเปื้อนโลหะหนักเป็นสิ่งที่ พบได้ง่ายในโลกแห่งความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากวงการอุตสาหกรรมมักใช้โลหะหนักเป็นส่วนประกอบ และเกิดจากการใช้สารเคมีในการเร่งให้ได้ผลผลิตที่มีความต้องการในท้องตลาด รวมทั้งการปนเปื้อนจากกรรมวิธีการเลี้ยงสัตว์ที่นำมาเป็นอาหารจากการการใช้สารเคมีบางชนิด ซึ่งโลหะหนักที่มักใช้กันได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู เป็นต้น เมื่อโรงงานปล่อยน้ำเสียออกจากโรงงานลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ทะเล โลหะหนักเหล่านั้นก็จะไปสะสมอยู่ใน กุ้ง กั้ง ปู ปลา หอย และสัตว์น้ำอื่น ๆ เมื่อมนุษย์รับประทานสัตว์น้ำนั้นเข้าไปก็จะเป็นอันตรายได้ นอกจากนี้โลหะหนักยังปนเปื้อนมากับของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และแหล่งชุมชนอีกด้วยซึ่งจากการสำรวจของ International Marine time Organization พบว่าส่วนใหญ่ของประเทศที่กำลังพัฒนาและประเทศอุตสาหกรรมเกิดใหม่มีการปล่อยทิ้งของเสียอย่างผิดกฎหมายโดยปราศจากการควบคุมหรือการจัดการที่เหมาะสม ถึงแม้ว่าจะมีกฎหมายหรือข้อกำหนดที่ควบคุมปริมาณการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Ross. 1995)

โลหะหนักเป็นสารเคมีที่มีโอกาสปนเปื้อนในบ่อเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากในกระบวนการเลี้ยงกุ้งอาจมีการผันน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินในบริเวณใกล้เคียงในพื้นที่มาเป็นแหล่งน้ำในการเลี้ยงกุ้ง โดยแหล่งน้ำดังกล่าวอาจมีการปนเปื้อนจากแหล่งน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะหนักมาใช้ในกระบวนการผลิต รวมถึงน้ำเสียจากการทำเกษตรกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้โลหะหนักในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบในสารปราบศัตรูพืช และปุ๋ยเคมี หรืออาจมีการปนเปื้อนจากธรรมชาติเดิมในพื้นที่ เช่น ปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) โดยโลหะหนักดังกล่าวไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติอาจมีการสะสมอยู่ในน้ำ ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้ง และสะสมในตัวกุ้ง ซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีความเสี่ยง โดยเฉพาะความเสี่ยงต่อโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักอนุญาตให้ปนเปื้อนในอาหารได้ในปริมาณที่น้อยกว่าโลหะทั่วไปเมื่อเทียบกับน้ำหนัก 1

กิโลกรัม เท่ากัน ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะความเป็นพิษจากโลหะหนักเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะรุนแรงกว่าโลหะทั่วไปแบ่งความรุนแรงต่อกลไกระดับเซลล์ได้ 5 ลักษณะ คือ 1. ทำให้เซลล์ตาย 2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง 3. การทำงานของเซลล์เป็นตัวการทำให้เกิดเซลล์มะเร็ง 4. ทำให้เกิดความผิดปกติทางรหัสพันธุกรรม และ5. ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครโมโซมทางพันธุกรรม (Jutarut. 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในจังหวัดสมุทรปราการ เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการประกอบอาชีพการเลี้ยงกุ้ง และมีผลิตภัณฑ์จากกุ้งที่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย คือ กุ้งเหยียด ซึ่งเป็นสินค้า OTOP ที่สำคัญในพื้นที่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะศึกษาปริมาณความสัมพันธ์ของการปนเปื้อนของปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง ที่ปนเปื้อนในบ่อเลี้ยงกุ้ง รวมทั้งการประเมินการรับสัมผัสที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้งจากการปนเปื้อนโลหะทั้ง 4 ชนิด เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเฝ้าระวังอันตรายจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในบ่อเลี้ยงกุ้ง และอาจนำไปสู่การเฝ้าระวังความเสี่ยงที่อาจเกิดในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้งและหัวกุ้ง ในบ่อเลี้ยงกุ้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้งและหัวกุ้ง ในบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. เพื่อประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อศึกษาการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้งและหัวกุ้ง ในบ่อเลี้ยงกุ้ง และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท และสารหนู ในดินตะกอน น้ำ ตัวกุ้งและหัวกุ้ง รวมทั้งการประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง ซึ่งในการประเมินความเสี่ยงจะใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการสำรวจความเข้มข้นของสารปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิในกรณีศึกษาต่าง ๆ โดยจะทำการศึกษาในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือน สิงหาคม 2559

1.4 คำนิยามศัพท์

1. ความเสี่ยง หมายถึง การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคกุ้ง ที่อาจมีการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว
2. โลหะหนัก หมายถึง ปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการจัดการหรือลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดจากการบริโภคกุ้ง

1.6 สมมติฐานการวิจัย

1. ปริมาณปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้งและหัวกุ้ง ในบ่อเลี้ยงกุ้งมีความสัมพันธ์กัน

2. การบริโภคกุ้งที่มีปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์เกินกว่ามาตรฐานการบริโภคตัวกุ้ง และหัวกุ้งที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักเกินกว่าค่ามาตรฐาน ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ

การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำเกิดจากการเติบโต และขยายตัวด้านเศรษฐกิจเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้น โดยเฉพาะการรั่วไหลปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำ ซึ่งโดยปกติแล้วธรรมชาติจะสามารถบำบัดตัวเองได้ แต่โลหะหนักเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำในสภาพปกติจึงทำให้ธรรมชาติไม่สามารถย่อยสลายเพื่อรักษาสมดุลย์ได้ ส่งผลให้แหล่งน้ำบางแหล่งมีปริมาณโลหะหนักที่สูงกว่าปกติ น้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักนอกจากจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพยังส่งผลต่อการบริโภค อุตสาหกรรมการค้า เกษตรกรรม สัตว์ ที่อาศัยอยู่ และยังส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้นด้วย ยิ่งมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่กับปนเปื้อนโลหะหนักเข้าไปจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพรุนแรงยิ่งขึ้น โดยสาเหตุของมลพิษทางน้ำมี ดังนี้

1. ขยะมูลฝอยเกิดจากการทิ้งขยะมูลฝอยลงในแหล่งน้ำทำให้สกปรกเน่าเสียและปนเปื้อนสารเคมีจากขยะมูลฝอย

2. น้ำเสียจากอาคารหรือบ้านเรือนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดมลพิษโดยปกติแล้วน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนมาก มีทั้งสารประกอบอินทรีย์และแบคทีเรียซึ่งมีทั้งกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดและก่อให้เกิดโรค

3. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีหลายชนิด เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า จะมีสีสันต่าง ๆ ผสมกันจนเป็นสีที่ไม่น่ามอง น้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราจะมีกลิ่นเหม็นจากส่าเหล้า โรงงานแป้งมันสำปะหลังโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โรงงานผลิตกระดาษซึ่งมีการตรวจพบสารไดออกซินจากกระบวนการผลิตโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ จังหวัดขอนแก่น โรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง และโรงแรม ฯลฯ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดจะมีเกลือของสารอินทรีย์ สารเคมีที่เป็นสารพิษรวมถึงสารกัมมันตรังสี เช่น แบตเตอรี่

4. น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม เช่น การทำปศุสัตว์ น้ำเสียจะเกิดจากการชะล้างทำความสะอาด จะมีเศษสิ่งปฏิกูลของสัตว์เลี้ยง เกิดการหมักหมมของเชื้อโรคต่าง ๆ นอกจากนี้พื้นที่ทำการเพาะปลูกที่มีการใช้สารเคมี เช่น สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย ฯลฯ ก็อาจเกิดการปนเปื้อนลงสู่ดิน และแหล่งน้ำได้

5. เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีอยู่ในแร่ต่าง ๆ ในหินแร่ต่าง ๆ ในพื้นดิน โดยจะละลายออกมาปนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณใกล้เคียง

โลหะหนักในน้ำมีหลายรูปแบบทั้งในรูปสารละลาย (Dissolved) สารแขวนลอย (Suspended Solid) และสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด เนื่องจากความสามารถในการรวมตัวของสารละลายและสารแขวนลอยมีความแตกต่างกัน โดยสารแขวนลอยจะอยู่ในน้ำได้นานกว่าสารละลายก่อนถูกนำออกจากน้ำโดยกระบวนการต่าง ๆ และน้ำมีการเคลื่อนไหว การแลกเปลี่ยนตลอดเวลาทำให้ตะกอนท้องน้ำลอยตัวขึ้น จึงเกิดการดูดซับและการคายของโลหะหนักระหว่างน้ำกับตะกอนดิน (Duinker and Nolting. 1978)

2.2 ดินตะกอน (sediment)

ดินตะกอนเกิดจากการพังทลายและการย่อยสลายของอนุภาคอนินทรีย์ โดยองค์ประกอบของดินตะกอนประกอบด้วย 3 ส่วน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541) ดังนี้

1. น้ำ เป็นองค์ประกอบหนึ่งในดินถึง 50% โดยจะพบน้ำได้จากช่องดิน เม็ดดิน และระหว่างเม็ดดินซึ่งน้ำเหล่านั้นไม่ใช่น้ำที่มีความบริสุทธิ์จะมีธาตุต่าง ๆ ปนอยู่เรียกว่าสารละลายดิน

2. อนินทรียสาร (inorganic matter) เกิดจากเศษดินเศษเปลือกหอยอนุภาคแร่ที่มาจากการย่อยสลายไปตามกาลเวลาของหินและแร่ และจากการชะล้างของผิวดินในธรรมชาติ

3. อินทรียสาร (organic matter) เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังของพืชและสัตว์ที่ทับถมกัน มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวช่วยในการควบคุมและดูดซับสิ่งที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

2.3 การปนเปื้อนโลหะหนักในดินและตะกอนดิน

โลหะหนักพบทั่วไปในดินทุกชนิด แต่ความเข้มข้นต่างกันไปตามวัตถุต้นกำเนิด นอกจากนั้นโลหะหนักในดินอาจได้มาจากวัสดุหรือสารต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปในดิน โดยสาเหตุการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากวัตถุกำเนิดดิน

2. เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การทำเหมืองแร่ การเผาไหม้ถ่านหิน โรงงานที่ใช้สารเคมี อุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการจัดการที่ไม่เหมาะสมทำให้โลหะหนักปนเปื้อนในพื้นที่เกษตรกรรม

3. การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตร มีสิ่งปนเปื้อนที่เป็นโลหะหนัก

4. การใช้น้ำเสียระบบชลประทาน โดยโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งที่มีการใช้น้ำนั้นเพื่อการชลประทานทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารพิษอื่น ๆ ในดิน

5. การใช้กากตะกอนน้ำเสีย การใช้กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณมากจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะได้

6. การใช้ปุ๋ยคอก การมีโลหะเป็นวัตถุเจือปนในอาหารสัตว์ เช่น การเติมสารหนูลงในอาหารสุกร และการเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ ฯลฯ

ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ในดินมีความสำคัญในการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน โดยตะกอนดินพื้นท้องน้ำเกิดจากการเกิดร่วมกันกับอนุภาคตะกอนสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยกระบวนการดูดซึม (Adsorption) และการคาย (Desorption)

โลหะหนักมีความหนาแน่นสูง จึงทำให้เมื่อใดที่อนุภาคของโลหะหนักในแหล่งน้ำจับตัวกับอนุภาคของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์หรือสารแขวนลอยอื่นจึงทำให้ตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ โดยโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตะกอนดินสามารถละลายกลับไปในแหล่งน้ำได้ในดินที่มีความเป็นกรดสูงทำให้ตะกอนมีบทบาทสำคัญในการกักเก็บโลหะหนักในแหล่งน้ำ (Salomon et al. 1987)

2.4 อันตรายของโลหะหนักแต่ละประเภท

1. ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะหนักมีสีเทาเงิน ปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการใช้ตะกั่วเป็นวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก เช่น ใช้ทำอุปกรณ์อิเล็คโทรนิคและคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้เกิด การปลดปล่อยตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วในรูปของสารมลพิษออกสู่สภาวะแวดล้อม ส่งผลให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงส่งผลให้ร่างกายลดหรือยับยั้งเอ็นไซม์ยับยั้งการสร้าง heme นอกจากนี้ยังมีผลต่อตับ เส้นเลือดและหัวใจ ก่อให้เกิดมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย (พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. 2549)

2. แคดเมียม (Cd)

เป็นโลหะมีสีเงิน โดยทั่วไปจะพบการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในแหล่งทำเหมืองสังกะสีและตะกั่ว ในอุตสาหกรรม ยาสูบ บุหรี่ พลาสติและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ อีกด้วย แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และดินเมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการกิน จะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารแล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ เมื่อได้รับในปริมาณที่มากจะก่อให้เกิดมะเร็ง ไตทำงานผิดปกติ โดยโรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai disease)

3. สารหนู (As)

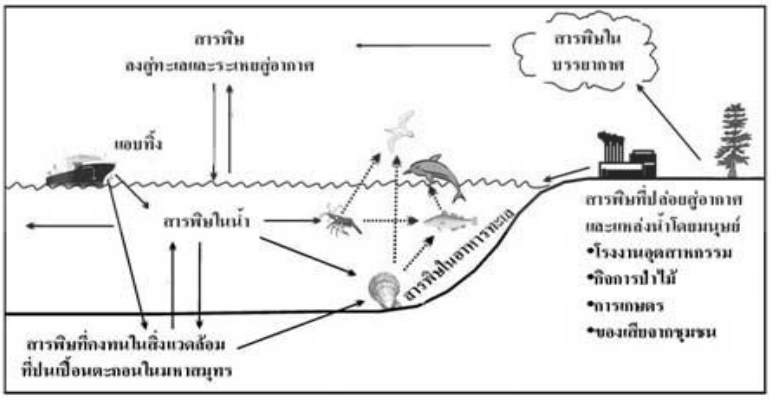
สารหนู หรือ อาร์ซีนิก (As) ในธรรมชาติเกิดเป็นออกไซด์ มักรวมอยู่กับแร่ธาตุอื่นกลายเป็นรูปสารประกอบ ทั้งในน้ำและดิน สารประกอบสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบอนินทรีย์ สารหนูส่วนใหญ่ใช้ในการทำเหมืองดีบุก อุตสาหกรรมด้านการเกษตร อุตสาหกรรมย้อมผ้า เมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านทางระบบการหายใจ ทำให้ระคายเคือง ต่อเนื้อเยื่อในจมูก ยิ่งได้รับเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้เยื่อบุกั้นจมูกทะลุ และอาจเกิดมะเร็งที่ปอดได้ หากได้รับผ่านทางผิวหนัง จะเกิดระคายเคือง ถ้าเกิดการอักเสบ บวมแดงเป็นตุ่มแข็ง

ใสพอง เป็นอาการเรื้อรังจนส่งผลให้เป็นมะเร็งที่ผิวหนัง ส่วนการได้รับผ่านทางตา ตาจะแดง อักเสบ หากได้เราผ่านทางนี้เป็นเวลานานจะสามารถทำลายระบบประสาท ระบบสมอง และทำลายตับทำให้ และในผู้ป่วยบางรายอาจมีโปรตีนขับออกมาทางปัสสาวะ

4. ปรอท (Hg)

ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ สามารถทำให้เป็นของแข็งได้ แต่เปราะที่อุณหภูมิปกติ ปรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ปรอทเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับโลหะบางชนิด เช่น เงิน-ดีบุกอะมาลกัมใช้เป็นวัสดุในการอุดฟัน โดยผสมปรอทกับโลหะ ซึ่งปรอทมีทั้งหมด 3 รูป คือ 1. ปรอทบริสุทธิ์ (Elemental mercury) พบได้ในปรอทวัดไข้ สวิตช์ไฟ ใช้ใส่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อช่วยในการเรืองแสง ใส่ในยาสมุนไพรพื้นบ้านบางชนิดอาจมีปรอทผสมอยู่ การระเบิดของภูเขาไฟก็จะมีปรอทออกมาด้วย 2. ปรอทอนินทรีย์ (Inorganic mercury) นำมาใช้ ดังนี้ mercuric chloride ($HgCl_2$) ในอดีตใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อ thimerosal ใช้ผสมเป็นยากันเสียในยาทา วัคซีน และยาหยอดตา รวมถึงอาจพบในสีที่ใช้ในการสักลายที่ผิวหนังด้วย และ 3. ปรอทอินทรีย์ (Organic mercury) ที่พบได้บ่อยคือ methylmercury จะพบปนเปื้อนในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำตามธรรมชาติ ในอดีต methylmercury & ethylmercury ใช้ป้องกันเมล็ดพืชจากรา แต่ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว ในอดีตสาร phenylmercury ใช้เป็นสารต้านเชื้อราผสมในสีทาบ้าน ปัจจุบันเลิกใช้แล้วเช่นกัน (นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. 2555) โดยปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง เช่นเดียวกับสารพิษชนิดอื่น ๆ คือ 1. ทางจมูก โดยการหายใจสูดเอาผง หรือไอปรอทเข้าสู่ปอด เนื่องจากปรอทสามารถระเหย กลายเป็นไอได้ง่าย 2. ทางปาก โดยการรับประทานเข้าไป มักเกิดจากอุบัติเหตุปะปนกับอาหารหรือน้ำดื่ม 3. ทางผิวหนัง โดยการดูดซึม ไอระเหยหรือฝุ่นละอองของปรอททำให้ผิวหนังระคายเคืองเกิดโรคผิวหนังได้ โดยพิษของปรอทจะทำอันตรายต่อร่างกายมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ และปัจจัยของทางเข้าของสารพิษ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2543)

2.5 การปนเปื้อนของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร



ที่มา: J.A. Percy, SeaPen Communications, Granville Ferry. N.S. www.bofep.org : online

คนเป็นผู้ผลิต ผู้ใช้ และเป็นผู้ทิ้ง เป็นการพ่นสารลงไปในสิ่งแวดล้อมที่เป็นอากาศ ดิน และน้ำ เมื่อแมลง ปลา นก สัตว์และพืชได้รับสารพิษเหล่านั้นเข้าไปก็ตาย อาจถูกชะล้างตกลงในแม่น้ำ ปลากินแมลงที่ตาย นกกินปลาที่มีสารพิษ คนอาจกินอาหารจากพืชและสัตว์ สารพิษนั้นจะถูกพาไปโดยสิ่งมีชีวิต ปลาและสัตว์ สะสมพิษเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หลายเท่าตัว ในที่สุดผู้ที่บริโภคอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารก็จะได้รับสารพิษสะสมนั้นเข้าไป ถ้าได้รับสารพิษสะสมในปริมาณเข้มข้นมากพอและเกิดเป็นพิษขึ้นมา ก็จะทำให้เกิดอาการไม่สบาย ป่วย เป็นโรคอาจถึงแก่ชีวิตได้ เราเรียกกระบวนการเช่นนี้ว่า “ห่วงโซ่อาหาร” (food chain) (มลภาวะและสารพิษในสิ่งแวดล้อม. 2551)

2.6 มาตรฐานของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่า ขึ้นไป ซึ่งโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น แต่โลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) นอกจากนี้สารหนู (As) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid) แต่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย จึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มโลหะหนักที่มีความเป็นพิษด้วย โลหะหนักเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ โดยอาจมาจากการทำเหมืองแร่ โรงงานผลิตสารเคมี โรงงานผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน การทำแบตเตอรี่ การใช้ปุ๋ยและยากำจัดศัตรูพืชในการเกษตรกรรม หากไม่มีการบริหารจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร หากปัญหาการปนเปื้อนในอาหารสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้บริโภคได้อย่างปลอดภัย แล้วจะส่งผลให้คนหรือสัตว์เลี้ยงที่บริโภคอาหารและน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนเป็นเวลานาน เกิดการสะสมและเกิดอันตรายต่อร่างกาย โดยโลหะหนักที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานอาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ ปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานโลหะหนัก

ชนิดโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน		
	ในตะกอนดิน (mg/kg)	ในน้ำ (mg/l)	ในอาหาร (mg/kg)
ปรอท (Hg)	7	0.002	0.5
สารหนู (As)	0.4	0.01	2
แคดเมียม (Cd)	2	0.05	2
ตะกั่ว(Pb)	52	0.05	1

ที่มา: 1. มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหลงน้ำผิวดิน

2. ค่ามาตรฐานตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินชายฝั่ง (พ.ศ. 2558)

3. ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 273 (พ.ศ. 2546) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2)

2.7 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ(Health Risk Assessment)

หลักของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ คือการประเมินการได้รับสัมผัสกับอันตรายอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งมากเกินไปจนทำให้เกิดความเจ็บป่วยหรืออันตรายต่อสุขภาพ การประเมินความเสี่ยงแบ่งเป็น 2 สาขา คือการประเมินความเสี่ยง ด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศ (Environmental or Ecological Risk Assessment) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Health Risk Assessment) โดยการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องการประเมินผลกระทบจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ที่ต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมาก ในขณะที่การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพมนุษย์ ซึ่งทำได้ง่ายกว่า (พรพิมล กองทิพย์. 2545) ซึ่งการประเมินความเสี่ยงเป็นกระบวนการศึกษาอย่างเป็นระบบ เพื่อพรรณนาและวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคาม กระบวนการ การกระทำหรือเหตุการณ์ใด ๆ ถือได้ว่าการประเมินความเสี่ยงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในทางการวิจัยสามารถตอบคำถามบางประเด็น เพราะโดยวัตถุประสงค์แล้วต้องตอบคำถามความเสี่ยงได้ว่า ความเสี่ยงด้านสุขภาพมีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคามอย่างไร และเสี่ยงมากน้อยขนาดใหน ดังนั้น การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นความน่าจะเป็นที่จะเกิดอันตรายต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส อันตรายในสถานการณ์ที่เป็นจริง ความเสี่ยงตัวแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความรุนแรงของอันตรายต่อสุขภาพและระดับการรับสัมผัสต่ออันตราย ดังสมการ

Health risk	=	Hazard × Exposure
ความเสี่ยงต่อสุขภาพ		อันตราย × การรับสัมผัส

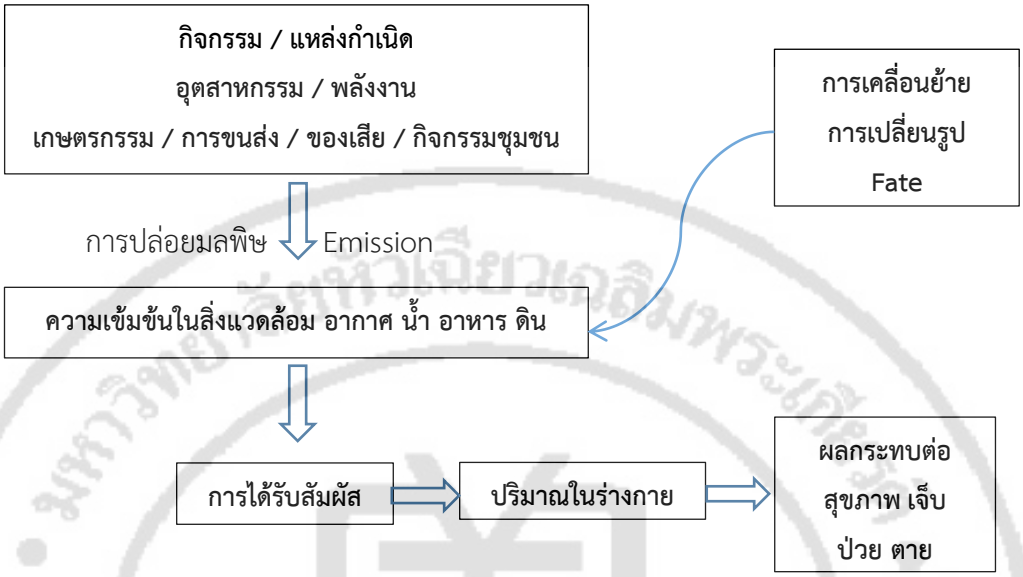
ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (เพ็ญศรี วัจฉละญาณ. 2554) อธิบายได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง	คำอธิบาย
1. การบ่งชี้อันตราย	เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาคำตอบของการคุกคามอยู่นั้นมีอยู่จริงหรือไม่
2. การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดที่เป็นประชากรและผลกระทบทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการได้รับ
3. การประเมินการสัมผัส	เป็นวิธีการประมาณหรือการวัดขนาดของสิ่งที่บุคคล ประชากร ระบบนิเวศได้รับ
4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง	เป็นการอธิบาย พรรณนาถึงลักษณะธรรมชาติ ความเสี่ยง โดยบอกถึงขนาดและความไม่แน่นอนและคุกคามนั้นมีโอกาสก่อให้เกิดผลกระทบต่อมากน้อยเพียงใด

แนวคิดมลพิษกับผลกระทบต่อสุขภาพกลไกการปล่อย release (mechanism) สารมลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ สิ่งแวดล้อมโดยความเข้มข้นที่ปล่อยออกมามีหลายรูปแบบ เช่น การเคลื่อนย้าย การเปลี่ยนรูปร่าง ทำให้ได้รับการสัมผัสในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการเจ็บป่วย หรือตายได้ในที่สุด โดยขั้นตอนการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (เพ็ญศรี วัจฉละญาณ. 2554) และ (Adapted from Briggs et al. 1996) ดังแผนภูมิที่ 1

แผนภูมิที่ 1 มลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่สิ่งแวดล้อม



การประเมินความเสี่ยงในการได้รับโลหะหนักในปริมาณน้อยเป็นเวลานาน ใช้ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตราย หรือ Hazard Quotient (HQ) ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการ 2-1 และ 2-2 (พงษ์เทพ วิวรรธนะเดช. 2547; Kofi. 2002)

$$\text{Average Heavy metal daily intake via shrimp (mg/kg/day)} = \frac{(CF)(IR)}{(BW)} \quad (2\text{-}1)$$

โดยที่

CF (Contaminant concentration of heavy metal in shrimp) คือ ค่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก หรือ ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียกโดยใช้ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสัตว์น้ำแต่ละชนิด

IR (Ingestion rate) คือ ค่าปริมาณอาหารทะเลที่รับประทานในแต่ละมื้อ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/มื้อ ซึ่ง FAO (2005) รายงานปริมาณการบริโภคเนื้อปลาหรืออาหารทะเลของคนไทยไว้เท่ากับ 85 กรัม/คน/วัน หรือ 0.028 กิโลกรัม/มื้อ

BW (Body weight) คือ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทย มีหน่วยเป็น กิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย เพศชาย เท่ากับ 68.83 กิโลกรัม เพศหญิง เท่ากับ 57.40 กิโลกรัม และเด็ก เท่ากับ 30 กิโลกรัม (The International Obesity Task Force. 2000)

หากค่า HQ (Hazard Quotient) มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณที่มีอยู่นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพหากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องมีการสื่อสารกับประชาชนให้รับทราบในเรื่องของความเสี่ยงในการบริโภค (Risk communication) และควรมีการจัดการความเสี่ยง (Risk management) ซึ่งในการหาค่า HQ ดังสมการ (2-2) สำหรับหาค่าความเสี่ยงของโลหะหนักในการก่อให้เกิดโรคที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non-cancer effect)

$$HQ = \frac{\text{Average heavy metal daily intake}}{\text{Rfd}} \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ Rfd หรือ Reference dose for chronic oral exposure คือ ค่าความปลอดภัยของสารไม่ก่อมะเร็ง (US-EPA. 2008) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอ้างอิงทางสุขภาพ Rfd ของ ปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่ว

ค่า	การแทนค่า ตัวกุ้งและหัวกุ้ง (mg/kg/day)	ความหมาย	แหล่งอ้างอิง
Rfd (Hg)	0.002	ปริมาณที่ได้รับปรอทเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพอนามัย	US-EPA. 2008
Rfd (As)	0.0003	ปริมาณที่ได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย	US-EPA. 2008
Rfd (Cd)	0.001	ปริมาณที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย	US-EPA. 2008
Rfd (Pb)	0.0035	ปริมาณที่ได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย	US-EPA. 2008

2.8 การเลี้ยงกุ้ง

ระบบการเลี้ยงกุ้ง ในประเทศไทยจำแนกได้เป็น 3 ระบบ คือ การเลี้ยงแบบธรรมชาติหรือดั้งเดิม (Extensive) การเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา (Semi-Intensive) และการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (Intensive) โดยมีลักษณะของแต่ละระบบ ดังนี้

1. ระบบดั้งเดิมหรือธรรมชาติ ถูกจำแนกตามความหนาแน่นของกุ้งที่ปล่อยเลี้ยง คือมีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นผลผลิตที่ได้ จะมีปริมาณน้อยกว่าระบบอื่น เหมาะสำหรับชุมชนชายฝั่งที่มีรายได้น้อย รายได้ของชุมชนชายฝั่งทำให้พวกเขามีความผูกพันเกี่ยวข้องใกล้ชิดกับระบบนิเวศป่าชายเลน ชุมชนจะรู้ว่าป่าชายเลนเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์น้ำเล็ก เช่น ลูกกุ้ง ลูกหอย ลูกปู ลูกปลา ฯลฯ ดังนั้นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบธรรมชาติจึงถูกพัฒนาขึ้นโดยเปลี่ยนจากการล่ามาเป็นการดักสะสมรวบรวมอาหารสำหรับชุมชน ระยะแรกของการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการเลี้ยงแบบธรรมชาติ ในบ่อดังกล่าวจะขุดดินเป็นร่องลึก ที่เรียกทั่วไปว่า “วังกุ้ง” ดินที่ขุดได้นำมาทำเป็นคันบ่อ อาจใช้กังหันลมเป็นระหัดวิดน้ำเข้าบ่อกุ้ง ส่วนลูกพันธุ์กุ้งนั้นจะปะปนเข้ามากับน้ำและกักไว้ในบ่อประมาณ 2-3 เดือน ถึงจะสามารถจับได้มักจะมีขนาดเล็ก ในช่วงระหว่างการเลี้ยงจะมีการเติมปุ๋ยลงไปในบ่อ แต่ไม่มีการให้อาหารใด ๆ ระบบการเลี้ยงแบบนี้ ผู้เลี้ยงบางรายก็ยังใช้อยู่ทุกวันนี้ ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำจะถูกเลือกเป็นทำเลในการสร้างบ่อ เพราะเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย มีระดับน้ำขึ้นน้ำลง อุดมสมบูรณ์ด้วยลูกพันธุ์กุ้งจากธรรมชาติ ทั้งได้สิทธิขาดในการถือครองที่ดินจากรัฐบาล ดังนั้นจึงเป็นพื้นที่ที่ถูกใช้ได้โดยง่ายและราคาไม่แพง ในการสร้างบ่อเลี้ยงแบบธรรมชาตินั้น รูปแบบการขึ้นลงของระดับช่วงที่มีน้ำท่วมถึงในแต่ละระยะมีความสำคัญมาก ทำเลนี้จึงไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งระบบนี้ที่ต้องอาศัยน้ำขึ้นลงตามธรรมชาติและการใช้เครื่องสูบน้ำในการสูบน้ำในช่วงน้ำท่วมสูง แต่ในระบบการเลี้ยงที่มีผลผลิตต่ำเช่นนี้จึงไม่คุ้ม

2. ระบบกึ่งพัฒนา ต่อเนื่องมาจากความต้องการบริโภคกุ้งเพิ่มมากขึ้น กุ้งจึงกลายเป็นสินค้าที่มีมูลค่า ผู้เลี้ยงกุ้งอยู่ในระดับการเลี้ยงแบบธรรมชาติเริ่มพัฒนาเทคนิคการเลี้ยงต่าง ๆ เพื่อเพิ่มจำนวนผลผลิต การพัฒนาได้นำไปสู่การเลี้ยงกุ้งเพียงอย่างเดียว พัฒนามาจากบ่อที่เลี้ยงด้วยระบบธรรมชาติที่มีอยู่เดิม พัฒนาไปสู่การเลี้ยงกุ้งในอัตราที่หนาแน่นขึ้น รวมถึงการทำความสะอาดและปรับระดับพื้นที่บ่อ และหรือการขุดคลอง เปลี่ยนจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่อาศัยการขึ้นลงของน้ำเป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยการสูบน้ำมีการควบคุมจำนวนกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยง มีการใช้ปุ๋ยกันมากขึ้น ทั้งมีการใช้สารเบื่อปลาที่ปะปนเข้ามา เพื่อให้เหลือเฉพาะกุ้งในบ่อ และมีการจัดหาอาหารให้ (Fast. 1992) Menasvete and Higuchi (1983) ได้ให้คำอธิบายถึงแผนพัฒนาการเลี้ยงกุ้งไทยแบบหนาแน่นจากระบบการเลี้ยง แบบธรรมชาติมาเป็นแบบกึ่งพัฒนา ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า มีการควบคุมที่ดีสำหรับสัตว์ชนิดอื่นที่ปะปนเข้ามา ใช้เวลาน้อยกว่าในการกำจัด ตะกอนพื้นบ่อ และมีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น

3. ระบบพัฒนา การเลี้ยงกุ้งของไทยระบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับวิธีของชาวไต้หวัน และด้วยเทคโนโลยี การเลี้ยงแบบใหม่ทำให้ผลผลิต กุ้งที่ได้เพิ่มสูงขึ้น เป็นที่ทราบกันแล้วว่าระบบการเลี้ยงกุ้ง แบบพัฒนานี้เป็นระบบที่ไม่ต้องการพื้นที่ป่าชายเลนอีกเลย เนื่องจากระบบนี้ต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่อวันที่รวดเร็ว และการระบายน้ำออกที่รวดเร็วด้วย ฟาร์มกุ้งแบบพัฒนานั้นไม่ใช้พันธุ์กุ้งที่เก็บเกี่ยวได้ธรรมชาติ หากแต่จำนวนลูกกุ้งที่ใช้ในปริมาณมากนั้นได้จากการผลิต ในโรงเพาะฟัก นอกจากนั้นระบบการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาที่สมบูรณ์แบบนั้นไม่เหมาะกับพื้นที่ป่าชายเลน เนื่องด้วยมีการเลี้ยงกุ้ง ที่หนาแน่นมาก มีการใช้อาหารเสริม มีการสะสมของสารอินทรีย์บนพื้นบ่อในปริมาณสูง จึงจำเป็นต้องมีการตากบ่อให้แห้งสนิท หลังจากการเลี้ยงกุ้งแต่ละครอป เพื่อสะดวกในการทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อ บ่อที่พบในพื้นที่ป่าชายเลนไม่เหมาะสม เพราะไม่สามารถตากบ่อให้แห้งสนิทได้ เนื่องจากอยู่ในพื้นที่ต่ำ อีกทั้งบริเวณดังกล่าวเต็มไปด้วยรากไม้ชายเลนที่ไม่สามารถกำจัดออกไปได้หมด เหล่านี้ล้วนเป็นที่มาของดินที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงมาก ทำให้ดินเป็นกรดซึ่งไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกุ้งที่ต้องการสภาพความเป็นด่างมากกว่า

2.9 สหสัมพันธ(Correlation)

เปนการศึกษาความสัมพันธระหวางตัวแปร 2 ตัวขึ้น ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ เปนคาที่วัดความสัมพันธ โดยวิธีการทางสถิติมีอยูหลายวิธี ซึ่งสถิติที่นำมาใช้ขึ้นอยูกับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัดในตัวแปรนั้น ๆ ในการวัดความสัมพันธจะตองมีการทดสอบนัยสำคัญกอน จึงจะสามารถสรุปได ว่าคูใดมีความสัมพันธกันจริงหรือไม และมีความสัมพันธ์กันมากนอยเพียงใด สำหรับการแปลผลจะวิเคราะห์จากความเกี่ยวพันหรือความสอดคลองในการแปรผันรวมกันหรือไปดวยกัน แตไมได หมายความวาตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งจะเป็นเหตุ และตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งจะเปนผลจะสามารถบอกได เพียงวามีความสัมพันธกันหรือไม และมีความสัมพันธ์กันกันมากนอยเพียงใด คาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ จะใช สัญญลักษณ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธของกลุมตัวอยาง และ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธที่ใช วัด ขนาดของความสัมพันธกันระหวางตัวแปร มี 2 ลักษณะคือ -1 £ r £ 1 และ 0 £ r £ 1

สถิติและการวิเคราะหขอมูลทางสุขภาพ การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ จะใช ตัวเลขของคาสัมประสิทธสหสัมพันธ หากคาสัมประสิทธสหสัมพันธมีคาเขาใกล -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธกันในระดับสูง แตหากมีคาเขาใกล 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธกันในระดับนอยหรือไมมีเลย สำหรับการพิจารณาคาสัมประสิทธสหสัมพันธโดยทั่วไปอาจใช เกณฑดังนี้ (Hinkle D. E. 1998. p.118)

คา r ระดับของความสัมพันธ

.90 - 1.00 มีความสัมพันธกันสูงมาก

.70 - .89 มีความสัมพันธกันในระดับสูง

.50 - .69 มีความสัมพันธกันในระดับปานกลาง

.30 - .49 มีความสัมพันธกันในระดับต่ำ

.00 - .29 มีความสัมพันธกันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +, - หน่าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธจะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ โดยที่หาก r มีเครื่องหมาย + หมายถึงการมีความสัมพันธกันไปในทิศทางเดียวกัน r มีเครื่องหมาย - หมายถึงการมีความสัมพันธกันไปในทิศทางตรงกันข้อยกเวนคาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธบางชนิดที่มีลักษณะ 0 £ r £ 1 ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธเทานั้น ไมสามารถบอกทิศทางของความสัมพันธได้คาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธจะใชได้อยางเหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเทานั้น ดังนั้นในการคำนวณหากพบวาคา r=0 การตีความหมายวาข้อมูลไมมีความสัมพันธกัน อาจไมถูกต้อง เพราะอาจเปนไปได้วาข้อมูลมีความสัมพันธกันในลักษณะอื่นที่ไมใชเชิงเสน ดังนั้น ในการสรุปจึงควรสรุปวาข้อมูล 2 ชุดไมมีความสัมพันธเชิงเสนจึงจะถูกต้องชัดเจนกวา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยสหสัมพันธ์ กำหนดให้

1. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธแบบเพียรสัน (Pearsonproduct moment correlation coefficient) เปนวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธ ระหวางตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุด โดยที่ตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุดนั้นจะต้องอยู่ในรูปของข้อมูลในมาตราอันตรภาคหรืออัตราสวน (Interval or Ratio scale) ข้อตกลงเบื้องตน คือ

1) ตัวแปรหรือข้อมูลทั้ง 2 ชุดอยู่ในมาตราอันตรภาค หรือมาตราอัตราส่วน

2) ข้อมูลทั้ง 2 ชุด มีการแจกแจงแบบปกติ และมีความสัมพันธเชิงเสนตรง

3) ข้อมูลในแตละชุดจะต้องมีความเปนอิสระต่อกัน

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธแบบสเปยรแมน (Spearman rank correlation coefficient หรือ Spearman's rho) เปนวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธระหวางตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุด โดยที่ตัวแปร หรือ ข้อมูล 2 ชุดนั้นจะต้องอยู่ในรูปของข้อมูลในมาตราจัดอันดับ (Ordinal scale) ข้อตกลงเบื้องต้นดังนี้

1) ตัวแปรหรือข้อมูลทั้ง 2 ชุดอยู่ในมาตราจัดอันดับ หรืออาจเปนอันตรภาค หรือมาตราอัตราสวน แลวนำมาเรียงอันดับก็ได้

2) ข้อมูลในแตละชุดจะต้องมีความเปนอิสระต่อกัน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราภา จารุวรรณ และคณะ (2552) สุ่มเก็บตัวอย่างหอยแครงและหอยแมลงภู่จากแหล่งเพาะเลี้ยงบริเวณชายฝั่งทะเลและบ่อเลี้ยงในจังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม และสมุทรสาคร ระหว่างเดือน พ.ค. - ส.ค. พ.ศ. 2552 เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ดีบุก และปรอทด้วย พบว่าหอยแครง จำนวน 4 ตัวอย่างจากบ่อเลี้ยง 4 แห่ง มีแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐานของสหภาพยุโรป Commission Regulation (EC) No.221/2002 ส่วนตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดผ่าน มาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน โดยมีตะกั่ว แคดเมียม ดีบุก และปรอท อยู่ในช่วง ≤ 0.12 – 0.75, ≤ 0.05 – 1.23, ≤ 0.25 และ ไม่พบ – 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงว่าอาหารทะเลจากอ่าวไทยตอนในมีความปลอดภัยจากพิษของโลหะหนัก ยกเว้นหอยแครงจากบ่อเลี้ยงที่ไม่ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการประมงที่ดี (Good Aquaculture Practice: GAP) ทำให้มีการสะสมของแคดเมียมในตะกอนดิน

นันทวรรณ สมหมาย และ ศิริพร ประดิษฐ์ (2556) การศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในดินตะกอนพื้นท้องน้ำบริเวณคลองอู่ตะเภาจังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างดินตะกอนพื้นท้องน้ำในฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่าความเข้มข้นของสารหนูในดินตะกอนในฤดูร้อนและฤดูฝนอยู่ในช่วง 3.87-17.96 และ 3.00-15.11 mg kg-1 dry weight ตามล้าดับเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานดินตะกอน พบว่าดินตะกอนคลองอู่ ตะเภาในหลายสถานีมีการปนเปื้อนของสารหนูมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ USEPA แต่ทุกสถานีมีค่าต่ำกว่าของค่า มาตรฐานของ MacDonald และ NOAA

อภิรดี เมืองเดช (2543) การวิเคราะห์โลหะตะกั่ว แคดเมี่ยม สังกะสี และปรอท ในหอยแครงบริเวณปากน้ำ บางปะกง ณ บริเวณตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ตำบลคลองด่าน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ตำบลคลองตำหรุ และบริเวณชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ตำบลบางทรายจนถึงตำบลคลองตำหรุ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี พบปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักทุกฤดูกาลดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 84.906 0.427 0.312 และ 0.222 µg/g น้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด ระหว่างในหอยแครงเลี้ยงกับหอยแครงธรรมชาติ ระหว่างฤดูหนาว ฤดูร้อน ฤดูฝน พบว่าปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด ในหอยแครงเลี้ยงและหอยแครงธรรมชาติมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลจะมีผลทำให้ปริมาณสะสมของโลหะหนักในหอยแครง แต่ละบริเวณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สรุปได้ว่าปริมาณโลหะหนักในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขแห่งประเทศไทย (2529) อนุญาตให้มีได้ในอาหาร จึงยังไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสภาวะแวดล้อมทางทะเลและสุขภาพของผู้บริโภค

ชลธิศักดิ์ ชาวปากน้ำ, จงกล บุญงาม และ สิรินทิพย์ พละเจริญ (2552) การศึกษาปริมาณของโลหะหนักในดินและปลาในแม่นน้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยกำหนด จุดสำรวจตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงส่วนท้ายของแม่น้ำบางปะกง โดยสุ่ม เก็บตัวอย่างดิน ปลานิล Oreochromis niloticus (Linnaeus. 1758) และปลากดอุก Nemapteryx nenga (Hamilton. 1822) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดิน และในเนื้อปลาทั้งสองชนิด ผลการศึกษาพบว่าดินในแม่น้ำบางปะกงมีเหล็กในปริมาณมากอยู่เดิมตามธรรมชาติของพื้นที่ที่มี น้ำทะเลขึ้นถึงอยู่เป็นประจำ และจากการศึกษาดังกล่าวพบว่าโลหะหนักทั้ง 9 ชนิดมีค่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานของโลหะหนักในดินธรรมชาติ และปริมาณโลหะหนักในดินไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในเนื้อปลานิลและปลากดอุก รวมทั้งหอย น้ำจืดและสัตว์หน้าดิน ในขณะที่เนื้อปลานิลและปลากดอุกมีซีลีเนียมสะสมมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของ ซีลีเนียมในเนื้อปลาธรรมชาติ

อัจจิมา มีพริ้ง (2545) การศึกษาความสามารถการดูดซึมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินของหญ้าแฝกต่าง กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกทั้ง 3 กลุ่มพันธุ์มีความสามารถในการดูดซึมปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินได้โดยมี แนวโน้มว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณโลหะหนักสะสมในรากมากที่สุด รองลงมา เป็นส่วนใบและลำต้น และความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักส่วนปริมาณ ตกค้างของโลหะหนัก ในดิน พบว่า สารหนูเหลือปริมาณตกค้าง 50.25 mg/kg ตะกั่ว 50.16 mg/kg และ แคดเมียมเหลือปริมาณน้อยมากไม่สามารถตรวจวัดได้

ชุติมา คูคู่สมุทร (2541) วิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียม โครเมียม ทองแดงเหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส ปรอท ซีลีเนียมและสังกะสีในสัตว์ทะเลสะพานปลาเขาสามมุกและสะพานปลาอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี และตลาดปากน้ำจังหวัดสมุทรปราการ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่ามีสัตว์ทะเล 9 ชนิดที่มีปริมาณโครเมียมเกินมาตรฐาน และพบว่าในปลามีการสะสมตะกั่วมากที่สุด

Rita Ellithorpe (2010) พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม เป็นผลสืบเนื่องมาจากภาคอุตสาหกรรม กลไกพื้นฐานอย่างนึงของโลหะหนัก คือการทำลายของกระบวนการออกซิเดชั่น โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชั่นของอนุมูลอิสระของผนังเซลล์

The American Petroleum Institute Petroleum HPV Testing Group (2011) รายงานข้อมูลโลหะหนักในน้ำมันดิบ พบว่าในน้ำมันดิบมีสารหนู 0.08 part-per-million (ppm) มีปรอท 0.01 parts-per-million (ppm) และมีตะกั่ว 0.001 parts-per-million (ppm) ในกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ อาศัยหลักการต้ม จะได้น้ำมันชนิดต่าง ๆ

Miren Begona el al (2009) ศึกษาระดับตะกั่วในเลือด ระดับแคดเมี่ยมและปรอทในปัสสาวะของประชากรเมือง Alonsotegi and a borough of Bilbao (Altamira, Rekalde) ที่อาศัยในโรงงานเผาขยะ (ระยะห่างจากโรงงานน้อยกว่า 2 กิโลเมตร)

จรินทิพย์ ทรงประกอบ (2541) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในการบริโภคปลาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนตกค้างบริเวณชุมชนบางกระเบื้อง สารเคมีที่ทำการศึกษาได้แก่กลุ่มอนุพันธ์ของคลอริเนเกต อีเทน (ดีดีที ดีดีดีและดีดีอี) กลุ่มไซ โคลไดอีน (เอนดริน อัลดริน ดีลดริน เฮมตาคลอร์และเฮปตาคลอร์อีพอกไซด์) และกลุ่มเฮกขาคลอโรไซโคลเฮกเซน (อัลฟา - เบตา - แกมมา - เดลตา - เอชซีเอช) ผลการศึกษา พบปริมาณสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออริกาในคลอรีนตกค้างในปลาเฉลี่ย เท่ากับ 0.0099 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอัตราความเสี่ยงอันตรายต่อการเกิดมะเร็งได้

ศิวพันธ์ ชูอินทร์ (2553) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในคลองอัมพวาบริเวณตลาดน้ำอัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม เก็บตัวอย่างในพารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่น กลิ่นของน้ำ ความเค็ม ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด – ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ไนโตรเจนในรูปไนเตรท ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ไขมัน น้ำมันและไขข้น ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต โลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง นิเกิล แมงกานีส แคดเมียมและตะกั่ว ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำในคลองอัมพวาส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ แต่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการที่เหมาะสมก่อนและเหมาะสำหรับการอนุรักสัตว์น้ำ การประมงและการว่ายน้ำ แต่ในกิจกรรมของตลาดน้ำส่งผลให้มีไขมัน น้ำมันและ ไขขึ้นสูงขึ้น

ณัฏฐณิชา ประทุมมินทร์ (2549) ได้ทำการศึกษาสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดินตะกอนดิน และน้ำ ของบริเวณที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่เกษตรกรรมของลุ่มน้ำเขตภูเขาในพื้นที่ บ้านบวกจั่น ตำบลสะเมิงใต้อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพสารไตรอะโซฟอสในแปลงเกษตรกรรมที่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำแบบต่าง ๆ ทุกแปลงตรวจพบสารพาราควอตในตัวอย่างดินก่อนและหลังฤดูกาลเพาะปลูก

พฤหัส จันทร์นวล (2550) ศึกษาพลวัตของโลหะหนัก กรณีศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก และคุณภาพดินตะกอน ในแม่น้ำแม่กลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง nd-0.04 0.02-0.38 0.02-0.27 และ 0.17-4.02 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในดิน ตะกอน มีค่าอยู่ระหว่าง nd-2.31 6.04-63.94 1.36-228.95 และ9.05-146.38 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ส่วนคุณภาพดินตะกอน พบปริมาณน้ำในดินตะกอน สารอินทรีย์รวมในดินตะกอน และ ปริมาณซัลไฟด์รวมในดินตะกอน มีค่าอยู่ระหว่าง 17.63 - 73.63% 7.69-126.22 และnd-0.803 mg/dry weight ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณโลหะหนัก บริเวณตอนกลางความยาวของลำน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

ซึ่งจัดเป็นพื้นที่ที่ต้องมีการจัดการอย่างจริงจังสำหรับกิจกรรมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์

อรอิงค์ เวชสิทธิ์ (2551) การศึกษาคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และปริมาณโลหะหนักในน้ำดินตะกอน และพรรณไม้น้ำ (ผักบุ้งและผักกระเฉด) บริเวณแม่น้ำท่าจีน จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีตลอดลำน้ำท่าจีน พบว่าในน้ำ ส่วนใหญ่ยังมีค่าไม่เกินมาตรฐาน มีเพียงบางสถานีที่มีปริมาณของตะกั่วและทองแดงเกินค่ามาตรฐาน ส่วนปริมาณสังกะสีจะเกินค่ามาตรฐานในฤดูน้ำหลาก ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักในผักบุ้งและผักกระเฉดส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด มีเพียงบางสถานีที่มีตะกั่วเกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักในน้ำ ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในผักบุ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่สะสมในน้ำ ดินตะกอน และพืชน้ำ มีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานทางคุณภาพสิ่งแวดล้อม และจากผลการศึกษานี้ปริมาณโลหะหนักในส่วนที่รับประทานได้ของผักบุ้งมีค่าไม่เกินระดับที่มนุษย์โภคได้ปลอดภัย คุณภาพน้ำทางเคมีกายภาพในระบบคลองจะมีคุณภาพดีในช่วงธันวาคมและกุมภาพันธ์ แต่คุณภาพน้ำในส่วนที่เป็นน้ำจืดของระบบคลองจัดอยู่ในคุณภาพน้ำ ประเภทที่ 4 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของไทย จัดให้เป็นน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ส่วนคุณภาพน้ำ จัดเป็นน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชายฝั่งตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลของไทย

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์ พิพัฒน์และคณะ (2555) ศึกษาแนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างยั่งยืน จังหวัดสมุทรสงคราม ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดิน พบว่าอุณหภูมิของน้ำ กรด-ด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดีสารไนโตรเจนในรูปไนเตรต และแอมโมเนีย และปริมาณฟีคับโคลีฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนปริมาณสารโลหะหนักได้แก่ สารตะกั่ว สารแคดเมียม สารสังกะสีและสารทองแดง มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าความขุ่นของน้ำมีค่าสูง แต่ไม่มีมาตรฐานกำหนด รวมถึงความเค็มของน้ำ และปริมาณไนโตรเจนในรูปไนไตรต์มีค่าต่ำ แต่ไม่มีมาตรฐานกำหนด

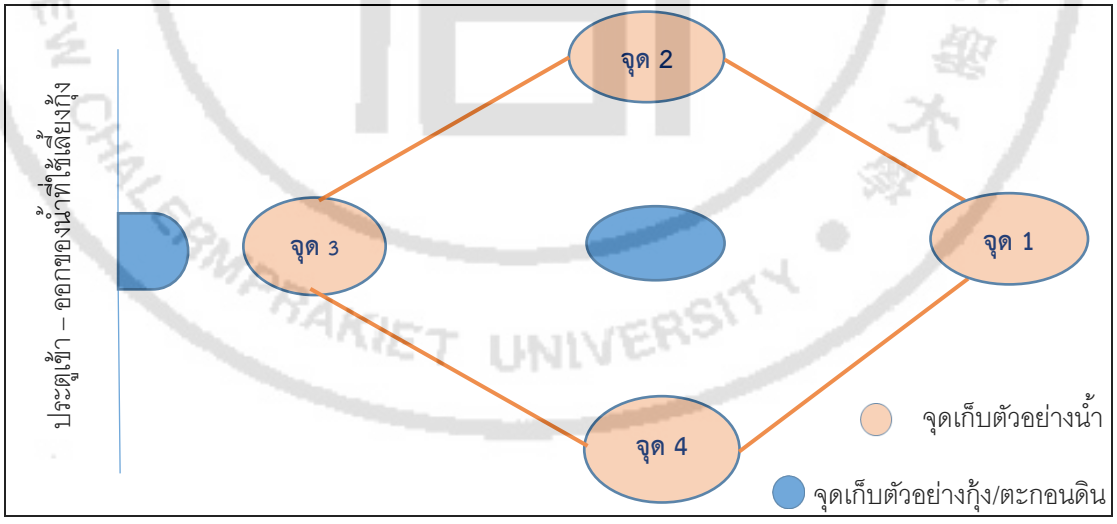
วรกาย อุส่าห์ (2541) ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำและในดินตะกอนบริเวณลุ่มน้ำเมย จังหวัดตาก พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำและในดินตะกอนนอกจากฤดูกาลยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก ได้แก่ ปริมาณน้ำ กิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์ ประสิทธิภาพในการระบายน้ำของลุ่มน้ำ ขนาดของลุ่มน้ำ และชนิดของเนื้อดิน และยังศึกษาพบอีกว่าปริมาณ organic carbon ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยถ้าปริมาณ organic carbon มีมากก็จะพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนัก เช่น โลหะทองแดง และสังกะสีจะสูงกว่าในดินที่มี organic carbon ต่ำกว่า

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและจุดเก็บตัวอย่าง

จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าขนาดบ่อกุ้งในแต่ละเจ้าของมีขนาดประมาณพื้นที่ 7 ไร่ เป็นลักษณะบ่อขุด บดอัดดิน ซึ่งการเก็บตัวอย่างจะประยุกต์จากคู่มือปฏิบัติการเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างดิน ส่วนน้ำเสียจากการทำเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าพื้นที่ไม่เกิน 10 ไร่ ให้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ โดยใช้วิธี Systematic Grid Sampling ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ในการเก็บตัวอย่างสำหรับศึกษาการกระจายตัวตามขอบเขตทางภูมิศาสตร์ (Campbell. 1996) ดังนั้น จึงทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อกุ้งให้มีการกระจายทั้งพื้นที่ ซึ่งการสุ่มตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างในตะกอนดิน น้ำ และกุ้ง โดยเก็บน้ำทั้งหมด 4 จุด ส่วนตะกอนดินและกุ้งจะเก็บบริเวณกึ่งกลางของบ่อ และส่งเข้าตรวจในห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ ปรอท สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2

แผนภูมิที่ 2 จุดเก็บตัวอย่าง น้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง



3.2 การเก็บตัวอย่าง

1. **การเก็บตัวอย่างกุ้ง** โดยที่กุ้งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนตัว

2. **การเก็บตัวอย่างน้ำ** ในบ่อเลี้ยงกุ้งปริมาณ 1 ลิตร จำนวน 4 จุด การเก็บตัวอย่างน้ำในการทดลองครั้งนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง และใช้เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำเฉพาะเวลาและเฉพาะจุดที่เก็บเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำประยุกต์จากคู่มือปฏิบัติการเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างดินส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2555)

3. การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน ทำการเก็บตะกอนดินโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างชนิด Grab Sampler แบบ Ekman Birge bottom samplers ตามบริเวณที่กำหนด บรรจุใส่ถุงพลาสติกก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการย่อย

1. การเตรียมกุ้ง นำกุ้งมาล้างให้สะอาด แยกส่วนหัว และส่วนตัวออกจากกัน พร้อมกับชั่งน้ำหนัก และบันทึกผลเป็นน้ำหนักเปียก นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน และนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบเป็นน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดบรรจุใส่ถุงพลาสติกเพื่อเตรียมย่อยตัวอย่างต่อไป

2. การเตรียมตะกอนดิน นำตะกอนดินไปตากแดด จนแห้งสนิทก่อนการนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปบดให้ละเอียด บรรจุใส่ถุงพลาสติกเพื่อเตรียมย่อยตัวอย่างต่อไป

3.4 วิธีการย่อยตัวอย่าง

สำหรับการย่อยตัวอย่างน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้ง และตัวกุ้ง จะต้องเตรียมเครื่องแก้วก่อนการย่อย โดยเครื่องแก้วทุกชิ้นจะทำการแช่ด้วยกรดไนตริก 20% ทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งหรืออบด้วยอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการปนเปื้อนตัวอย่างด้วยการทำ Blank และตัวอย่างทั้งหมดทำการย่อย 2 ซ้ำ รายละเอียดการย่อยตัวอย่างดังนี้ นำตัวอย่างกุ้งและตะกอนดินที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 วัน มาบดให้เป็นผงละเอียดแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1 g และตวงน้ำปริมาณ 50 ml ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) ปริมาตร 20 ml และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCL) ปริมาตร 10 ml ต้มย่อยด้วยความร้อนบนเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างจะมีลักษณะใส ไม่มีตะกอน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (Standard Method of the Examination of Water and Wastewater (APHA. 1975)) และนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์วัดปริมาณปรอท และสารหนู วิเคราะห์ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer รุ่น iCE 3000 ยี่ห้อ Thermo Scientific โดยเทคนิค Vapour ความสามารถของเครื่องวิเคราะห์ได้ต่ำคือต่ำสุดกว่า 1 ug/L และวัดปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว วิเคราะห์ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer รุ่น 640 ยี่ห้อ Varian โดยเทคนิคกราไฟต์เฟอร์เนสอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (graphite furnace atomic absorption) โดยความสามารถของเครื่องวิเคราะห์ได้ต่ำคือต่ำสุดกว่า 0.025 ug/L

3.5 การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากกุ้ง

การประเมินการรับสัมผัสจากการบริโภคกุ้งสามารถประเมินได้จากสมการที่ 3-1

$$\text{Average Heavy metal daily intake via shrimp (mg/kg/day)} = \frac{(CF)(IR)}{(BW)} \quad (3\text{-}1)$$

โดยที่

CF (Contaminant concentration of heavy metal in shrimp) คือ ค่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกุ้ง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักเปียก หรือ ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักเปียกโดยใช้ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกุ้ง

IR (Ingestion rate) คือ ค่าปริมาณอาหารทะเลที่รับประทานในแต่ละมื้อ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/มื้อ ซึ่ง FAO (2005) รายงานปริมาณการบริโภคเนื้อปลาหรืออาหารทะเลของ คนไทยไว้เท่ากับ 85 กรัม/คน/วัน หรือ 0.028 กิโลกรัม/มื้อ

BW (Body weight) คือ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทยมีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย เพศชาย เท่ากับ 68.83 กิโลกรัม เพศหญิง เท่ากับ 57.40 กิโลกรัม และเด็ก เท่ากับ 30 กิโลกรัม (The International Obesity Task Force. 2000)

3.6 การวิเคราะห์ความเสี่ยง

วิธีการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้งกรณีการได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มีการปนเปื้อนประยุกต์จากสมการการประเมินความเสี่ยงในหัวข้อที่ 2.7 บทที่ 2 โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในกุ้งและอัตราการบริโภคกุ้งเทียบกับนำหนักตัวโดยเฉลี่ยของผู้บริโภค ดังสมการที่ 1

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{CF \times IR}{BW}$$

โดยที่

CF คือ ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกุ้งหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม (mg./kg)

IR คือ ปริมาณที่รับประทานในแต่ละมื้อหน่วยเป็น กิโลกรัม./มื้อ (kg/meal)

BW คือ น้ำหนักตัวหน่วยเป็น กิโลกรัม (Kg) การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง โดยพิจารณาจากผลการประเมินกรณีแล้วร้านที่สุด ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อธิบายได้จากค่า HQ หรือ Hazard Quotient ซึ่งแสดงค่าสัดส่วนของตัวแปร (พงษ์เทพ วิวรรธนะ เดช. 2547) ดังสมการที่ 2

$$HQ = \frac{\text{Daily Intake}}{\text{Rfd}}$$

โดยที่

Daily Intake = ปริมาณโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกาย (mg/kg-day)

Rfd = ความเข้มข้นอ้างอิงของปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว (Reference Dose (mg/kg/day))

ถ้าค่า HQ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ หรือไม่มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ (no significant risk) แต่ถ้าค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณสารปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ที่ได้รับเกินค่ามาตรฐานหรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ มีความเสี่ยงสุขภาพจากการสัมผัสสารโลหะหนักทั้ง 4 ประเภทผ่านทางการกิน

3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว สามารถการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ โดย Correlation กำหนดให้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่มีระดับการวัดเป็น ordinal (ใช้สถิติ Spearman Rank correlation)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่มีระดับการวัดเป็น interval หรือ ratio (ใช้สถิติ pearson product moment correlation) โดย

P-Value คือ ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนดไว้ที่ระดับ95%)

R คือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

เกณฑ์พิจารณาระดับความสัมพันธ์ดังนี้ (Munro, B.H.. 2005:70 อ้างถึงใน วรรณวิภา ปสันธนาทร. 2557:108)

ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r)	0.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด
ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r)	0.70 – 0.89	มีความสัมพันธ์กันมาก
ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r)	0.50 – 0.69	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r)	0.30 – 0.49	มีความสัมพันธ์กันน้อย
ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r)	0.00 – 0.29	มีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย (Time Line)

กิจกรรม	ระยะเวลาการดำเนินงาน																							
	ปี 2558					ปี 2559												ปี 2560						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ทบทวนวรรณกรรมเพื่อเขียนโครงร่างการวิจัย	←	—	—	→																				
2. เสนอเค้าโครงร่างการวิจัยเพื่อขออนุมัติการดำเนินการ				←	→																			
3. ปรับปรุงโครงร่างวิจัยตามข้อเสนอแนะ						←	—	—	—	→														
4. สร้างเครื่องมือ ทดสอบและปรับปรุง								←	—	—	→													
5. ประสานงาน และเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง										←	—	—	→											
6. วิเคราะห์และสรุปรวบรวมข้อมูลการวิจัย													←	—	—	—	→							
7. นำเสนอเล่มการวิจัย																	←	—	→					
8. ปรับปรุงแก้ไขเล่มการวิจัยตามข้อเสนอแนะ																		←	—	—	—	→		
9. จัดทำเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์																					←	—	—	→

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้วิเคราะห์โลหะชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่วในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่วในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้งและหัวกุ้ง รวมถึงประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง ผลการศึกษา ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ

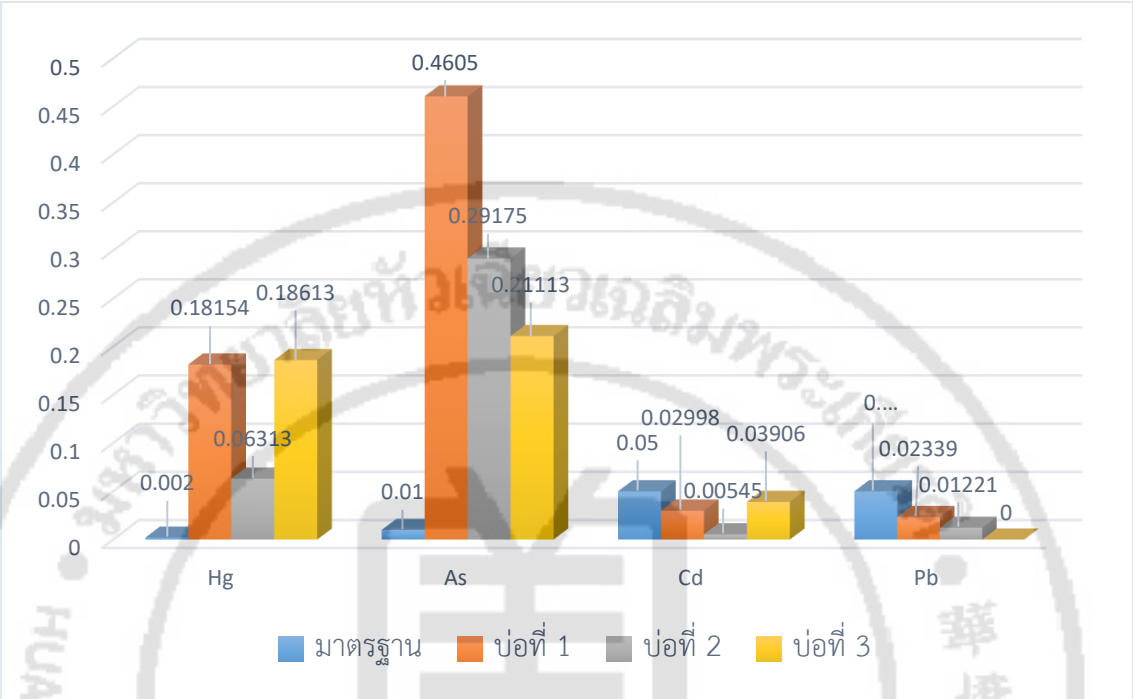
จากผลการศึกษาปริมาณปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ พบว่าปริมาณสารหนูมีมากที่สุด รองลงมาคือปรอท แคดเมี่ยม และตะกั่ว ตามลำดับ โดยปริมาณปรอทและสารหนูมีค่าเกินมาตรฐานกำหนด ส่วนแคดเมี่ยม และตะกั่ว ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5 (แผนภูมิที่ 3)

ตารางที่ 5 ปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ

กลุ่มตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบในน้ำ (mg/l)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อที่ 1	0.18154	0.16050	0.02998	0.02339
บ่อที่ 2	0.06313	0.29175	0.00545	0.01221
บ่อที่ 3	0.18613	0.21113	0.03906	<0.000025
ค่ามาตรฐาน	0.002	0.01	0.05	0.05

ที่มา: มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

แผนภูมิที่ 3 ปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ



4.2 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดิน

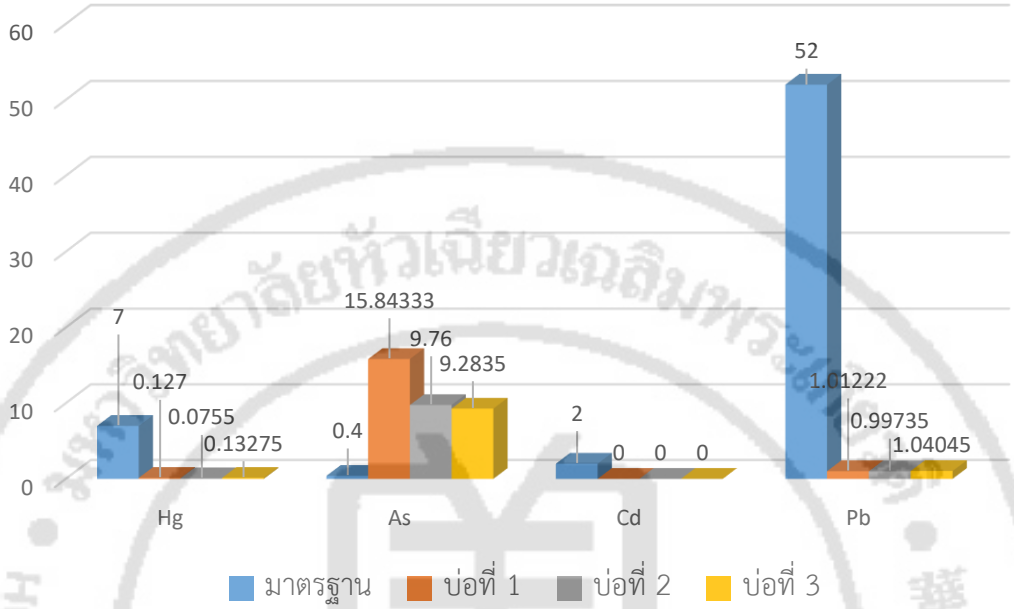
จากผลการศึกษาปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดิน พบว่ามีปริมาณสารหนูมากที่สุด รองลงมา คือ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ตามลำดับ โดยปริมาณสารหนูเกินค่ามาตรฐาน ส่วนตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6 (แผนภูมิที่ 4)

ตารางที่ 6 ปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตะกอนดิน

กลุ่มตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบในตะกอนดิน (mg/kg)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อที่ 1	0.12700	15.84333	<0.000025	1.01222
บ่อที่ 2	0.07550	9.76000	<0.000025	0.99735
บ่อที่ 3	0.13275	9.28350	<0.000025	1.04045
ค่ามาตรฐาน	7	0.4	2	52

ที่มา: ค่ามาตรฐานตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินชายฝั่ง (พ.ศ. 2558)

แผนภูมิที่ 4 ปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตะกอนดิน



4.3 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวกุ้ง

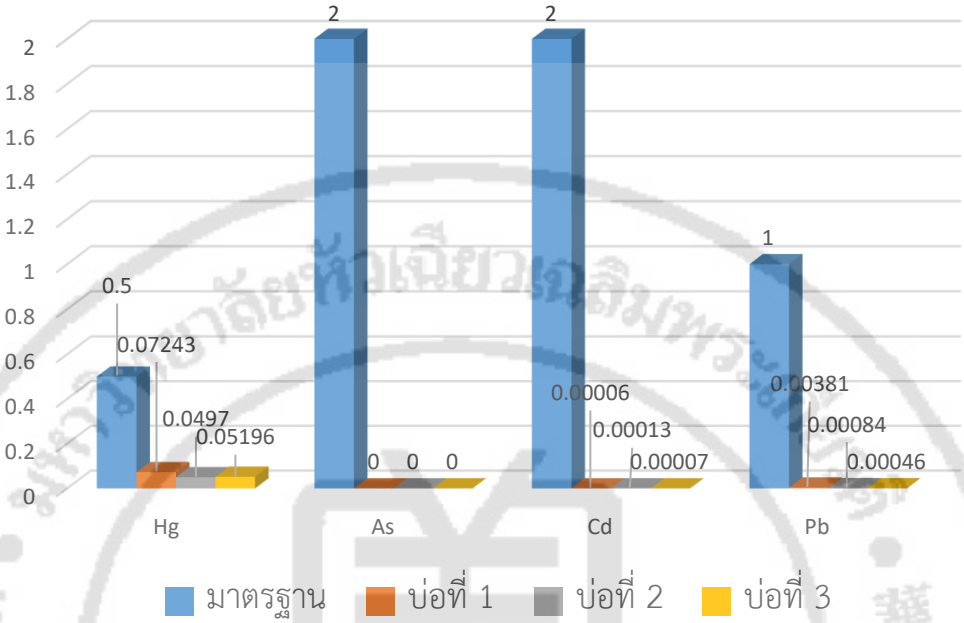
จากผลการศึกษาปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดิน พบว่ามีปริมาณปรอทมากที่สุด รองลงมาคือตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ตามลำดับ โดยไม่มีค่าใดเกินค่ามาตรฐาน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7 (แผนภูมิที่ 5)

ตารางที่ 7 ปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตัวกุ้ง

กลุ่มตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบในตัวกุ้ง (mg/kg)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อที่ 1	0.07243	<0.001	0.00006	0.00381
บ่อที่ 2	0.04973	<0.001	0.00013	0.00084
บ่อที่ 3	0.05196	<0.001	0.00007	0.00046
ค่ามาตรฐาน	0.5	2	2	1

ที่มา: ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 273 (พ.ศ. 2546) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2)

แผนภูมิที่ 5 ปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในตัวกุ้ง



4.4 ผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในหัวกุ้ง

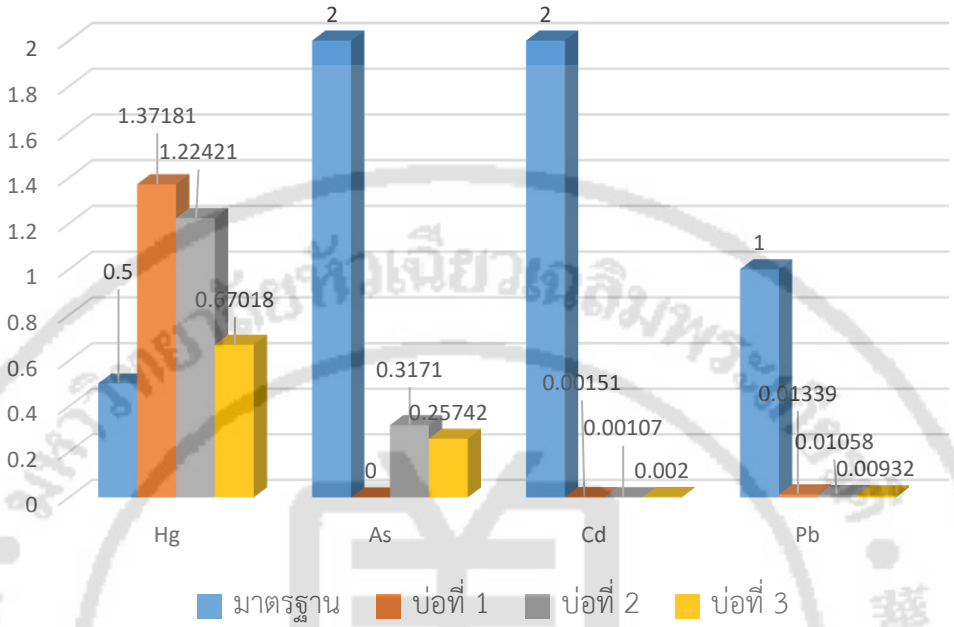
จากผลการศึกษาปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดิน พบว่า มีปริมาณปรอทมากที่สุด รองลงมาคือสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่าปรอท มีค่าเกินมาตรฐานกำหนด ส่วนสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม ไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8 (แผนภูมิที่ 6)

ตารางที่ 8 ปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในหัวกุ้ง

กลุ่มตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่พบในหัวกุ้ง (mg/kg)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อที่ 1	1.37181	<0.001	0.00151	0.01339
บ่อที่ 2	1.22421	0.31710	0.00107	0.01058
บ่อที่ 3	0.67018	0.25742	0.00200	0.00932
ค่ามาตรฐาน	0.5	2	2	1

ที่มา: ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนพบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 273 (พ.ศ. 2546) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2)

แผนภูมิที่ 6 ปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในหัวกุ้ง



จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่า มีการปนเปื้อนของปรอท ในหัวกุ้งมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08873 mg/kg รองลงมาคือ น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14360 mg/kg ส่วน ตะกอนดิน และตัวกุ้ง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.11175 mg/l และ 0.05804 mg/kg ตามลำดับ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 3 ส่วน การปนเปื้อนสารหนู พบในดินมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.62894 mg/kg รองลงมาคือ ในน้ำ หัวกุ้ง และตัวกุ้ง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.33113 mg/l, 0.19151 mg/kg และ <0.001 mg/kg ตามลำดับดังแสดง ในแผนภูมิที่ 4 การปนเปื้อนแคดเมียม พบในน้ำมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.01780 mg/l รองลงมาคือ หัวกุ้ง ตัวกุ้ง และตะกอนดิน โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.00153, 0.00009 และ<0.000025 mg/kg ดังแสดงในแผนภูมิที่ 5 และการปนเปื้อน ตะกั่ว พบในดินมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01667 mg/kg รองลงมาคือ น้ำ หัวกุ้งตัวและกุ้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.01780 mg/l, 0.01110 mg/kg และ 0.00170 mg/kg ตามลำดับดังแสดงในแผนภูมิที่ 6

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่วในน้ำ ตะกอนดิน ตัวกุ้ง และหัวกุ้ง

การหาความสัมพันธ์จะต้องมีการแจกแจงข้อมูลก่อนโดยตรวจสอบว่าข้อมูลที่นำมาหาความสัมพันธ์มีความแจกแจงแบบปกติหรือแจกแจงแบบไม่ปกติ โดยหาความสัมพันธ์ครั้งนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ ตะกอนดิน หัวกุ้ง และตัวกุ้ง ดังแสดงในตารางที่ 9, 10, 11 และ 12

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำ ในน้ำ ดินตะกอน หัวกุ้งและตัวกุ้ง

ตัวแปร	ปรอทในน้ำ	ปรอทในตะกอนดิน	ปรอทในหัวกุ้ง	ปรอทในตัวกุ้ง
ปรอทในน้ำ	1.000	0.242	0.035	0.158
ปรอทในตะกอนดิน		1.000	0.512	0.821**
ปรอทในหัวกุ้ง			1.000	0.601*
ปรอทในตัวกุ้ง				1.000

* $p < 0.05$,**$p < 0.01$

จากตารางพบว่า ปริมาณปรอทในตะกอนดินมีความสัมพันธ์กันมากกับปรอทในตัวกุ้ง ($r=0.821$, $p < 0.01$) ปริมาณปรอทในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์กันในระดับกลางกับปรอทในตัวกุ้ง ($r=0.601$, $p < 0.05$) ปริมาณปรอทในน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปรอทในตะกอนดิน ในหัวกุ้งและในตัวกุ้ง กล่าวคือถ้าในตะกอนดินมีปริมาณปรอทมากในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย เช่นเดียวกันถ้าในหัวกุ้งมีปริมาณปรอทมากในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูในน้ำ ดินตะกอน หัวกุ้งและตัวกุ้ง

ตัวแปร	สารหนูในน้ำ	สารหนู ในตะกอนดิน	สารหนู ในหัวกุ้ง	สารหนูในตัวกุ้ง
สารหนูในน้ำ	1.000	0.134	0.107	0.111
สารหนูในตะกอนดิน		1.000	0.056	0.259
สารหนูในหัวกุ้ง			1.000	0.798**
สารหนูในตัวกุ้ง				1.000

จากตารางพบว่า ปริมาณสารหนูในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์มากกับสารหนูในตัวกุ้ง (r=0.798, p < 0.05) ปริมาณสารหนูในน้ำไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมากกับตะกอนดิน หัวกุ้ง และตัวกุ้ง ปริมาณสารหนูในตะกอนดินไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมากจนไม่สามารถหาความสัมพันธ์กันได้กับหัวกุ้ง และตัวกุ้ง กล่าวคือถ้าปริมาณสารหนูในหัวกุ้งมีมากเท่าไหร่ในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณแคดเมียมในน้ำ ในน้ำ ดินตะกอน หัวกุ้งและตัวกุ้ง

ตัวแปร	แคดเมียมในน้ำ	แคดเมียมในตะกอนดิน	แคดเมียมในหัวกุ้ง	แคดเมียมในตัวกุ้ง
แคดเมียมในน้ำ	1.000	0.808**	0.816**	0.558
แคดเมียมในตะกอนดิน		1.000	0.928**	0.928**
แคดเมียมในหัวกุ้ง			1.000	0.842**
แคดเมียมในตัวกุ้ง				1.000

**p < 0.01

จากตารางพบว่า ปริมาณแคดเมียมในตะกอนดินมีความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุดกับปริมาณแคดเมี่ยมในหัวกุ้ง (r=0.928, p < 0.01) และตัวกุ้ง (r=0.928, p < 0.01) ปริมาณแคดเมี่ยมในน้ำมีความสัมพันธ์ระดับมากกับปริมาณแคดเมี่ยมในตะกอนดิน (r=0.808, p < 0.01) และหัวกุ้ง (r=0.816, p < 0.01) ปริมาณแคดเมี่ยมในหัวกุ้งมีความสำคัญระดับมากกับปริมาณแคดเมี่ยมในตัวกุ้ง (r=0.842, p < 0.01) กล่าวคือ ถ้าปริมาณแคดเมี่ยมในน้ำมีมากในตะกอนดินก็จะมีมากส่งผลให้ในหัวกุ้งกับตัวกุ้งก็จะมากตามไปด้วย

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำ ในน้ำ ดินตะกอน หัวกุ้งและตัวกุ้ง

ตัวแปร	ตะกั่วในน้ำ	ตะกั่วในตะกอนดิน	ตะกั่วในหัวกุ้ง	ตะกั่วในตัวกุ้ง
ตะกั่วในน้ำ	1.000	- 0.049	0.333	0.216
ตะกั่วในตะกอนดิน		1.000	0.801**	0.809**
ตะกั่วในหัวกุ้ง			1.000	0.944**
ตะกั่วในตัวกุ้ง				1.000

**p < 0.01

จากตารางพบว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับตะกั่วในตะกอนดิน ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับปริมาณตะกั่วในหัวกุ้ง ($r=0.801$, $p < 0.01$) และตัวกุ้ง ($r=0.809$, $p < 0.01$) ปริมาณตะกั่วในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุดกับปริมาณตะกั่วในตัวกุ้ง ($r=0.944$, $p < 0.01$) กล่าวคือถ้าปริมาณตะกั่วในดินมีปริมาณมากเท่าไหร่ปริมาณตะกั่วในหัวกุ้งกับตัวกุ้งจะมากตามไปด้วย

4.6 การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง จะประเมินเป็นข้อมูลเชิงปริมาณในกรณีการได้รับสัมผัสแบบเรื้อรังของกรณีที่เลวร้ายของการได้รับปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่วจากการบริโภคกุ้งโดยคำนวณจากสมการที่ 1 ดังนี้

สมการที่ 1

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{CF \times IR}{BW}$$

โดยที่

CF (Contaminant concentration of heavy metal in shrimp) คือ ค่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกุ้ง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กิโลกรัม

IR (Ingestion rate) คือ ค่าปริมาณอาหารทะเลที่รับประทานในแต่ละมื้อ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/มื้อ ซึ่ง FAO (2005) การบริโภคเนื้อปลาหรืออาหารทะเลของคนไทย เท่ากับ 0.085 กิโลกรัม/วัน

BW (Body weight) คือ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของคนไทย มีหน่วยเป็น กิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักค่าเฉลี่ยรูปร่างของคนไทย เพศชาย เท่ากับ 68.83 กิโลกรัม เพศหญิง เท่ากับ 57.40 กิโลกรัม และเด็ก เท่ากับ 30 กิโลกรัม (The International Obesity Task Force. 2000) ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

ค่า	การแทนค่า (mg/kg)		ความหมาย	แหล่งอ้างอิง
	หัวกุ้ง	ตัวกุ้ง		
CF (Hg)	1.08873	0.05941	ปริมาณปรอท (Hg) ที่ปนเปื้อนอยู่ในกุ้ง	ผลการตรวจวัด
CF (As)	0.36034	0.01152	สารหนู (As) ที่ปนเปื้อนอยู่ในกุ้ง	ผลการตรวจวัด
CF (Cd)	0.00153	0.00009	แคดเมียม (Cd) ที่ปนเปื้อนอยู่ในกุ้ง	ผลการตรวจวัด
CF (Pb)	0.01110	0.00170	ตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนอยู่ในกุ้ง	ผลการตรวจวัด
IR	0.085 kg/วัน		ปริมาณการบริโภคกุ้ง/อาหารทะเล ในแต่ละมื้อ	FAQ. 2005
BW (ญ)	57.40 kg		น้ำหนักเฉลี่ยของคนไทยเพศหญิง	The International Obesity Task Force. 2000
BW (ช)	68.83 kg		น้ำหนักเฉลี่ยของคนไทยเพศชาย	
BW (ด)	30 kg		น้ำหนักเฉลี่ยของคนไทยในเด็ก	

โดยผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนในตัวกุ้งและหัวกุ้งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 14 และแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก จ

ตารางที่ 14 ผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในหัวกุ้ง

ชนิดโลหะ	กรณีศึกษา	ผลการประเมิน (mg/kg-day)
ปรอท	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0013445
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0016122
	เด็ก	0.0030847
สารหนู	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.000450
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0005336
	เด็ก	0.0010210
แคดเมียม	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000019
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000023
	เด็ก	0.0000043
ตะกั่ว	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000137
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000134
	เด็ก	0.0000314

ตารางที่ 15 ผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในตัวกุ้ง

ชนิดโลหะ	กรณีศึกษา	ผลการประเมิน (mg/kg-day)
ปรอท	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000734
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000880
	เด็ก	0.0001683
สารหนู	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000142
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000171
	เด็ก	0.0000326
แคดเมียม	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000001
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000001
	เด็ก	0.0000025
ตะกั่ว	ผู้ใหญ่เพศชาย	0.0000021
	ผู้ใหญ่เพศหญิง	0.0000002
	เด็ก	0.0000048

4.7 การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง โดยพิจารณาจากผลการประเมินกรณีเลวร้ายที่สุดที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อธิบายได้จากค่า HQ หรือ Hazard Quotient ซึ่งแสดง ค่าสัดส่วนของตัวแปร (พงษ์เทพ วิวรรธนะเดช. 2547) ดังสมการที่ 2

สมการที่ 2

$$HQ = \frac{\text{Daily Intake}}{\text{Rfd}}$$

โดยที่

Daily Intake = ปริมาณโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกาย (mg/kg-day)

Rfd = ความเข้มข้นอ้างอิงของปรอท สารหนู แคดเมี่ยม และตะกั่ว (Reference Dose (mg/kg/day))

ถ้าค่า HQ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ หรือไม่มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ (no significant risk) แต่ถ้าค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณสารปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ที่ได้รับเกินค่ามาตรฐานหรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ มีความเสี่ยงสุขภาพจาก การสัมผัสสารเคมีทั้ง 4 ประเภทผ่านทางการกินโดยมีค่าความเข้มข้นอ้างอิงของโลหะหนักทั้ง 4 ประเภทแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นอ้างอิงของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะ	ความเข้มข้นอ้างอิง	แหล่งอ้างอิง
ปรอท	0.002 mg/kg/day	US-EPA. 2008
สารหนู	0.0003 mg/kg/day	US-EPA. 2008
แคดเมียม	0.001 mg/kg/day	US-EPA. 2008
ตะกั่ว	0.0035 mg/kg/day	US-EPA. 2008

จากผลการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง โดยแบ่งเป็นส่วนหัว และส่วนตัว พบว่าผู้ใหญ่เพศชาย และผู้ใหญ่เพศหญิงมีความเสี่ยงต่อการได้รับสารหนู เนื่องจากค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับมีมากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ ส่วนแคดเมียม และตะกั่วในกุ้ง ไม่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าว เนื่องจากค่า HQ น้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ หรือไม่มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ (no significant risk) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า HQ อยู่ในช่วง 0.0001 – 1.7787 ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง

ส่วนต่าง ๆ ของอาหารทะเล	ค่า HQ			
	Hg	As	Cd	Pb
ตัวกุ้ง (ชาย)	0.0367	0.0474	0.0001	0.0006
ตัวกุ้ง (หญิง)	0.0440	0.0569	0.0001	0.0007
ตัวกุ้ง (เด็ก)	0.0842	0.1088	0.0002	0.0014
หัวกุ้ง (ชาย)	0.6723	1.4833	0.0019	0.0039
หัวกุ้ง (หญิง)	0.8061	1.7787	0.0023	0.0047

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง สรุปได้ว่า ในน้ำมีการปนเปื้อนสารหนูมากที่สุด รองลงมาคือปรอท แคดเมี่ยม และตะกั่ว ตามลำดับ โดยปริมาณสารหนูและปรอทมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด สำหรับในตะกอนดิน มีปริมาณสารหนูมากที่สุด รองลงมาคือ ตะกั่ว ปรอท และแคดเมี่ยมตามลำดับ โดยสารหนูมีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐานเช่นเดียวกับในน้ำ สำหรับในตัวกุ้งมีการปนเปื้อนของปรอทมากที่สุด รองลงมาคือ ตะกั่ว สารหนู และแคดเมี่ยม แต่ไม่มีโลหะใดเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด และในหัวกุ้งมีปริมาณปรอทมากที่สุด รองลงมาคือสารหนู แคดเมี่ยมและตะกั่วตามลำดับ โดยปริมาณสารหนูมีค่าเกินค่ามาตรฐานกำหนด

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง สรุปได้ว่า ปริมาณปรอทในตะกอนดินมีความสัมพันธ์กันมากกับปรอทในตัวกุ้ง ($r=0.821$, $p<0.01$) ปริมาณปรอทในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์กันในระดับกลางกับปรอทในตัวกุ้ง ($r=0.601$, $p<0.05$) ปริมาณปรอทในน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับปรอทในตะกอนดิน ในหัวกุ้งและในตัวกุ้ง กล่าวคือถ้าในตะกอนดินมีปริมาณปรอทมากในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย เช่นเดียวกันถ้าในหัวกุ้งมีปริมาณปรอทมากในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย ปริมาณสารหนูในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์มากกับสารหนูในตัวกุ้ง ($r=0.798$, $p<0.05$) ปริมาณสารหนูในน้ำไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมากกับตะกอนดิน หัวกุ้งและตัวกุ้ง ปริมาณสารหนูในตะกอนดินไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมากจนไม่สามารถหาความสัมพันธ์กันได้กับหัวกุ้ง และตัวกุ้ง กล่าวคือถ้าปริมาณสารหนูในหัวกุ้งมีมากเท่าไหร่ในตัวกุ้งก็จะมีมากตามไปด้วย ส่วนปริมาณแคดเมียมในตะกอนดินมีความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุดกับปริมาณแคดเมี่ยมในหัวกุ้ง ($r=0.928$, $p<0.01$) และตัวกุ้ง ($r=0.928$, $p<0.01$) ปริมาณแคดเมี่ยมในน้ำมีความสัมพันธ์ระดับมากกับปริมาณแคดเมี่ยมในตะกอนดิน ($r=0.808$, $p<0.01$) และหัวกุ้ง ($r=0.816$, $p<0.01$) ปริมาณแคดเมี่ยมในหัวกุ้งมีความสำคัญระดับมากกับปริมาณแคดเมี่ยมในตัวกุ้ง ($r=0.842$, $p<0.01$) กล่าวคือถ้าปริมาณแคดเมี่ยมในน้ำมีมากในตะกอนดินก็จะมีมากส่งผลให้ในหัวกุ้งกับตัวกุ้งก็จะมากตามไปด้วยและปริมาณตะกั่วในน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับตะกั่วในตะกอนดิน ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินมีความสัมพันธ์ในระดับมากกับปริมาณตะกั่วในหัวกุ้ง ($r=0.801$, $p<0.01$) และตัวกุ้ง ($r=0.809$, $p<0.01$) ปริมาณตะกั่วในหัวกุ้งมีความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุดกับปริมาณตะกั่วในตัวกุ้ง ($r=0.944$, $p<0.01$) กล่าวคือถ้าปริมาณตะกั่วในดินมีปริมาณมากเท่าไหร่ปริมาณตะกั่วในหัวกุ้งกับตัวกุ้งจะมากตามไปด้วย

3. การประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า HQ อยู่ในช่วง Hazard quotient (HQ) อยู่ในช่วง 0.0001 – 1.7787 สรุปได้ว่าจากการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง โดยแบ่งเป็นส่วนหัว และส่วนตัว พบว่า ผู้ใหญ่เพศชาย และผู้ใหญ่เพศหญิงมีความเสี่ยงต่อการได้รับสารหนู (As)เนื่องจากค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับมีมากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ ส่วนแคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในกุ้งไม่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าว เนื่องจากค่า HQ น้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลทางสุขภาพได้ หรือไม่มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ (no significant risk)

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

การปนเปื้อนปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้ง พบว่าในตะกอนดินมีปริมาณปรอท แคดเมี่ยม และตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในน้ำมีปริมาณแคดเมี่ยมและตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และในตัวกุ้งและหัวกุ้งมีปริมาณปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานเช่นกัน ส่วนสารปรอทในน้ำ ปรอทในหัวกุ้ง สารหนูในน้ำ และสารหนูในตะกอนดินมีค่าเกินมาตรฐาน อาจเนื่องจากในจังหวัดสมุทรปราการมีโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่า 7,391 แห่ง นอกจากนี้ยังเป็นศูนย์กลางการขนส่ง ทั้งทางอากาศ ทางบก และทางน้ำ จึงมีส่วนสนับสนุนให้นักลงทุนนิยมเข้ามาประกอบกิจการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก โดยมีอุตสาหกรรมการผลิตที่สำคัญ ได้แก่ ยานยนต์และชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องจักร/อุปกรณ์ ผลิตภัณฑ์โลหะ ไฟฟ้า/ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป เคมีภัณฑ์/พลาสติก เป็นต้น (อุตสาหกรรมสมุทรปราการ. 2558) ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากเหล่านี้หากมีการนำโลหะหนักดังกล่าว เมื่อถูกนำไปใช้โดยไม่มีการควบคุมหรือจัดการที่ดีจะถูกถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อม ที่อาจอยู่ในรูปสิ่งเจือปนอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำ ซึ่งสารหนูและตะกั่วเป็นพิษที่ไม่ถูกย่อยสลายหรือย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ มักพบโลหะหนักปนเปื้อนในตะกอนมากกว่าในน้ำเสมอ เพราะตะกอนมีประจุเป็นลบเป็นส่วนใหญ่ ส่วนโลหะหนักมีประจุเป็นบวก จึงมีความสามารถในการยึดกันได้ดีกว่าในน้ำ จึงสันนิษฐานว่ามีความเป็นไปได้ที่ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีสภาพเป็นด่าง ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญที่จะทำให้ปรอทและสารหนูตกตะกอนได้ง่ายและทับถมอยู่ที่ตะกอนลำน้ำและจับกับอนุภาคของตะกอน และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาทำให้ตะกอนใต้น้ำมีการลอยตัวขึ้น (resuspendition) มีทั้งกระบวนการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอนก็เป็นสาเหตุทำให้โลหะหนักสะสมในตะกอนมากกว่าในน้ำเช่นกัน ฉะนั้นการที่มันจะเข้าสู่สิ่งมีชีวิต

จึงมีความเป็นไปได้น้อยจะทำให้ปรอทและสารหนูสะสมอยู่ในตะกอนและน้ำ และเข้าไปสะสมในกุ้งน้อย (อาทิตย์ มุกดาดี. 2555) โลหะเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ ซึ่งในตะกอนดินมักจะมีระดับของสารหนูสูง (นันทวรรณ อุ่นจางวาง. 2557) และเนื่องจากน้ำมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้โลหะหนักสะสมในดินมากกว่าในแหล่งน้ำ ดังนั้นตะกอนดินมีบทบาทสำคัญในการกักเก็บโลหะหนักในแหล่งน้ำและเป็นแหล่งกำเนิดได้ด้วยเช่นกัน (Salomon. 1987) สอดคล้องกับการทดลองนี้คือปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) และตะกั่ว (Pb) ในตะกอนดินมีปริมาณสูงกว่าในน้ำและในกุ้ง และการปนเปื้อนแคดเมียม (Cd) ในแหล่งน้ำเกิดจากการปล่อยน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้แคดเมียม (Cd) ในการชุบโลหะ แคดเมียมที่ปนเปื้อนในอาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารแล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ แม้ได้รับปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่องแคดเมียมจะถูกสะสมไว้ในไต โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai disease) และยังมีโรคที่เกิดจากการบริโภคอาหารทะเลที่มีโลหะหนักอยู่สูงเกินระดับมาตรฐานก็อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะที่เคยเกิดมาแล้วในประเทศญี่ปุ่น จากการบริโภคอาหารทะเลที่มีการปนเปื้อนสารปรอทในระดับสูงทำให้เกิดโรคมินามาตะ

อย่างไรก็ตาม ภาวะความเสี่ยงนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการบริโภคอาหารทะเลซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายจนเกิดอันตรายได้ รวมทั้งกลุ่มอายุประชากรด้วย เช่น เด็ก ผู้ใหญ่ สตรีมีครรภ์ เพราะร่างกายจะมีความต้านทานในการได้รับอันตรายจากสารโลหะหนักแตกต่างกัน ซึ่งจากผลงานวิจัยนี้เมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงแล้วพบว่า การรับประทานหัวกุ้งมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงบริโภคส่วนที่เป็นอวัยวะภายใน ให้บริโภคเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อ นอกจากนี้ไม่ควรบริโภคอาหารทะเลชนิดเดิมซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่อง ควรบริโภคอาหารให้มีความหลากหลายชนิดเพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมสารพิษในร่างกาย เพราะผลกระทบ หรืออันตรายจากพิษของโลหะหนัก หรือสารเคมีอื่น ๆ ต่อสุขภาพนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการบริโภคด้วย ซึ่งหากได้รับสารดังกล่าวในปริมาณไม่มากนัก ร่างกายของเราจะสามารถขับสารพิษออกสู่ภายนอกได้ทัน และจะไม่เกิดการสะสมต่อไป แต่อย่างไรก็ตามการเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนังสู่สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมควรมีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการวิจัยโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในบริเวณพื้นที่ที่เป็นแหล่งชุมชน ประมง และแหล่งอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

กัญญนิจ หลีกภัย. (2549) **การผันแปรเชิงพื้นที่ของ ความเข้มข้นโลหะหนักในดินระดับผิวหน้าในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม) สงขลา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กระทรวงสาธารณสุข. (2529) **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2529 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ).** เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 (ฉบับที่ 98) [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P98.pdf (20 ธันวาคม 2559)

กรมควบคุมมลพิษ. (2546) "สถานการณ์โลหะหนักในตะกอนดินและเนื้อเยื่อสัตว์น้ำชายฝั่งทะเลของประเทศไทย" [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/documents/marineSedimentRpt2559.pdf (20 ธันวาคม 2559)

กรมวิชาการเกษตร. (2545) "ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน และค่าสูงสุดของโลหะหนัก" [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.agriqua.doae.go.th/organic/soil/soil1/soil1.html (20 ธันวาคม 2559)

กองควบคุมตรวจสอบผลิตภัณฑ์และการแปรรูปสัตว์น้ำ. การพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ สัตว์น้ำ. ใน: เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2541 กรมประมง กรุงเทพมหานคร: หน้า 14.

จิราภรณ์ ผุดผาด. (2547) **ระดับความเข้มข้นรวมของ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมในน้ำคลองอู่ตะเภา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม) สงขลา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฉลวย มุสิกะ, อาวุธ หมั่นหาผล, วันชัย วงสุดาวรรณ, แววตา ทองระอา. การประเมินความเสี่ยงเนื่องจากโลหะบางชนิด บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล: ภูเก็ต. 2555. หน้า 396-404.

ธงชัย สุธีรศักดิ์ และไตรภพ ผ่องสุวรรณ. (2551) "การปนเปื้อนของโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต" **วารสารวิจัยและพัฒนา.** 31 (4) หน้า 765-799.

นันทวรรณ อุ่นจางวาง. (2557) **การปนเปื้อนของสารหนูและตะกั่วในดินตะกอนบริเวณคลองอู่ตะเภา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง) สงขลา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พิพัฒน์ นพคุณ จินตนา กิจเจริญวงศ์ และสุธาทิพย์ วิทย์ชัยวุฒิวงศ์. (2541) “แคดเมียมในอาหารทะเล” **วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์**. 40 (3) หน้า 341-346.

เฟื่องฟ้า โสภณพงศ์พิพัฒน์. (2553) **การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนไทยจากการบริโภคอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารหนูอนินทรีย์.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาสัตวแพทยสาธารณสุข) กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รักคลองอู่ตะเภา เพิ่มชีวิตให้สายน้ำ. (2547) “ธรณีวิทยา” [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.khlongutaphao.com/index.php?file=info &show=info/chapter_01 (18 ธันวาคม 2559)

สุวรรณา ภาณุตระกูล. (2554) **การกระจายตัวของปรอทในแหล่งน้ำในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด**. วิทยานิพนธ์ วท.บ. (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมชาย วิบุญพันธ์, ณรงค์ศักดิ์ คงชัย, วิวิธนนท์ บุญยัง และ ทรงฤทธิ์โชติธรรมโม. การปนเปื้อนของสารโลหะหนักใน สัตว์ทะเลบางชนิดบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. ใน: เอกสารวิชาการฉบับที่ 11/2549 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนล่าง. สงขลา: 2549.

หฤทัย อภัยรัตน์, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, เพ็ญจันทร์ ละอองมณี, สายัณห์ พรหมจินดา, นคเรศ ยะสุ, อิสระ ชาญราชกิจ. การประเมินความเข้มข้นของปรอทในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามัน. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล. ภูเก็ต: 2551. หน้า 327-343.

อดิเรก แก้วจรัส. (2528) **การหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสีโครเมียม และเหล็กในดินและน้ำจากอำเภอสันกำแพง.** วิทยานิพนธ์ วท.บ. (การค้นคว้าอิสระ) เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรุณศักดิ์ โสภณธรรมภาณ. (2551) “อันตรายจากการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำ” [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a2.shtml (20 ธันวาคม 2559)

APHA, AWWA and WPCF. (1975) **Standard Method for Water and Waste Water**. Washington : America Public Health Association.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Bhattacharya, A.K., Mandal, S.N., & Das, S.K. (2008) "Heavy metals accumulation in water sediment and tissues of different edible fishes in upper stretch of Gangetic West Bengal" **Trends in Applied Sciences Research.** 3 page 61-68.

Boischio, A.A.P., & Henshel, D. (2000) "Fish consumption fish lore and mercury pollution risk communication for the Madeira River people" **Environ Res Section**. A84 page 108-126.

Boudou, A., & Ribeyre, F. (1985) "Experimental study of trophic contamination of Salmo gairdneri by two mercury compounds- $HgCl_2$ and CH_3HgCl analysis at the organism and organ levels" **Water Air Soil Pollut**. page 137-148.

Costa, M.F., Barbosa, S.C.T., Barletta, M., Dantas, D.V., Kehrig, H.A., Seixas, T.G., & Malm O. (2009) "Seasonal differences in mercury accumulation in Trichiurus lepturus (Cutlassfish) in relation to length and weight in a Northest Brazilian estuary" **Environ Sci Pollut Res**. page 423-430.

Cheevaparanapiwat , V & Menaveta, P. (1979) "Total and organic mercury in marine fish of the Upper Gulf of Thailand" **Bull Environ Contam Toxicol**. 23 page 291-299.

FAO/WHO. (2011a) "Evaluation of certain contaminants in food seventy – second" **report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives**. Geneva : WHO.

Francesconi, K.A., & Lenanton, C.J. (1992) "Mercury contamination in a semi-enclosed marine embayment: organic and inorganic mercury content of biota and factors influencing mercury levels in fish" **Marine Environ Res**. page 189-212.

Funge-Smith, S.J., A.C., Taylor, J. Whitley and J.H. Brown. (1995) "Osmotic and ionic regulation in the Giant Malaysia freshwater prawnW, Macrobrachium rosenbergii" **Biochem. Physiol**. 110 (4) page 357-365.

Health Canada. (2007). **Human health risk assessment of mercury in fish and health benefits of fish consumption**. Ottawa : the Minister of Health.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Keckes, S., & Miettinen, J.K.. (1972) “Mercury as a marine pollutant” In M. Ruivo, Ed. **Marine Pollution and Sea Life.** page 276-289. London, Fishing News : Ltd.

Koli, A.K., Sandhu, S.S., Whitmore, R, & Disher, A. (1980) “Comparative study of cadmium levels of shellfish and finfish species” **Environment Internationa.** page 439-441.

Olmedo, P., Hernandez, A.F., Pla, A., Femia, P., Navas-Acien, A., & Gil, F. (2013) “Determination of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples and Risk and nutritional assessment and mercury-selenium balance” **Food and Chemical Toxicology**. 62 page 290-307.

Spry, D.J., & Wiener, J.G. (1991) “Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review” **Environment Pollution.** page 243-304.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เอกสารรับรองคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย

เรียนรู้เพื่อรับใช้สังคม

เอกสารรับรอง

(Certificate of Exemption)

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

วันที่ 5 พฤษภาคม 2559

ชื่อเรื่อง การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

ชื่อนักวิจัย/หัวหน้าโครงการ นางสาวเบญญาภา ธีระวิทยเลิศ

คณะวิชา/หลักสูตร หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ขอรับรองว่า งานวิจัยดังกล่าวข้างต้นได้ผ่านการพิจารณาเห็นชอบโดยสอดคล้องกับประกาศเฮลซิงกิ จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ลงนาม

(รองศาสตราจารย์ ดร.จริยาวัตร คมพยัคฆ์)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

วันที่รับรอง วันที่ 5 พฤษภาคม 2559

เลขที่รับรอง อ.405/2559

วันที่ให้การรับรอง: 5 พฤษภาคม 2559

วันหมดอายุใบรับรอง: 4 พฤษภาคม 2561

ภาคผนวก ข

หนังสือชี้แจงข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย : การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

ข้าพเจ้า นางสาวเบญญาภา ธีระวิทยเลิศ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มีความสนใจที่จะศึกษาการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง มีรายละเอียดดังนี้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำ ตะกอนดิน และกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง
3. เพื่อประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงจากการบริโภคกุ้ง

วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่าง ดินตะกอน น้ำ และกุ้ง ภายในบ่อกุ้งโดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการจัดการหรือลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดจากการบริโภคกุ้ง

ภายหลังการดำเนินการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการศึกษา ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับ มีเพียงผู้วิจัยคนเดียวเท่านั้นที่จะทราบข้อมูลของท่าน ซึ่งผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในพื้นที่ของท่านไปอภิปรายและนำเสนอผลในรูปแบบของผลงานวิชาการหรือพิมพ์เผยแพร่ในภาพรวมของผลงานวิจัยเท่านั้น โดยไม่เปิดเผยชื่อหรือที่อยู่ของท่าน และโปรดทราบว่าในการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้จะเป็นไปด้วยความสมัครใจ ไม่มีการบังคับใดใดทั้งสิ้น ซึ่งท่านสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมโครงการหรือถอนตัวออกจากโรงการวิจัยครั้งนี้ได้ตลอดเวลาโดยไม่ได้รับผลกระทบใดๆทั้งสิ้น

หากท่านมีข้อสงสัยเกี่ยวกับโครงการวิจัยในครั้งนี้ ท่านสามารถติดจ่อสอบถามผู้วิจัย คือ นางสาวเบญญาภา ธีระวิทยเลิศ เลขที่ 2080/15-16 ซอยแบริ่ง (สุขุมวิท107) ม.1 ต.สำโรงเหนือ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270 โทรศัพท์ 087-1535046 หรืออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรางคณา วิเศษมณี ลี โทรศัพท์ 085-1536637 (ในเวลาราชการ) และหากท่านมีข้อสงสัยในเรื่องสิทธิในการเข้าร่วมโครงการวิจัยและจริยธรรมในการวิจัย กรุณาติดต่อ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ โทรศัพท์ 02-3126300 ต่อ 1205

ภาคผนวก ค

หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี อยู่บ้านเลขที่..... ถนน.....หมู่ที่.....แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ..... จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ขอทำหนังสือนี้ให้ไว้ต่อหัวหน้าโครงการวิจัย เพื่อเป็นหลักฐานแสดงว่า

ข้อ 1. ข้าพเจ้าได้รับทราบโครงการวิจัยของ นางสาวเบญญาภา ธีระวิทยเลิศ เรื่อง การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

ข้อ 2. ข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ โดยไม่ถูกบังคับ ขู่เข็ญ หลอกลวงแต่ประการใด และพร้อมจะให้ความร่วมมือในการวิจัย

ข้อ 3. ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย รวมทั้งคุณค่าที่จะได้รับจากการวิจัยโดยละเอียดแล้ว (จากเอกสารการวิจัยแนบท้าย)

ข้อ 4. ข้าพเจ้าได้รับการยืนยันจากผู้วิจัยว่า จะไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนตัวหรือข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้าในงานวิจัย

ข้อที่ 5. ข้าพเจ้าได้รับการยืนยันจากผู้วิจัยว่า การเข้าร่วมโครงการวิจัยในครั้งนี้ จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อตัวข้าพเจ้า และก็ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อการปฏิบัติงานของข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้อ 6. ข้าพเจ้าได้รับทราบว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิจะบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัยจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อตัวข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าได้อ่านและเข้าใจข้อความตามหนังสือนี้โดยตลอดแล้ว เห็นว่าถูกต้องตามเจตนาของข้าพเจ้า จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญ พร้อมกับผู้วิจัยและต่อหน้าพยาน

ลงชื่อ.....ผู้ให้ความยินยอม

(.....)

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย

(.....)

ลงชื่อ.....พยาน

(.....)

ภาคผนวก ง
ข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนัก ในน้ำ ตะกอนดิน และในกุ้ง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำ

ตัวอย่างน้ำ	Concentration (ppb)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อ 1 จุด 1/1	5.71	7.08	< 0.025	3.7416
บ่อ 1 จุด 1/2	3.72	< 1	1.4536	ND
บ่อ 1 จุด 1/3	< 1	1.54		
บ่อ 1 จุด 2/1	4.46	4.56	< 0.025	< 0.025
บ่อ 1 จุด 2/2	4.18	5.11	3.343	< 0.025
บ่อ 1 จุด 2/3	34.01	6.66		
บ่อ 1 จุด 3/1	5.45	13.01	< 0.025	< 0.025
บ่อ 1 จุด 3/2	6.71	12.56	< 0.025	< 0.025
บ่อ 1 จุด 3/3	3.59	13.77		
บ่อ 1 จุด 4/1	0.15	16.49	< 0.025	0.0437
บ่อ 1 จุด 4/2	2.99	14.62	< 0.025	< 0.025
บ่อ 1 จุด 4/3	6.61	15.12		
บ่อ 2 จุด 1/1	1.82	14.68	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 1/2	0.89	< 1	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 1/3	0.73	< 1		
บ่อ 2 จุด 2/1	4.67	6.01	0.8721	< 0.025
บ่อ 2 จุด 2/2	0.82	7.52	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 2/3	0.72	7.97		
บ่อ 2 จุด 3/1	0.36	6.92	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 3/2	1.03	12.55	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 3/3	1.45	14.37		
บ่อ 2 จุด 4/1	0.77	< 1	< 0.025	1.9101
บ่อ 2 จุด 4/2	0.82	< 1	< 0.025	< 0.025
บ่อ 2 จุด 4/3	1.07	< 1		

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวอย่างน้ำ	Concentration (ppb)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อ 3 จุด 1/1	5.84	1.98	6.1047	< 0.025
บ่อ 3 จุด 1/2	< 1	2.71	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 1/3	5.71	5.17		
บ่อ 3 จุด 2/1	28.93	10.42	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 2/2	10.21	10.96	0.1454	< 0.025
บ่อ 3 จุด 2/3	6.81	8.44		
บ่อ 3 จุด 3/1	4.56	12.82	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 3/2	3.32	< 1	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 3/3	< 1	< 1		
บ่อ 3 จุด 4/1	< 1	1.32	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 4/2	3.72	2.16	< 0.025	< 0.025
บ่อ 3 จุด 4/3	7.50	3.69		

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดิน

ตัวอย่างตะกอนดิน	Concentration (ppb)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อ 1/1	2.69	292.05	< 0.025	19.9
บ่อ 1/2	2.18	311.63	< 0.025	20.6
บ่อ 1/3	2.75	346.92		
บ่อ 2/1	< 1	188.01	< 0.025	19.3
บ่อ 2/2	1.51	223.91	< 0.025	20.6
บ่อ 2/3	< 1	173.68		
บ่อ 3/1	2.49	176.65	< 0.025	20.6
บ่อ 3/2	< 1	218.72	< 0.025	21.0
บ่อ 3/3	2.82	161.54		

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในตัวกุ้ง

ตัวอย่างตัวกุ้ง	Concentration (ppb)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อ 1/1	4.88	< 1	0.008	0.052
บ่อ 1/2	7.80	< 1	0.004	0.690
บ่อ 1/3	8.46	< 1		
บ่อ 2/1	4.20	< 1	0.013	0.072
บ่อ 2/2	5.05	< 1	0.008	0.069
บ่อ 2/3	3.22	< 1		
บ่อ 3/1	8.92	< 1	0.004	0.042
บ่อ 3/2	470.99	< 1	0.007	0.032
บ่อ 3/3	3.73	< 1		

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดการปนเปื้อนปรอท สารหนู แคดเมียม และตะกั่ว ในหัวกุ้ง

ตัวอย่างหัวกุ้ง	Concentration (ppb)			
	Hg	As	Cd	Pb
บ่อ 1/1	5.67	< 1	0.010	0.056
บ่อ 1/2	6.50	< 1	0.004	0.068
บ่อ 1/3	6.88	< 1		
บ่อ 2/1	9.22	< 1	0.006	0.070
บ่อ 2/2	2.84	4.45	0.004	0.029
บ่อ 2/3	5.12	< 1		
บ่อ 3/1	3.37	3.48	0.011	0.044
บ่อ 3/2	3.86	< 1	0.007	0.040
บ่อ 3/3	1.83	< 1		

ภาคผนวก จ
วิธีการคำนวณ การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคกุ้ง

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคตัวกุ้ง กรณีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพ อธิบายได้โดยค่า Hazard Quotient (HQ) **ของเพศชาย**

Hg ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.05941\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000734\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000734 / 0.002\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0367$$

As ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.01152\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000142\ \text{mg/kg/day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000142 / 0.0003\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0474$$

Cd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00009\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000001\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000001 / 0.001\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0001$$

Pd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00170\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000021\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000021 / 0.0035\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0006$$

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคหัวกุ้ง กรณีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพ อธิบายได้โดยค่า Hazard Quotient (HQ) **ของเพศชาย**

Hg หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{1.08873\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0013445\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0013445\ /\ 0.002\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.6723$$

As หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.36034\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0004450\ \text{mg/kg/day}$$

$$\text{HQ} = 0.0004450\ /0.0003\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 1.4833$$

Cd หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00153\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000019\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000019\ /\ 0.001\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0019$$

Cd หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.01110\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{68.83\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000137\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000137\ /0.0035\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0039$$

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคตัวกุ้ง กรณีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพ อธิบายได้โดยค่า Hazard Quotient (HQ) **ของเพศหญิง**

Hg ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.05941 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{57.40 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000880 \text{ mg/kg-day}$$

$$HQ = 0.0000880 / 0.002 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0440$$

As ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.01152 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{57.40 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000171 \text{ mg/kg/day}$$

$$HQ = 0.0000171 / 0.0003 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0569$$

Cd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00009 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{57.40 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000001 \text{ mg/kg-day}$$

$$HQ = 0.0000001 / 0.001 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0001$$

Pd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00170 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{57.40 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000002 \text{ mg/kg-day}$$

$$HQ = 0.0000002 / 0.0035 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0007$$

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคหัวกุ้ง กรณีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพ อธิบายได้โดยค่า Hazard Quotient (HQ) **ของเพศหญิง**

Hg หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{1.08873\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{57.40\ \text{kg}}$$

$$= 0.0016122\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0016122\ /\ 0.002\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.8061$$

As หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.36034\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{57.40\ \text{kg}}$$

$$= 0.0005336\text{mg/kg/day}$$

$$\text{HQ} = 0.0005336\ /0.0003\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 1.7787$$

Cd หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00153\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{57.40\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000023\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000023\ /\ 0.001\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0023$$

Cd หัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.01110\ \text{mg/kg} \times 0.0850\ \text{kg/meal}}{57.40\ \text{kg}}$$

$$= 0.0000164\ \text{mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000164\ /0.0035\ \text{mg/kg/day}$$

$$= 0.0047$$

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากการบริโภคตัวกุ้ง กรณีประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพ อธิบายได้โดยค่า Hazard Quotient (HQ) **ของเด็ก**

Hg ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.05941 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{30 \text{ kg}}$$

$$= 0.0001683 \text{ mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0001683 / 0.002 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0842$$

As ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.01152 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{30 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000326 \text{ mg/kg/day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000326 / 0.0003 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.1088$$

Cd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00009 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{30 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000025 \text{ mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000025 / 0.001 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0002$$

Pd ตัวกุ้ง

$$\text{Intake (mg/kg-day)} = \frac{0.00170 \text{ mg/kg} \times 0.0850 \text{ kg/meal}}{30 \text{ kg}}$$

$$= 0.0000048 \text{ mg/kg-day}$$

$$\text{HQ} = 0.0000048 / 0.0035 \text{ mg/kg/day}$$

$$= 0.0014$$

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

ภาคผนวก ฉ

ผลการแปรผลข้อมูลทางสถิติ

1. แปรผลข้อมูลทางสถิติระหว่างสารหนู กับน้ำ ตะกอนดิน ตัวหุ้ง หัวกุ้ง

ตารางที่ 1 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ตัวกุ้ง	หัวกุ้ง	ตะกอนดิน	น้ำ
N		12	12	12	12
Normal Parameters[a,b]	Mean	.00864144	.27025192	8.72170833	.33597225
	Std. Deviation	.005272956	.294619255	6.000983724	.220444675
Most Extreme Differences	Absolute	.372	.398	.208	.210
	Positive	.242	.398	.177	.210
	Negative	-.372	-.179	-.208	-.100
Test Statistic		.372	.398	.208	.210
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000[c]	.000[c]	.162[c]	.152[c]

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

ตารางที่ 2 Correlations (Pearson Correlation)

		ตะกอนดิน	น้ำ
ตะกอนดิน	**Pearson Correlation**	1	.134
	Sig. (2-tailed)		.677
	N	12	12
น้ำ	**Pearson Correlation**	.134	1
	Sig. (2-tailed)	.677	
	N	12	12

ตารางที่ 3 Correlations (Spearman's rho)

			ตะกอนดิน	น้ำ	หัวกุ้ง	ตัวกุ้ง
Spearman's rho	**ตะกอนดิน**	Correlation Coefficient	1.000	.275	.559	.259
		Sig. (2-tailed)	.	.388	.059	.415
		N	12	12	12	12
	น้ำ	Correlation Coefficient	.275	1.000	.107	.111
		Sig. (2-tailed)	.388	.	.741	.731
		N	12	12	12	12
	หัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.559	.107	1.000	.798**
		Sig. (2-tailed)	.059	.741	.	.002
		N	12	12	12	12
	ตัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.259	.111	.798**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.415	.731	.002	.
		N	12	12	12	12

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

2. แปรผลข้อมูลทางสถิติระหว่างปรอทกับ น้ำ ตะกอนดิน ตัวหุ้ง หัวกุ้ง

ตารางที่ 4 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ตัวกุ้ง	หัวกุ้ง	ตะกอนดิน	น้ำ
N		12	12	12	12
Normal Parameters[a,b]	Mean	.04455768	.81655000	.07266667	.15193050
	Std. Deviation	.036541758	.645938499	.055672473	.083985885
Most Extreme Differences	Absolute	.144	.147	.160	.135
	Positive	.144	.147	.158	.135
	Negative	-.111	-.103	-.160	-.125
Test Statistic		.144	.147	.160	.135
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200[c,d]	.200[c,d]	.200[c,d]	.200[c,d]

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

ตารางที่ 5 Correlations (Pearson Correlation)

		ตัวกุ้ง	หัวกุ้ง	ตะกอนดิน	น้ำ
ตัวกุ้ง	**Pearson Correlation**	1	.601*	.821**	.158
	Sig. (2-tailed)		.039	.001	.623
	N	12	12	12	12
หัวกุ้ง	**Pearson Correlation**	.601*	1	.512	.035
	Sig. (2-tailed)	.039		.089	.913
	N	12	12	12	12
ตะกอนดิน	**Pearson Correlation**	.821**	.512	1	.242
	Sig. (2-tailed)	.001	.089		.449
	N	12	12	12	12
น้ำ	**Pearson Correlation**	.158	.035	.242	1
	Sig. (2-tailed)	.623	.913	.449	
	N	12	12	12	12

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

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

3. แปรผลข้อมูลทางสถิติระหว่างแคดเมี่ยมกับ น้ำ ตะกอนดิน ตัวหุ้ง หัวกุ้ง

ตารางที่ 6 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ตัวกุ้ง	หัวกุ้ง	ตะกอนดิน	น้ำ
N		12	12	12	12
Normal Parameters[a,b]	Mean	.00004250	.00076300	.00062500	.02582050
	Std. Deviation	.000052292	.000913210	.000652791	.047166234
Most Extreme Differences	Absolute	.292	.298	.331	.343
	Positive	.292	.298	.331	.343
	Negative	-.208	-.202	-.331	-.301
Test Statistic		.292	.298	.331	.343
Asymp. Sig. (2-tailed)		.006[c]	.004[c]	.001[c]	.000[c]

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

ตารางที่ 7 Correlations (Spearman's rho)

			ตะกอนดิน	น้ำ	หัวกุ้ง	ตัวกุ้ง
Spearman's rho	ตะกอนดิน	Correlation Coefficient	1.000	.808**	.928**	.928**
		Sig. (2-tailed)	.	.001	.000	.000
		N	12	12	12	12
	น้ำ	Correlation Coefficient	.808**	1.000	.816**	.558
		Sig. (2-tailed)	.001	.	.001	.060
		N	12	12	12	12
	หัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.928**	.816**	1.000	.817**
		Sig. (2-tailed)	.000	.001	.	.001
		N	12	12	12	12
	ตัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.928**	.558	.817**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.060	.001	.
		N	12	12	12	12

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

4. แปรผลข้อมูลทางสถิติระหว่างตะกั่วกับ น้ำ ตะกอนดิน ตัวหุ้ง หัวกุ้ง

ตารางที่ 8 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ตัวกุ้ง	หัวกุ้ง	ตะกอนดิน	น้ำ
N		12	12	12	12
Normal Parameters[a,b]	Mean	.00085200	.00554933	.50833833	.01295917
	Std. Deviation	.001993541	.006245742	.531343176	.028934132
Most Extreme Differences	Absolute	.415	.313	.331	.485
	Positive	.415	.313	.331	.485
	Negative	-.335	-.187	-.306	-.343
Test Statistic		.415	.313	.331	.485
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000[c]	.002[c]	.001[c]	.000[c]

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

ตารางที่ 9 Correlations (Spearman's rho)

			ตะกอนดิน	น้ำ	หัวกุ้ง	ตัวกุ้ง
Spearman's rho	ตะกอนดิน	Correlation Coefficient	1.000	-.049	.801**	.809**
		Sig. (2-tailed)	.	.880	.002	.001
		N	12	12	12	12
	น้ำ	Correlation Coefficient	-.049	1.000	.333	.216
		Sig. (2-tailed)	.880	.	.290	.501
		N	12	12	12	12
	หัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.801**	.333	1.000	.944**
		Sig. (2-tailed)	.002	.290	.	.000
		N	12	12	12	12
	ตัวกุ้ง	Correlation Coefficient	.809**	.216	.944**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.001	.501	.000	.
		N	12	12	12	12

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

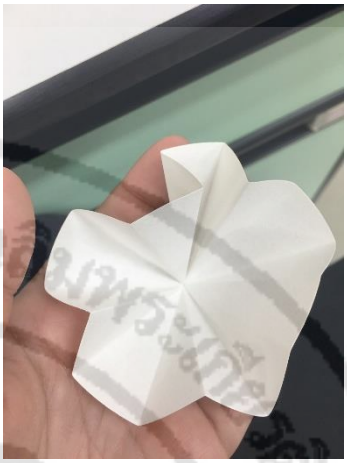
HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY

ภาคผนวก ช

ภาพการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำ

เตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นางสาวเบญญาภา ธีระวิทยเลิศ

วัน เดือน ปีเกิด 6 กุมภาพันธ์ 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน 94 หมู่ 6 ตำบลแม่รำพึง อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2557 - ปัจจุบัน ผู้ช่วยนักวิชาการสุขาภิบาล
เทศบาลตำบลบางเมือง

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY